

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Новосёлов Владимир Геннадьевич

Зав.кафедрой инновационных технологий и
оборудования деревообработки

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- *Лекции – 14 часов;*
- *Практические занятия – 22 часов;*
- *Домашние задания – 3;*
- *Зачет в форме теста (10 вопросов).*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основная литература:

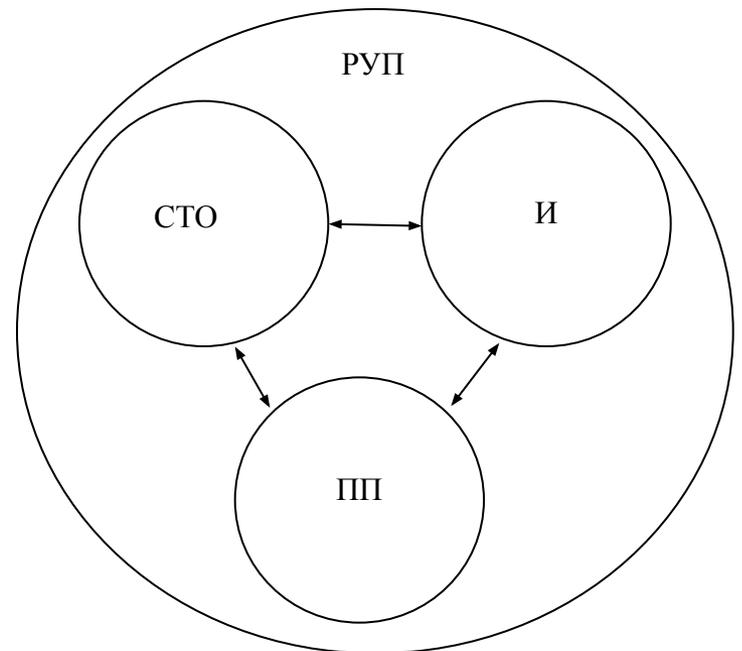
1. Амалицкий В.В., Бондарь В.Г., Волобаев А.М., Воякин А.С. Надежность машин и оборудования лесного комплекса. М.: МГУЛ, 2002.
2. Есюнин Е.Г., Новоселов В.Г., Панычев А.П. Основы надежности машин. Учебное пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009.
3. Новоселов В.Г., Полякова Т.В., Рогожникова И.Т. Теоретические основы надежности технологических систем: Метод. Указания к расчету показателей надежности. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013.

Дополнительная литература:

4. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 2002.
5. ГОСТ 27.203. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности. [Текст]. Взамен ГОСТ 22955-78; введ. 1983-09-09. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
6. Рогожникова И. Т., Новоселов В. Г. Гамма-процентный период стойкости фрезерных ножей по критерию «шероховатость обработанной поверхности». – Электронный ресурс: http://symposium.forest.ru/article/2014/4_equipment/pdf/Rogozhnikova.pdf (дата обращения 25.01.2015)
7. Полякова Т.В., Новоселов В.Г. Гамма-процентный период стойкости дереворежущего инструмента по критерию «точность обработки». – Электронный ресурс: <http://www.rae.ru/fs/pdf/2014/11-6/35710.pdf> (дата обращения 25.01.2015)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ это-совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения (СТО), предметов производства (ПП) и исполнителей (И) для выполнения в регламентированных условиях производства (РУП) заданных технологических процессов или операций.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К предметам производства относятся: материал, заготовка, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний.

Исполнитель это – человек, осуществляющий в технологической системе трудовую деятельность по непосредственному изменению и (или) определению состояния предметов производства, техническому обслуживанию или ремонту средств технологического оснащения.

Понятие средств технологического оснащения ГОСТ не регламентирует. Очевидно, под ними следует понимать оборудование, машины, механизмы, приборы, приспособления, инструменты, используемые в технологическом процессе или операции.

К регламентированным условиям производства относятся: регулярность поступления предметов производства, параметры энергоснабжения, параметры окружающей среды и др.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Пример:

Технологическая система производства деревянных погонажных изделий - совокупность функционально взаимосвязанных: четырехстороннего строгального станка (СТО), черновых брусковых заготовок (ПП) и станочника по деревообработке (И) для выполнения в регламентированных условиях столярного производства (РУП) операции продольного фрезерования.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Структура технологической системы рассматривается в соотношении с конкретными иерархическими уровнями: технологические системы операций, процессов, производств, предприятий.

*Технологическая система, выделяемая по функциональному или структурному признаку из технологической системы более высокого уровня называется **технологической подсистемой**.*

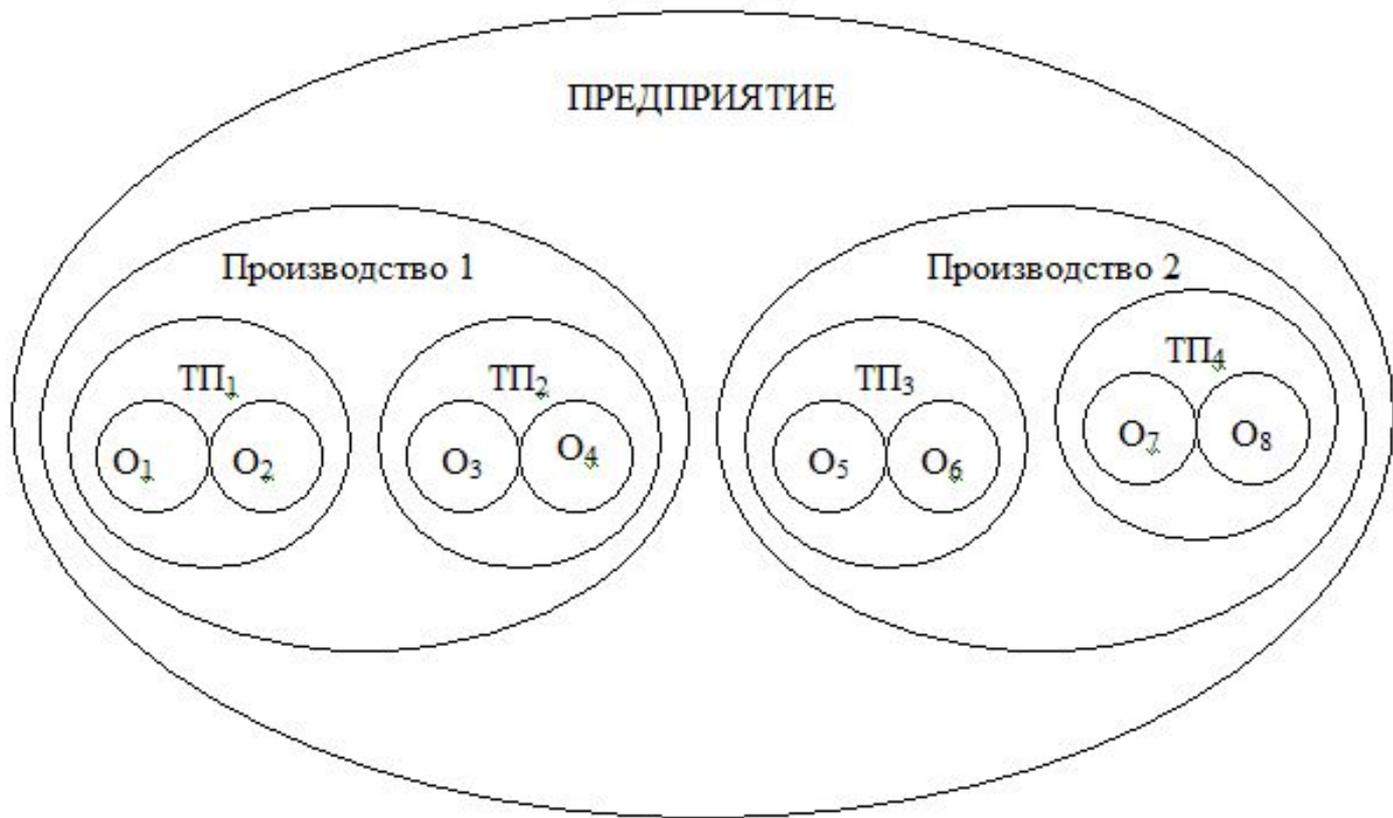
*В технологической системе **предприятия** элементами приняты технологические подсистемы производств.*

*В технологических системах **производств** – элементами приняты технологические подсистемы процессов.*

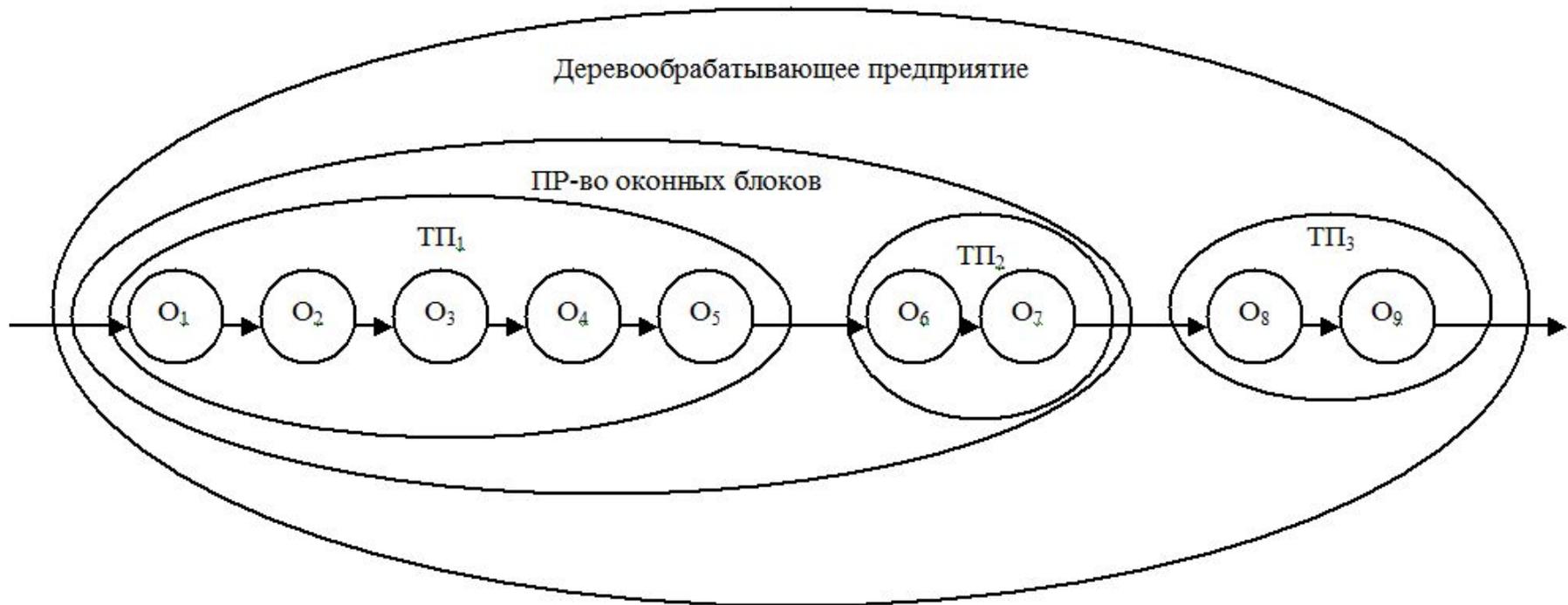
*В технологических системах **процессов** – элементами приняты технологические подсистемы операций.*

*Технологическая система **операции** сопоставлена нижнему, элементарному уровню подсистем.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

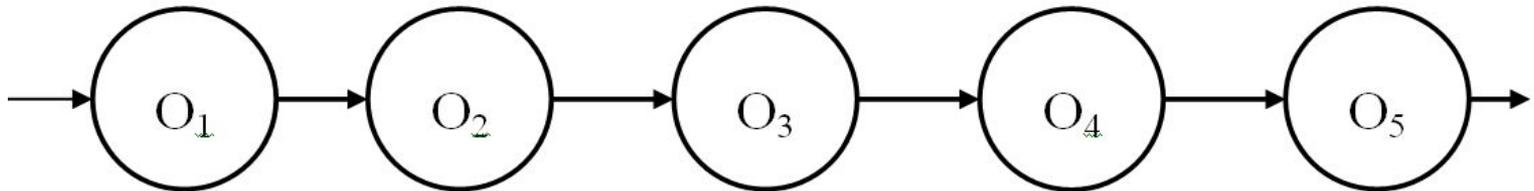


O₁ – черновое фрезерование; **O₂** – оптимизация; **O₃** – нарезание зубчатых шипов; **O₄** – склеивание брусков; **O₅** – чистовое фрезерование; **ТП₁**- технологический процесс производства клееного бруса; **O₆** – нарезание рамных шипов; **O₇** – скрепление и склеивание; **ТП₂**- сборка оконных блоков; **O₈** – хранение; **O₉**- отгрузка; **ТП₃**- реализация

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

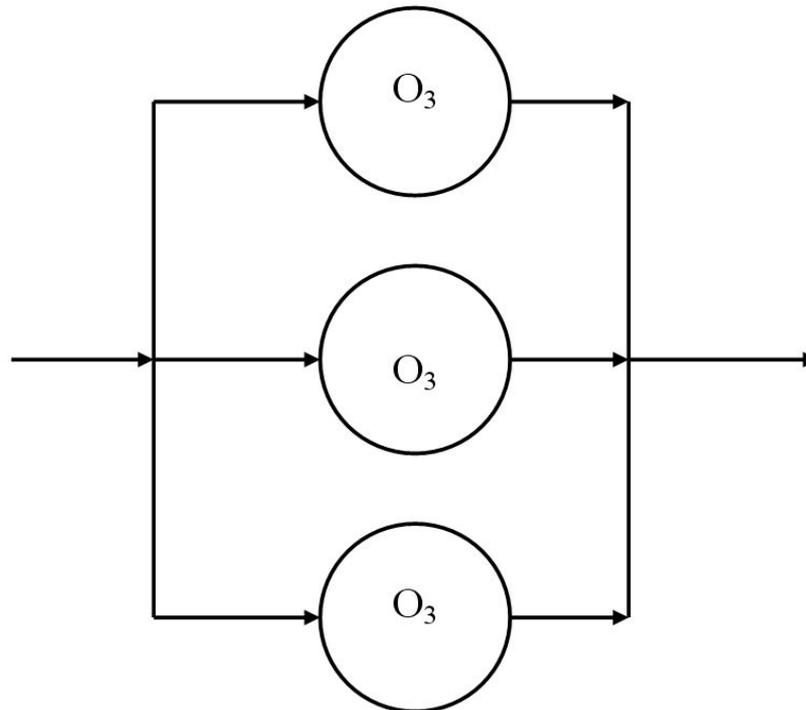
Различают следующие виды технологических систем: последовательные, параллельные и комбинированные.

Последовательная технологическая система - технологическая система, все подсистемы которой последовательно выполняют различные части заданного технологического процесса.



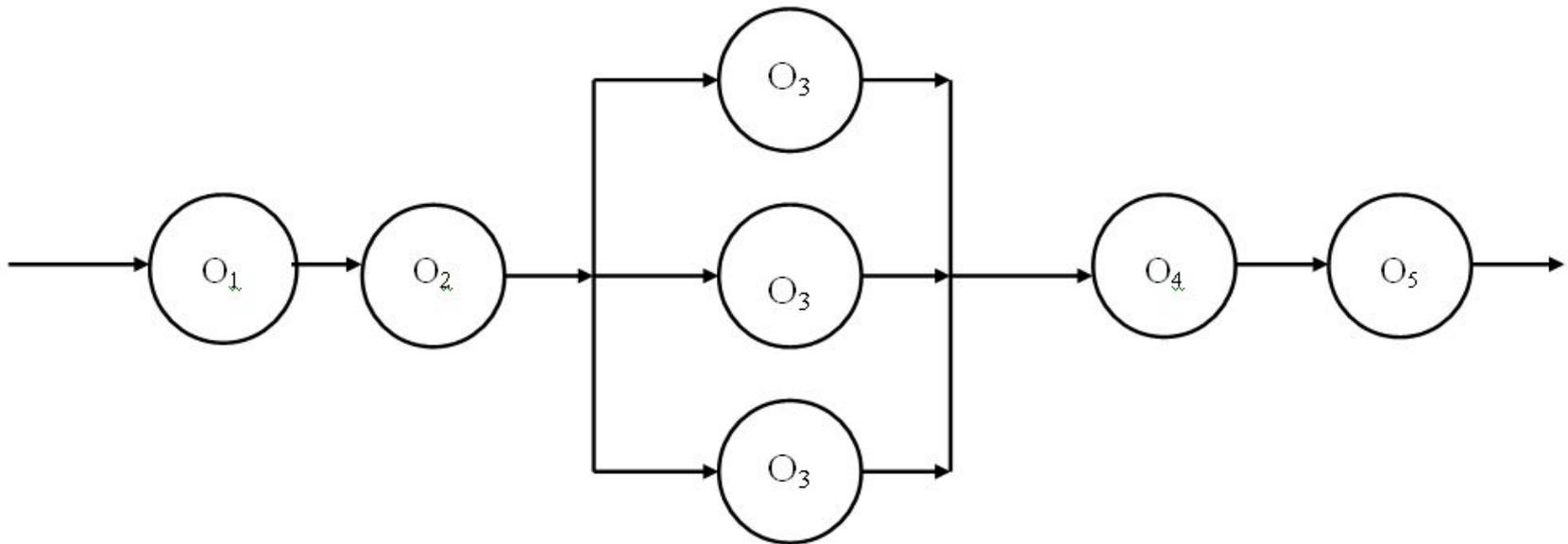
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Параллельная технологическая система - технологическая система, подсистемы которой параллельно выполняют заданный технологический процесс или заданную технологическую операцию.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Комбинированная технологическая система -технологическая система, структура которой может быть представлена в виде объединения последовательных и параллельных систем более низкого уровня.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

По уровню специализации различают технологические системы:

специальная технологическая система - технологическая система для изготовления или ремонта изделия одного наименования и типоразмера (изготовление спичечной соломки);



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

специализированная технологическая система - технологическая система для изготовления или ремонта группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками (изготовление погонажных изделий);



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

универсальная технологическая система - технологическая система для изготовления или ремонта изделий с различными конструктивными и технологическими признаками.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

ОБЪЕКТ – технологическая система.

ФУНКЦИИ технологических систем это - стабильная способность к выполнению заданных технологических процессов или операций.

ПАРАМЕТРЫ технологических систем характеризуют качество продукции, производительность, уровень материальных и стоимостных затрат.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

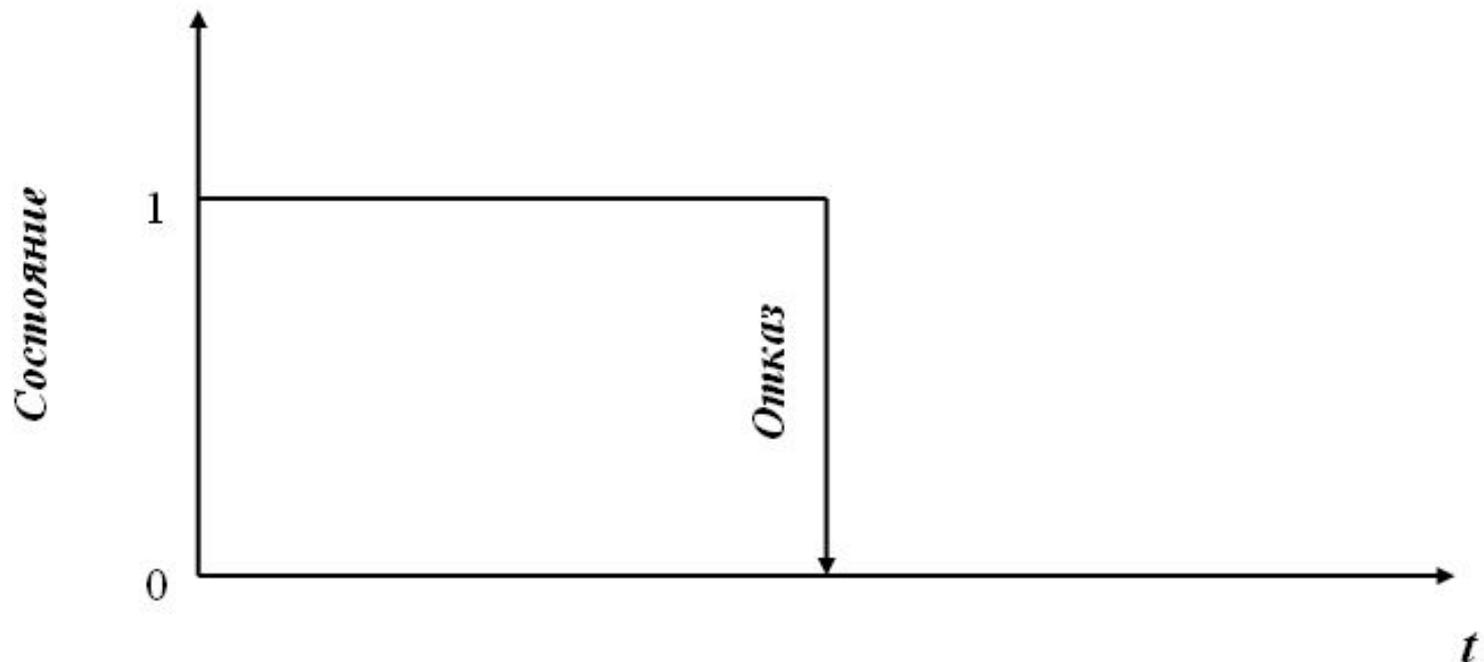
**РАБОТОСПОСОБНОЕ СОСТОЯНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ** *это -
состояние, при котором значения параметров
и (или) показателей качества изготавливаемой
продукции, производительности,
материальных и стоимостных затрат на
изготовление продукции соответствуют
требованиям, установленным в нормативно-
технической и (или) конструкторской и
технологической документации.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**НЕРАБОТОСПОСОБНОЕ СОСТОЯНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ** *это -
состояние, при котором значение хотя бы
одного параметра и (или) показателя качества
изготавливаемой продукции,
производительности, материальных и
стоимостных затрат на изготовление
продукции не соответствует требованиям,
установленным в нормативно-технической и
(или) конструкторской и технологической
документации.*

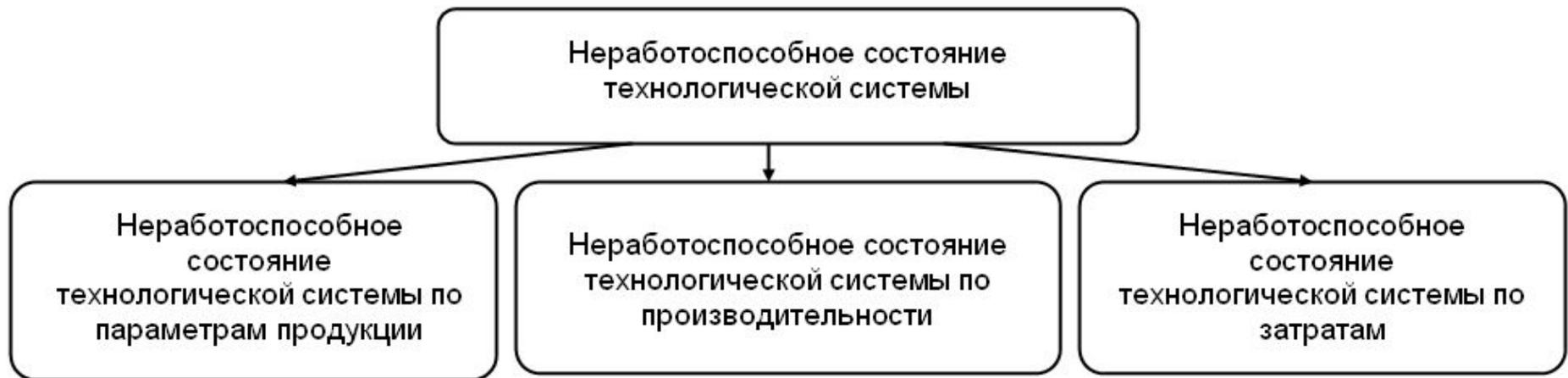
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Отказ это – событие, заключающееся в переходе из работоспособного в неработоспособное состояние



1 – работоспособное состояние; 0 – неработоспособное состояние;
t – время работы (наработка)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

НЕРАБОТОСПОСОБНОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРОДУКЦИИ

это – состояние технологической системы, при котором значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества изготавливаемой продукции не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

В зависимости от вида ТС на все показатели надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции подразделяют на



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Вид технологической системы	Группы показателей надёжности ТС			
	по точности	по технологической дисциплине	по выполнению заданий по качеству	комплексные показатели
ТС технологической операции	+	-	+	-
ТС технологического процесса	+	+	+	+
ТС производственного подразделения	-	+	+	+
ТС предприятия	-	+	+	+

Примечание. Знак "+" означает возможность применения группы показателей для ТС данного вида.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для оценки показателей надёжности по параметрам качества изготавливаемой продукции в зависимости от вида ТС и целей оценки следует использовать:



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Расчетные методы основаны на:

- **использовании математических моделей изменения параметров качества изготавливаемой продукции или параметров технологического процесса, с учетом физики отказов (качественной природы процессов износа, старения, температурных деформаций и т.п.) и имеющихся априорных данных о свойствах технологических систем данного класса.**

Зависимость изменения конечного размера после обработки от радиуса закругления режущей кромки инструмента

$$d = \Delta_{\rho} \left(\frac{\sin(\alpha + \beta / 2)}{\sin(\beta / 2)} - \varepsilon_0 \right)$$

- **на использовании данных о закономерностях изменения во времени факторов (износ инструмента, температурные и упругие деформации и т.п.), влияющих на один или одновременно несколько параметров качества изготавливаемой продукции.**

Зависимость радиуса закругления режущей кромки инструмента от пути резания

$$\Delta_{\rho} = \gamma_{\Delta} L$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Опытно-статистические (измерительные) методы

основаны на использовании данных измерений параметров качества изготавливаемой продукции, полученных в результате специального выборочного обследования ТС и (или) специальных испытаний ТС и ее элементов (контроль на соответствие нормам точности).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Регистрационные методы

Не требуют проведения специального выборочного обследования и основаны на анализе информации, регистрируемой в процессе управления предприятием.

Эта информация должна удовлетворять требованиям достоверности и однородности, а также быть достаточной для оценки значения искомого показателя.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Экспертные методы

Основаны на использовании результатов опроса экспертной группы, располагающей информацией о надёжности данной технологической системы и факторах, влияющих на качество изготавливаемой продукции.

Экспертные методы следует применять при невозможности или нецелесообразности использования расчетных, опытно-статистических или регистрационных методов (недостаточное количество информации, необходимость разработки специальных технических средств и т.п.).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Метод квалитетов

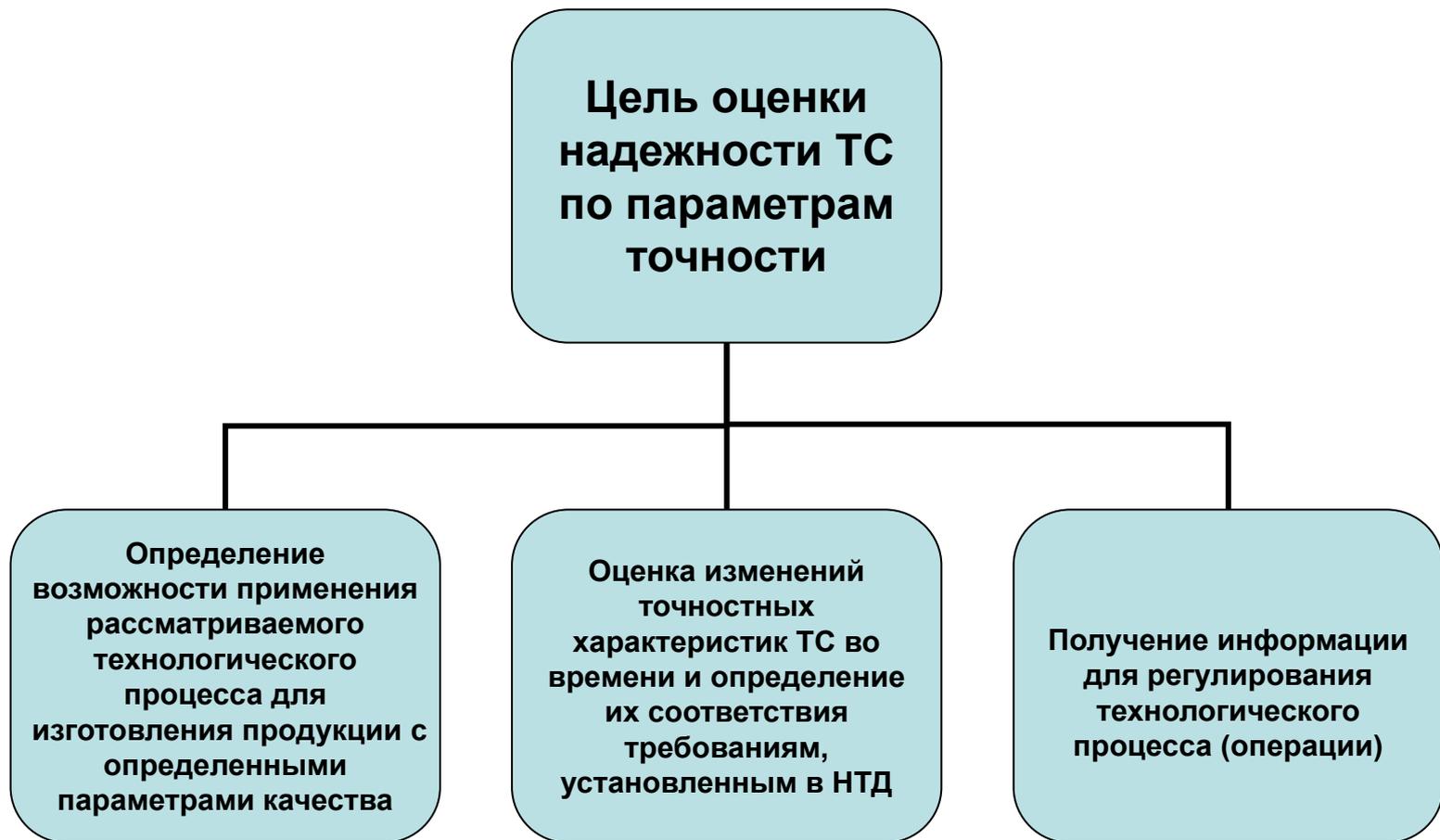
(Для предварительной оценки надёжности ТС по параметрам точности)

Основан на сравнении требуемых значений параметров ТС с их предельными возможными значениями, установленными в справочной и нормативно-технической документации (НТД) в зависимости от квалитетов (классов) точности применяемых средств технологического оснащения и предметов производства.

Пример: квалитет точности большинства деталей из древесины 13, следовательно станок должен обеспечивать точность обработки не ниже 10-12 квалитета.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОЧНОСТИ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Оценку надежности по параметрам точности следует производить по результатам контроля точности ТС технологических процессов (операций).

Вид контроля, номенклатуру контролируемых параметров и номенклатуру показателей точности ТС следует определять в процессе анализа точности и стабильности технологических процессов (операций) и устанавливать в НТД предприятия с учетом условий, вида и объема производства.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В процессе анализа точности и стабильности технологических процессов (операций) определяют или уточняют:

модели формирования погрешностей обработки (*из каких составляющих и как складывается погрешность: податливость системы, износ инструмента, вибрация, нагрев и т.д.*)

модели изменения точности ТС во времени (*дрейф медианы и поля рассеяния фактических размеров после обработки*)

оценки параметров точности ТС (*соответствие нормам точности*)

зависимости между параметрами изготавливаемой продукции и параметрами ТС (*влияние режимов обработки на точность*)

зависимости между погрешностями обработки на различных операциях рассматриваемого технологического процесса (*неточность размера заготовок → изменение толщины срезаемого слоя → изменения радиальной силы резания → деформация системы СПИД → изменение конечного размера детали*)

основные факторы, изменяющие точностные характеристики ТС (*механические свойства древесины, износостойкость инструмента, толщина срезаемого слоя, скорость резания*)

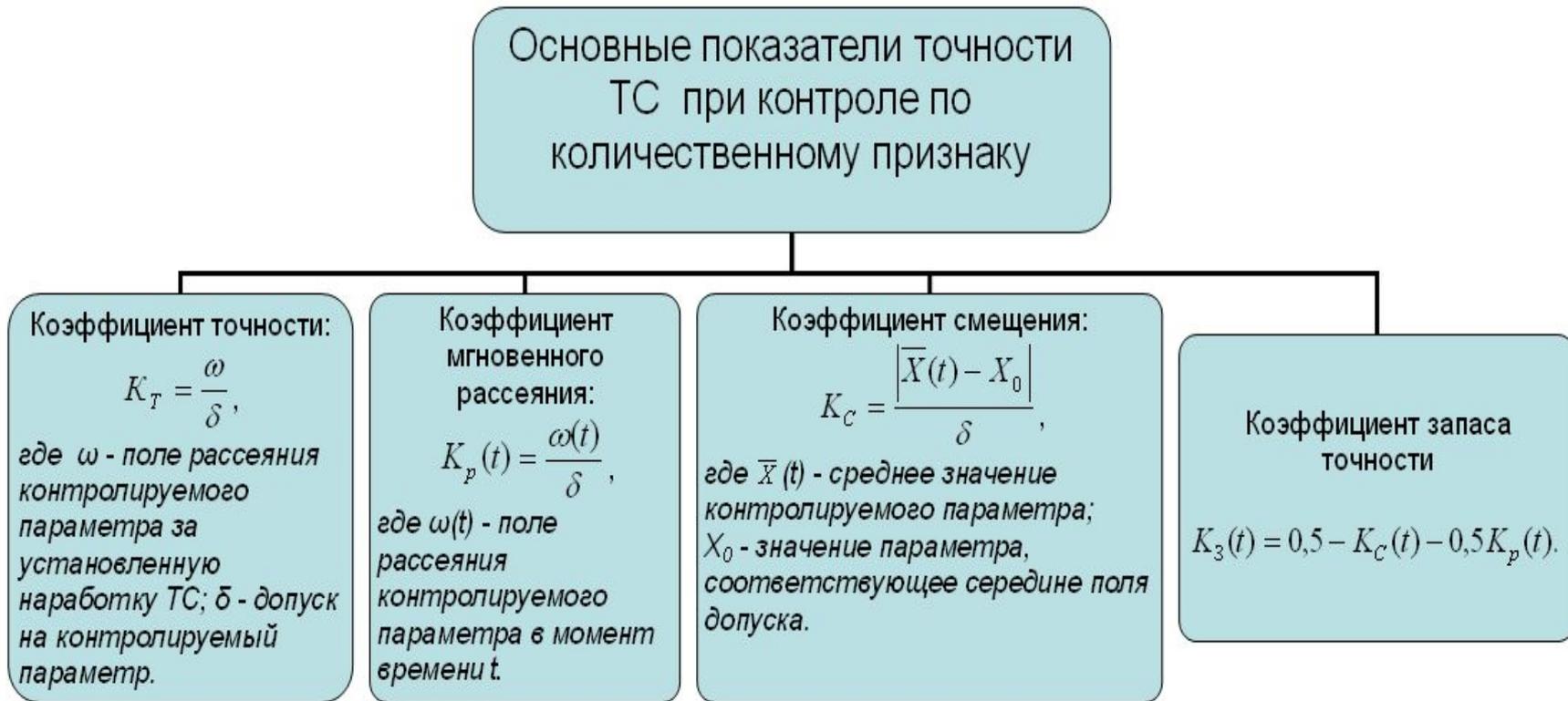
пути и средства повышения точности ТС в процессе эксплуатации (*повышение жесткости системы СПИД, повышение износостойкости инструмента и др.*)

оптимальные стратегии технического обслуживания и ремонта средств технологического оснащения (*назначение наработки ТС до подналадки или до смены инструмента*)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



**При контроле точности ТС по количественному признаку
должны выполняться условия:**

$$K_T < 1; K_p(t) < 1; K_c(t) < 0,5; K_3(t) > 0;$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТС ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

Основным фактором, определяющим точность обработки, является фактическое положение плоскости резания.

Поперечное сечение резца плоскостью нормальной к режущей кромке, представляет собой клин с округленной вершиной и изношенными до той или иной степени задней и передней гранями.

Считаем кривую округления режущей кромки дугой окружности, радиус которой является показателем остроты резца ρ .

Обработанная поверхность древесины расположена ниже плоскости резания на величину остаточной деформации $\delta_{ост} = \rho \varepsilon_0$.

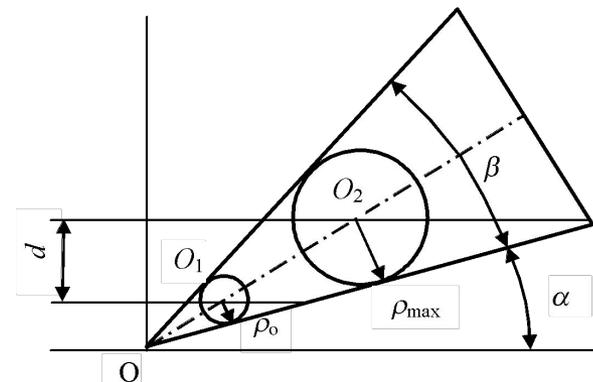


Рис. 1. Схема к расчету положения
плоскости резания

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ 10/02

При увеличении радиуса закругления от ρ_0 до ρ_{max} обработанная поверхность отклонится от первоначального положения на величину d

$$d = (d_{max} - \varepsilon_0 \rho_{max}) - (d_0 - \varepsilon_0 \rho_0) = (\rho_{max} - \rho_0)(e - \varepsilon_0)$$

где $d_0 = \frac{\rho_0 \sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}$, $d_{max} = \frac{\rho_{max} \sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}$ $e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}$

Приведем подобные, получим

$$\rho_{max} = \rho_0 + \frac{d}{e - \varepsilon_0} = \rho_0 + \Delta_\rho$$

Отсюда $\Delta_\rho = \frac{d}{e - \varepsilon_0}$

С другой стороны $\Delta_\rho = \gamma_\Delta L$

где γ_Δ - интенсивность изнашивания - величина затупления (приращения радиуса) режущей кромки (мкм/м);

L – путь резца в заготовке (м) за наработку t ,

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЧНОСТИ ТС ВО ВРЕМЕНИ

$$L = 60nlt / 1000,$$

где n – частота вращения инструмента (мин⁻¹);

l – длина дуги контакта лезвия с древесиной (мм) [1];

t – время работы инструмента (час).

$$l = \sqrt{\Pi D},$$

где Π – припуск на обработку или толщина срезаемого слоя (мм);

D – диаметр окружности резания (мм).

После соответствующих преобразований

$$t = \frac{1000 \Delta_{\rho}}{60 \gamma_{\Delta} n l} \approx \frac{16,7 \Delta_{\rho}}{\gamma_{\Delta} n l}.$$

Подставляя Δ_{ρ} , получим:

$$t \approx \frac{16,7 d}{\gamma_{\Delta} n l (e - \varepsilon_0)}.$$

Подставляя в полученное выражение средние значения всех параметров, получим выражение для средней наработки до отказа

$$T_1 \approx \frac{16,7 \bar{d}}{\gamma_{\Delta} \bar{n} \bar{l} (e - \varepsilon_0)},$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ

Оценим точность обработки коэффициентом запаса точности по ГОСТ 27.202-83

$$K_3(t) = 0,5 - K_c(t) - 0,5K_p(t),$$

где $K_c(t)$ – коэффициент смещения; $K_p(t)$ – коэффициент мгновенного рассеяния.

$$K_c = \frac{|\bar{X}(t) - X_0|}{\delta},$$

где $\bar{X}(t)$ – среднее значение контролируемого параметра в момент времени t ;

X_0 – значение параметра, соответствующее середине поля допуска.

$$K_p(t) = \frac{\omega(t)}{\delta},$$

где $\omega(t)$ – поле рассеяния контролируемого параметра в момент времени t ;

δ – допуск на контролируемый параметр.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В соответствии с ГОСТ 27.202-83 должно выполняться условие: $K_3(t) > 0$.

В предельном случае отказа по точности примем, что коэффициент запаса точности $K_3(t) = 0$, исходя из начальной настройки станка на совмещение среднего значения размера детали с серединой поля допуска и принимая поле рассеяния размера детали не более половины поля допуска, получим:

$$d = \bar{X}(t) - X_0 = 0,25\delta$$

Нормы точности на станки для продольного фрезерования древесины допускают разно-размерность обработанных деталей в пределах 0,1...0,2 мм, следовательно, смещение d не должно превышать 25...50 мкм при односторонней обработке и 12,5...25 мкм – при двухсторонней.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ПАРАМЕТРАМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью оценки надежности ТС по параметрам технологической дисциплины является определение уровня технологической дисциплины и характера его изменения во времени.

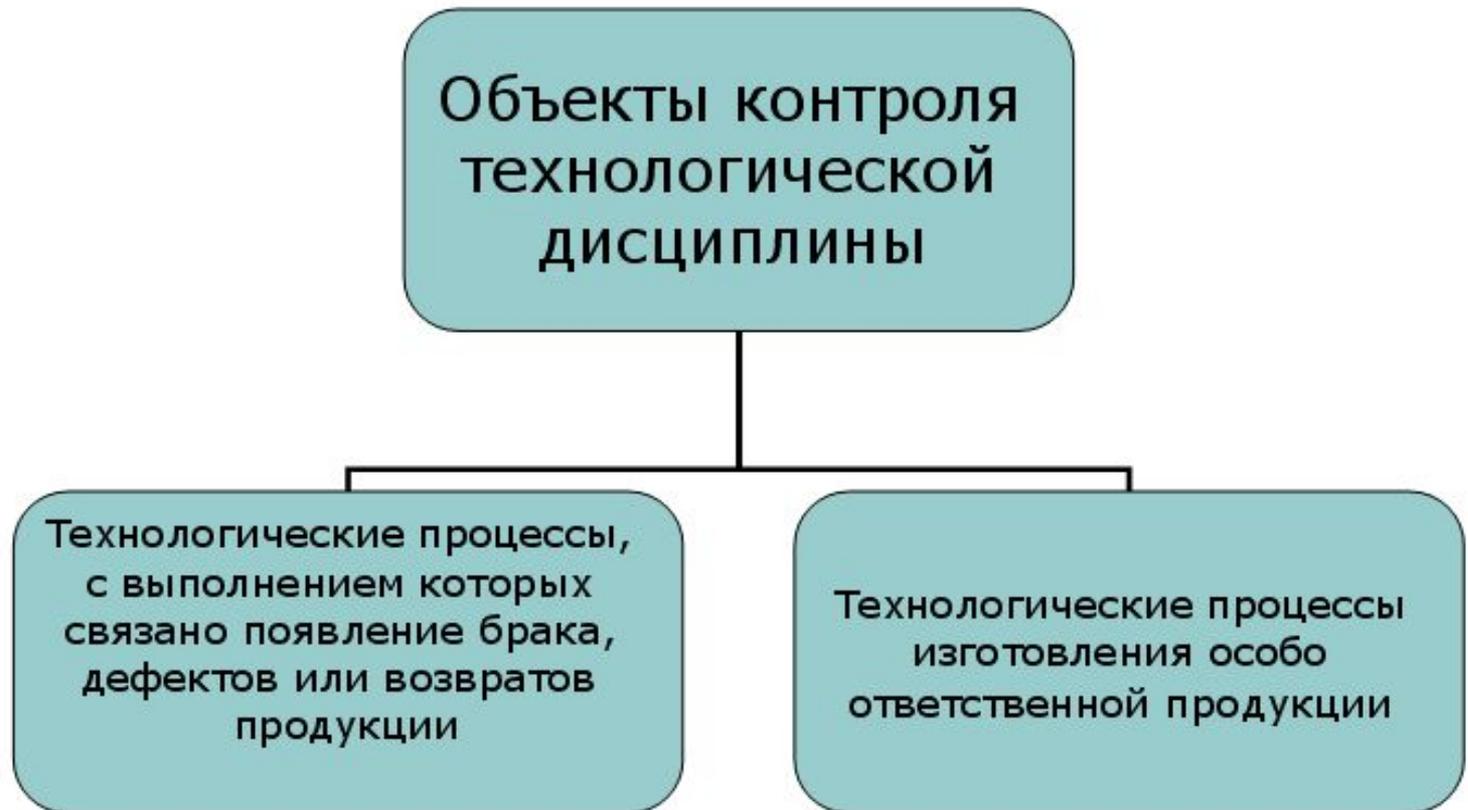
Оценку надежности ТС по параметрам технологической дисциплины следует производить в случаях:

▣ выбора методов и планов статистического регулирования технологических процессов (операций);

▣ выбора и корректировки планов испытаний и технического контроля готовой продукции по результатам контроля технологической дисциплины.

Основные положения, планирование и порядок проведения контроля технологической дисциплины - по НТД.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основными показателями надёжности ТС по параметрам технологической дисциплины являются средние значения соответствующих показателей технологической дисциплины за установленную наработку.

Показатели технологической дисциплины по технологическому процессу, производственному подразделению и предприятию в целом следует определять регистрационным методом по НТД.

При выборе объектов контроля, получении предварительных оценок и базовых значений допускается использовать экспертные методы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ОЦЕНКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО ПАРАМЕТРАМ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЯЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Целью оценки выполнения заданий по параметрам качества изготавливаемой продукции является определение вероятности того, что ТС обеспечит изготовление продукции в соответствии с требованиями НТД.

Оценка выполнения заданий должна производиться для технологических процессов (операций), оказывающих решающее влияние на качество готовой продукции, а также по которым получены неудовлетворительные результаты оценок по параметрам точности и по параметрам технологической дисциплины.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Оценку выполнения заданий следует производить в следующих случаях:

- ▣ *Разработка технологических процессов на этапе технологической подготовки производства*
- ▣ *Определение периодичности подналадок технологического оборудования*
- ▣ *Выбор методов и планов статистического регулирования технологических процессов (операций)*
- ▣ *Выбор и корректировка планов испытаний и технического контроля готовой продукции*
- ▣ *Совершенствование ТС в части повышения их надежности и качества изготавливаемой продукции*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Показатели, используемые при оценке выполнения заданий:

Вероятность выполнения задания по одному (i -му) параметру изготавливаемой продукции - вероятность выполнения требований НТД по этому параметру для единицы продукции, изготовленной в момент времени t (для ТС технологических операций)

$$P_i(t) = P\{X_{\text{нi}} \leq X_i(t) \leq X_{\text{вi}}\}$$

Вероятность выполнения заданий ТС (выполнения требований НТД одновременно по n параметрам) для единицы продукции, изготовленной в момент времени t (для ТС технологических операций)

$$P_{1...n}(t) = P\{X_{\text{н1}} \leq X_1(t) \leq X_{\text{в1}} \dots X_{\text{нn}} \leq X_n(t) \leq X_{\text{вn}}\}$$

Коэффициент выполнения заданий по параметрам изготавливаемой продукции (для производственных подразделений)

$$K_{\text{в}}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(t).$$

Наряду с мгновенными показателями допускается использовать их средние значения за установленную наработку ТС.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Значения показателей выполнения заданий для разрабатываемых ТС следует определять, главным образом, расчетными методами.

Значение показателей выполнения заданий для действующих ТС в общем случае следует проводить расчетными или опытно-статистическими методами.

Значения показателей выполнения заданий для действующих ТС в случае целью поддержания необходимого уровня надежности действующих систем, следует определять регистрационными методами.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТС ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАБОТКИ

Одним из главных показателей качества деталей из древесины является шероховатость обработанной поверхности. Она определяет основные эксплуатационные свойства – эстетические: отражающую и поглощающую способность поверхностей [3], конструктивно-технологические: адгезию к лакокрасочным покрытиям и клеевым составам, прочность клеевого соединения при скалывании и технико-экономические: трудоемкость операции отделки и расход лакокрасочных материалов.

Для профильных деталей, получаемых продольным фрезерованием, ГОСТ 8242-88 [5] определяет параметры шероховатости поверхности в зависимости от дальнейшего использования деталей. Например, для деталей под прозрачное покрытие шероховатость $R_{\text{mmax}} = 80$ мкм, под непрозрачное покрытие $R_{\text{mmax}} = 200$ мкм, для нелицевых поверхно-стей $R_{\text{mmax}} = 500$ мкм, для других деталей $R_{\text{mmax}} = 120$ мкм.

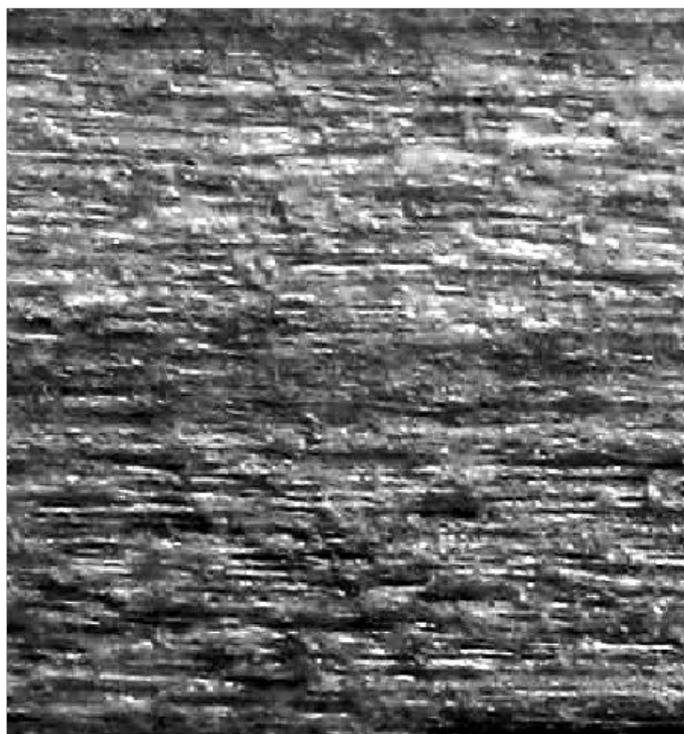
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Как показывают исследования, при остром лезвии инструмента (радиус закругления режущей кромки ρ_0) происходит перерезание волокон древесины с минимальными неровностями разрушения, мшистостью и ворсистостью получаемой поверхности.

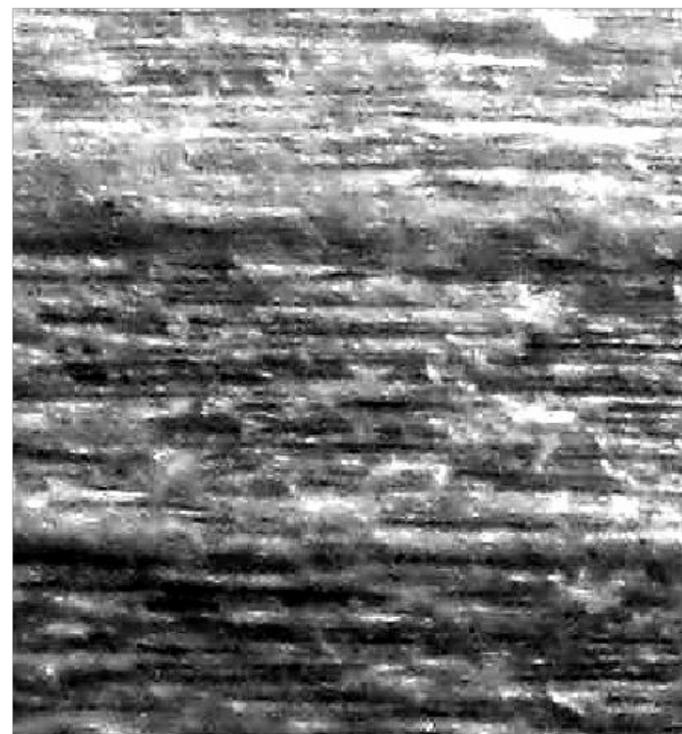
Величина шероховатости поверхности определяется, в основном, неточностью установки режущих лезвий инструмента - разностью радиусов фактических поверхностей резания относительно оси их вращения и является так называемой «кинематической волнистостью».

В результате изнашивания инструмента и увеличения радиуса закругления режущей кромки изменяется характер разрушения древесины: затупленное лезвие сминает и разрывает волокна, что приводит к увеличению шероховатости обработанной поверхности

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



а)



б)

Рис. 2. Разрушение древесины острым (а) и затупленным (б)
резцом (увеличение $\times 50$)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ 17/02

Опытные данные Н.А. Кряжева [6] показывают, что шероховатость обработанной поверхности древесины существенно зависит от радиуса закругления режущей кромки лезвия инструмента. Она достаточно хорошо описывается экспонентой

$$R(\rho) = R_0 e^{k\rho}, \quad (1)$$

где R_0 - параметр шероховатости поверхности, обработанной остро заточенным лезвием режущего инструмента, мкм; k - коэффициент пропорциональности.

Значение радиуса закругления режущей кромки ρ зависит от интенсивности изнашивания материала лезвия инструмента γ_Δ и суммарной длины пути контакта его с древесиной в процессе обработки (пути резания) L

$$\rho = \rho_0 + \Delta_\rho = \rho_0 + \gamma_\Delta L, \quad (2)$$

где ρ_0 – радиус закругления режущей кромки остро заточенного инструмента.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Если принять, что идеально заточенный инструмент имеет «нулевой» радиус закругления режущей кромки ($\rho_0 = 0$), то его значение, соответствующее пути резания L , будет равно

$$\rho = \Delta_\rho = \gamma_\Delta L. \quad (3)$$

В свою очередь, путь резания пропорционален длине дуги контакта лезвия с древесиной l_k (мм), частоте вращения фрезы n (мин⁻¹) и времени работы инструмента t (час)

$$L = \frac{l_k}{1000} 60nt = 0,06l_k nt. \quad (4)$$

Ввиду малости l_k , приближенно считают

$$l = \sqrt{hD_p}, \quad (5)$$

где h - толщина срезаемого слоя (мм); D_p - диаметр окружности резания (мм).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Совершая ряд математических преобразований, получаем следующий вид формулы экспоненциальной зависимости шероховатости

$$R(t) = R_0 e^{0,06 k \gamma_{\Delta} n \sqrt{h D_p t}}. \quad (6)$$

Отказ технологической системы по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» наступит, когда соответствующий параметр достигнет своего предельного значения R_{lim} . Нарработку до такого отказа можно определить, решив выражение (6) относительно t . Подставляя в преобразованное выражение средние значения всех параметров, получим выражение для средней наработки до отказа

$$T_1 = \frac{16,7}{\overline{k \gamma_{\Delta} n \sqrt{h D_p}}} \ln \frac{\overline{R_{lim}}}{\overline{R_0}}. \quad (7)$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учитывая, что средняя наработка до отказа достигается с вероятностью около 0,5, можно предположить, что примерно половина всех изготовленных за это время деталей будет иметь шероховатость выше предельного значения, то есть потребуют доработки.

Для снижения процента брака необходимо использовать в качестве установленного периода стойкости инструмента не среднюю, а гамма-процентную наработку до отказа, например, 80-процентную:

$$t_{0,8} = T_1 - 0,841\sigma_t, \quad (8)$$

где σ_t – среднее квадратическое отклонение наработки до отказа.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Комплексные показатели надежности ТС по параметрам качества изготавливаемой продукции характеризуют надежность ТС и качество продукции, изготовленной за установленную наработку или определенный промежуток времени.

Оценку комплексных показателей надежности ТС по параметрам качества изготавливаемой продукции следует производить в случаях:

- Разработка технологических процессов на этапе технологической подготовки производства.*
- Управление технологическими процессами.*
- Выбор и корректировка планов испытаний и технического контроля готовой продукции.*
- Совершенствование ТС в части повышения их надежности и качества изготавливаемой продукции.*

Оценку надежности по комплексным показателям следует производить для всех ТС технологических процессов, производственных подразделений и предприятия в целом.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Коэффициент дефектности для ТС технологического процесса (производственного подразделения или предприятия) - среднее значение коэффициента (индекса) дефектности продукции, изготовленной за установленную наработку (рассматриваемый календарный промежуток времени).

Коэффициент дефектности продукции - среднее взвешенное количество дефектов, приходящееся на единицу продукции.

Индекс дефектности продукции - комплексный показатель качества разнородной продукции, выпущенной за рассматриваемый интервал, равный среднему взвешенному коэффициентов дефектности этой продукции.

Вероятность соблюдения норматива по дефектности - вероятность того, что значение коэффициента дефектности для ТС не превысит нормативного (технико-экономически обоснованного) значения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Коэффициент возвратов для ТС технологического процесса

(производственного подразделения) - отношение объема продукции, имеющей устранимые дефекты и возвращенной на доработку с последующих технологических процессов (из смежных производственных подразделений), по отношению к объему всей продукции, изготовленной за установленную наработку (за рассматриваемый календарный промежуток времени).

Устранимый дефект - дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно.

Вероятность соблюдения норматива по возвратам продукции - вероятность того, что коэффициент возвратов для ТС не превысит нормативного (технико-экономически обоснованного) значения.

Процент сдачи продукции с первого предъявления для ТС технологического процесса (производственного подразделения или предприятия) - среднее значение процента сдачи с первого предъявления продукции, изготовленной за установленную наработку (за рассматриваемый календарный промежуток времени).

Вероятность соблюдения норматива по сдаче продукции с первого предъявления - вероятность, что процент сдачи продукции с первого предъявления для ТС будет не менее нормативного (технико-экономически обоснованного) значения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Коэффициент брака для ТС технологического процесса (производственного подразделения или предприятия) - отношение объема продукции, имеющей неустранимые критические дефекты, к объему всей продукции, изготовленной за установленную наработку (за рассматриваемый календарный промежуток времени).

Критический дефект - дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо.

Неустранимый дефект - дефект, устранение которого технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Вероятность соблюдения норматива по браку - вероятность того, что значение коэффициента брака для ТС не превысит нормативного (технико-экономически обоснованного) значения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Возможные методы определения значений показателей
указаны в таблице знаком (+).*

Наименование показателей	Методы определения		
	расчетный	регистрационный	экспертный
Показатели надежности ТС по критериям дефектности	+	+	-
Показатели надежности ТС по критериям возвратов продукции	+	+	+
Показатели надежности ТС по критериям брака	+	+	+

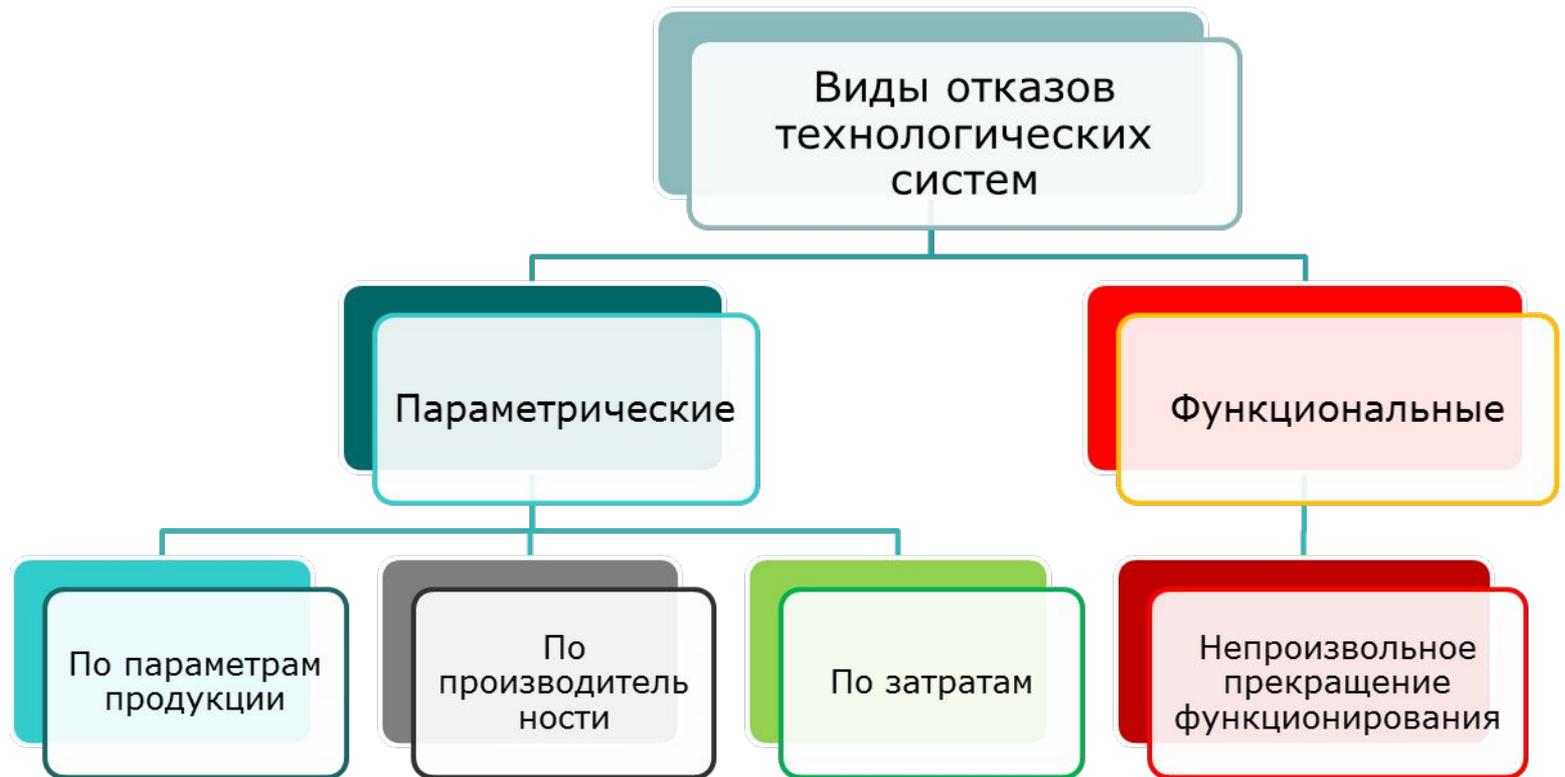
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При выборе методов определения значений показателей следует отдавать предпочтение регистрационным методам.

Расчетные методы следует применять преимущественно на этапе технологической подготовки производства.

Экспертные методы следует применять преимущественно для предварительной оценки искомых величин.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

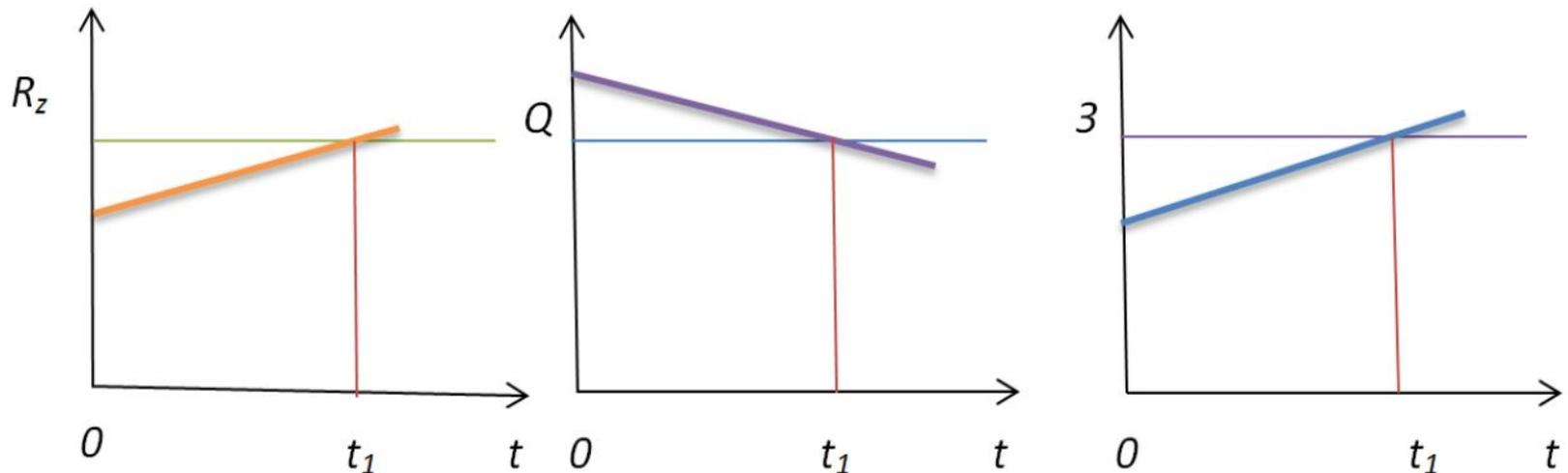


ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

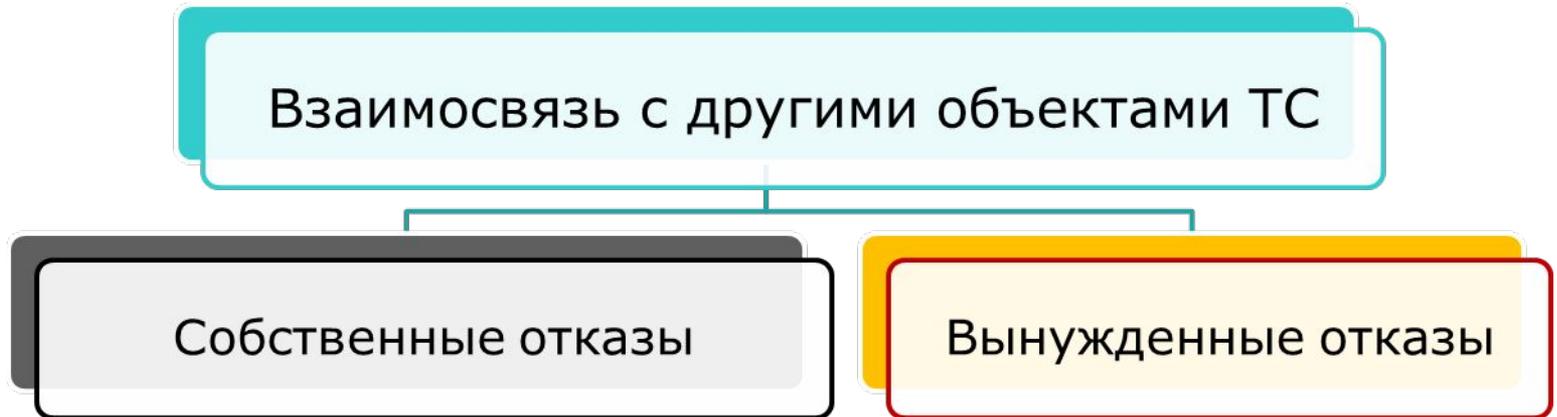
*Отказ технологической системы, в результате которого значение хотя бы одного параметра или показателя качества изготавливаемой продукции не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской документации, называется **ОТКАЗОМ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРОДУКЦИИ**.*

*Отказ технологической системы, в результате которого значение хотя бы одного параметра производительности технологической системы не соответствует значениям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторско-технологической документации, называется **ОТКАЗОМ ПО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**.*

*Отказ технологической системы, в результате которого значение хотя бы одного параметра материальных или стоимостных затрат не соответствует значениям, установленным в технической документации, называется **ОТКАЗОМ ПО ЗАТРАТАМ**.*



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



*Отказ технологической системы, вызванный нарушением работоспособного состояния ее элементов и (или) функциональных связей между ними, называется **СОБСТВЕННЫМ ОТКАЗОМ**.*

*Отказ технологической системы, вызванный нарушением регламентированных для этой системы условий производства, называется **ВЫНУЖДЕННЫМ ОТКАЗОМ**.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

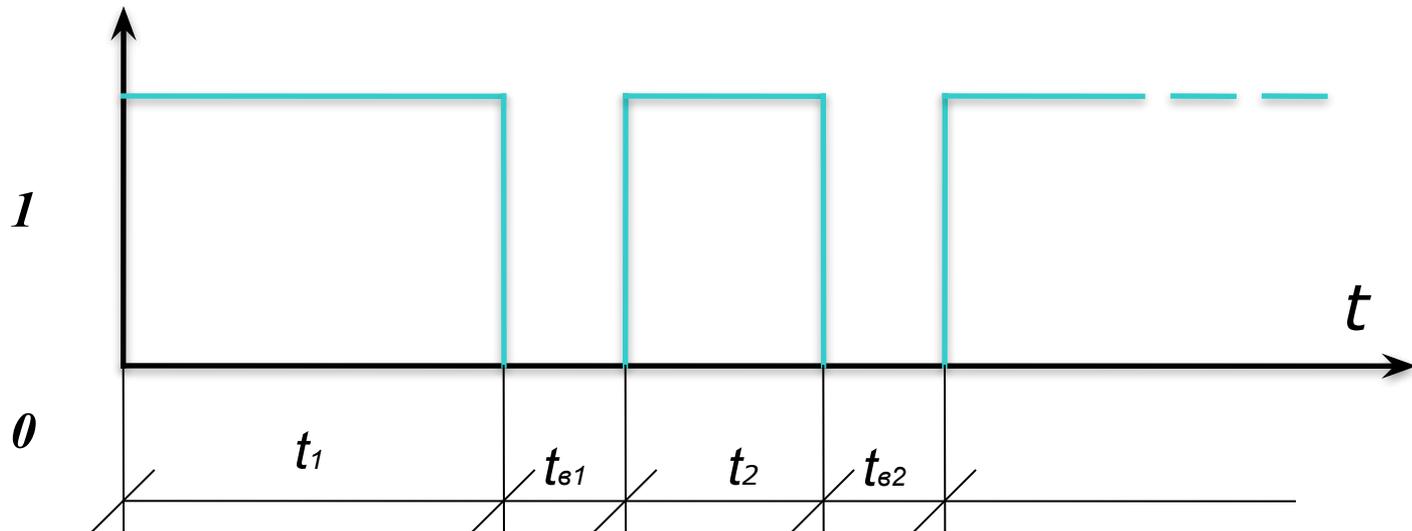
Безотказность это - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

(РАБОТОСПОСОБНОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ это - состояние, при котором значения параметров и (или) показателей качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации)

Наработка - продолжительность или объем работы объекта. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега в т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- *Наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа это – наработка до отказа (t_1).*
- *Наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после i -го отказа до возникновения следующего отказа это – наработка между отказами (t_i).*



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ 03/03

НАРАБОТКА ДО ОТКАЗА (МЕЖДУ ОТКАЗАМИ) – случайная величина, ее значения имеют вероятностный характер, описываемый определенным законом распределения $F(t)$.

ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ это - вероятность того, что в пределах заданной, наработки отказ объекта не возникнет

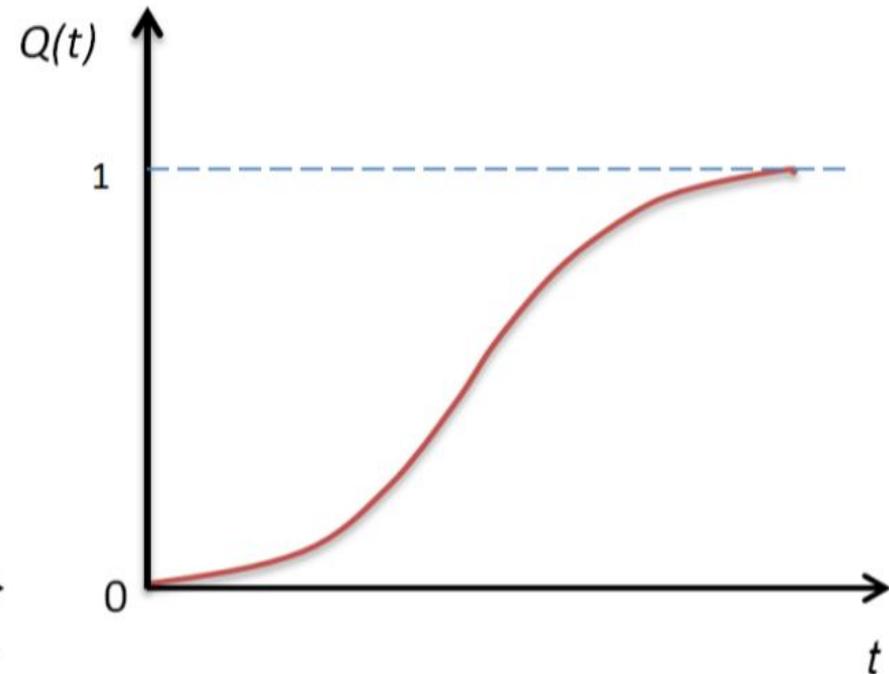
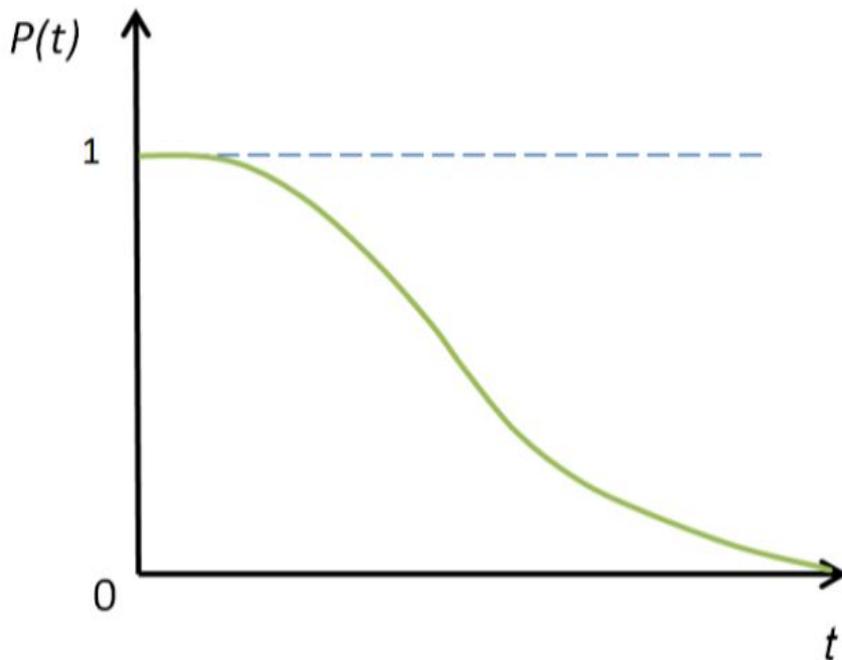
$$P(t) = 1 - F(t).$$

ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРОДУКЦИИ (ПАРАМЕТРАМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, ЗАТРАТАМ) это - вероятность того, что в пределах заданной наработки не произойдет отказа технологической системы по параметрам изготавливаемой продукции (параметрам производительности, затратам).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Вероятность того, что объект откажет хотя бы один раз в течение заданной наработки, будучи работоспособным в начальный момент времени, это - ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА

$$Q(t) = 1 - P(t) = F(t)$$



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

СРЕДНЯЯ НАРАБОТКА ДО ОТКАЗА это – математическое ожидание наработки до первого отказа.

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t_1) dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t_1)] dt.$$

СРЕДНЯЯ НАРАБОТКА НА ОТКАЗ это – математическое ожидание наработки между отказами.

$$T = \int_0^{\infty} P(t_i) dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t_i)] dt.$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статистическая оценка вероятности безотказной работы дается формулой

$$P^* = \frac{N(t)}{N_0},$$

где N_0 - общее количество наблюдаемых отказов; $N(t)$ – количество отказов к моменту наработки t .

Статистическая оценка средней наработки до отказа (на отказ) дается формулами

$$T_1^* = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_{1i},$$

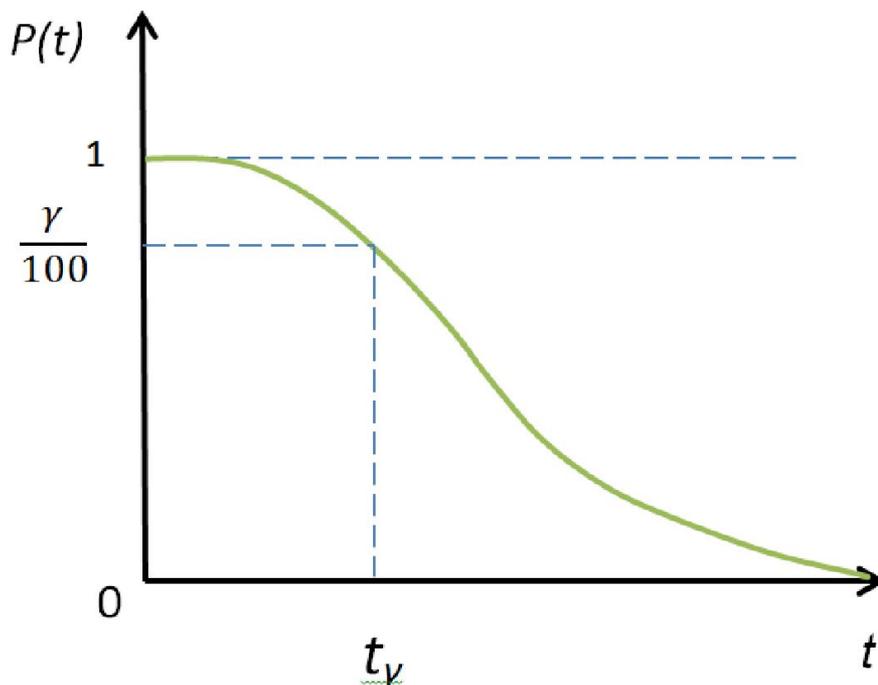
$$T^* = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i.$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ГАММА-ПРОЦЕНТНАЯ НАРАБОТКА ДО ОТКАЗА (НА ОТКАЗ)

это - наработка (t_γ) в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью «гамма» (γ), выраженной в процентах.

$$\frac{\gamma}{100} = P(t_\gamma).$$



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

РЕСУРС – суммарная наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние (состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно).

СРОК СЛУЖБЫ – календарная продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УСТАНОВЛЕННАЯ БЕЗОТКАЗНАЯ НАРАБОТКА

(установленный ресурс, установленный срок службы)

технологического комплекса это - гамма-процентная наработка (ресурс, срок службы) технологической системы при $\gamma = 100\%$.

НАЗНАЧЕННАЯ НАРАБОТКА ДО ПОДНАЛАДКИ это -

наработка технологического комплекса, по истечении которой должна быть произведена подналадка средств технологического оснащения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Вероятность безотказной работы технологической системы по параметрам продукции (параметрам производительности, затратам) это - вероятность того, что в пределах заданной наработки не произойдет отказа технологической системы по параметрам изготавливаемой продукции (параметрам производительности, затратам).

Вероятность выполнения технологической системой задания это – вероятность того, что объем выпуска технологической системой годной продукции и затраты на ее изготовление за рассматриваемый интервал времени будут соответствовать требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

Вероятность выполнения технологической системой задания по объему выпуска это - вероятность того, что объем выпуска технологической системой годной продукции за рассматриваемый интервал времени будет не менее заданного.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Коэффициент использования технологической системы это - отношение средней продолжительности пребывания технологической системы в работоспособном состоянии к значению номинального фонда времени за рассматриваемый интервал времени.

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{ном}}$$

где t_i – наработка между началом работы или i – тым восстановлением и последующим отказом;

$t_{ном}$ - номинальный фонда времени за рассматриваемый интервал времени

$$t_{ном} = [(D_{к} - D_{п} - D_{с})t_{см} + D_{с}t_{с}]n_{см}$$

где $D_{к}$ – количество календарных дней в интервале;

$D_{п}$ – количество праздничных и выходных дней в интервале;

$D_{с}$ - количество дней с сокращенной продолжительностью смен;

$t_{см}$ – нормальная продолжительность смены;

$t_{с}$ - продолжительность сокращенной смены;

$n_{см}$ – коэффициент сменности.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Коэффициент выхода годной продукции это - отношение среднего значения объема годной продукции (V_{Γ}) технологической системы к объему всей изготовленной ею продукции за рассматриваемый интервал времени (V_o)

$$K_{\text{ВЫХ}} = \frac{V_{\Gamma}}{V_o}.$$

При определении объема изготовленной продукции следует учитывать продукцию, отбракованную на всех операциях, выполняемых технологической системой.

Коэффициент сохранения производительности это - отношение среднего значения объема выпуска технологической системой годной продукции за рассматриваемый интервал времени (V_{Γ}) к его номинальному значению ($V_{\Gamma\text{НОМ}}$), вычисленному при условии, что отказы технологической системы не возникают

$$K_{\text{ПР}} = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Gamma\text{НОМ}}}.$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Коэффициент расхода i -го вида материальных (стоимостных) затрат это - отношение среднего расхода i -го вида материальных (стоимостных) затрат на изготовление продукции за рассматриваемый интервал времени к его номинальному значению, вычисленному при условии, что отказы технологической системы не возникают

$$K_{pi} = \frac{Z_i}{Z_{i\text{НОМ}}}$$

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. В общем виде интенсивность отказов – функция наработки

$$\lambda(t) = - \frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt}$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статистическая оценка вероятности безотказной работы дается формулой

$$P^* = \frac{N(t)}{N_0},$$

где N_0 - общее количество наблюдаемых отказов; $N(t)$ – количество отказов к моменту наработки t .

Статистическая оценка средней наработки до отказа (на отказ) дается формулами

$$T_1^* = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_{1i},$$

$$T^* = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i.$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Часто в практических расчетах и при обработке экспериментальных данных используется **ОСРЕДНЕННЫЙ ПАРАМЕТР ПОТОКА ОТКАЗОВ** – отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за конечную наработку к значению этой наработки.*

$$\mu(t) = \frac{M[r(t_2) - r(t_1)]}{t_2 - t_1} = \frac{M[\Delta r(\Delta t)]}{\Delta t}$$

где $r(t_1)$, $r(t_2)$ – соответственно числа отказов, наступивших за суммарные наработки t_1 и t_2 , причем $t_1 < t_2$.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статистическая оценка параметра потока отказов дается формулой

$$\mu^*(t) = \frac{r(t_2) - r(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Для стационарных потоков отказов ($T = \text{const}$)

$$\mu^* = \frac{1}{T^*}$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Надёжность технологической системы зависит от надёжности входящих в нее элементов и обеспечения условий производства, отвечающих заданным требованиям.

Пусть: A_1 – работоспособное состояние средств технологического оснащения;

A_2 - состояние предмета производства, соответствующее заданным требованиям;

A_3 – присутствие и готовность исполнителя к трудовой деятельности;

A_4 – наличие необходимых условий производства, соответствующих заданным требованиям.

Тогда работоспособное состояние технологической системы в целом A будет соответствовать выполнению условия

$$A = A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Пусть:

$P(t)$ - вероятность безотказной работы ТС в целом;

$P_1(t)$ – вероятность безотказной работы средств
технологического оснащения;

$P_2(t)$ – вероятность наличия и соответствия предметов
производства заданным требованиям;

$P_3(t)$ – вероятность безошибочной работы исполнителя;

$P_4(t)$ – вероятность соответствия условий производства
заданным требованиям. Тогда

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t)P_4(t).$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Надежность средств технологического оснащения

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

Средства технологического оснащения могут находиться в различных состояниях: исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном или предельном.

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

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

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

Для сложных объектов возможно деление их неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, при которых объект способен частично выполнять требуемые функции.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Постепенный отказ - *отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.*

Сбой - *самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.*

Перебегающий отказ - *многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.*

Явный отказ - *отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения по назначению.*

Скрытый отказ - *отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Конструктивный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии.

Эксплуатационный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Деградационный отказ - отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ремонтопригодность средств технологического оснащения

Ремонтопригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Восстановление - процесс перевода объекта в работоспособное состояние из неработоспособного состояния.

Восстанавливаемый объект - объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Время восстановления - *продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта.*

Вероятность восстановления - *вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение.*

Среднее время восстановления - *математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа.*

Гамма-процентное время восстановления - *время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью γ , выраженной в процентах.*

Интенсивность восстановления - *условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Долговечность средств технологического оснащения

Долговечность это - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно является предельным.

Ресурс (срок службы)- суммарная наработка (календарная продолжительность эксплуатации) объекта от ее начала или возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией, является критерием предельного состояния.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Средний ресурс(срок службы) - математическое ожидание ресурса (срока службы).

Гамма-процентный ресурс(срок службы) - суммарная наработка (календарная продолжительность эксплуатации), в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Остаточный ресурс - суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Назначенный ресурс (срок службы) - суммарная наработка (календарная продолжительность эксплуатации), при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сохраняемость средств технологического оснащения

Сохраняемость - свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Срок сохраняемости - календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение которой сохраняются в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции.

По истечении срока сохраняемости объект должен соответствовать требованиям безотказности, долговечности и ремонтпригодности, установленным нормативно-технической документацией на объект.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Средний срок сохраняемости - математическое ожидание срока сохраняемости.

Гамма-процентный срок сохраняемости - срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью, выраженной в процентах.

Назначенный срок хранения - календарная продолжительность хранения, при достижении которой хранение объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния.

По его истечении должно быть принято решение, предусмотренное соответствующей нормативно -технической документацией - направление в ремонт, списание, уничтожение, проверка и установление нового назначенного срока и т.д.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

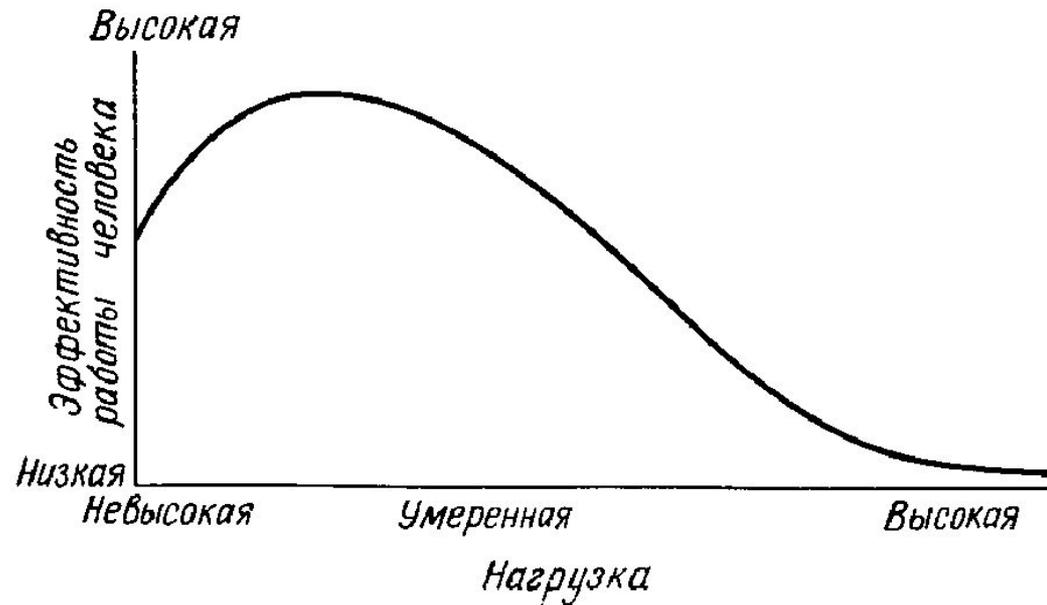
~~*Надёжность исполнителя как звена технологической системы*~~

От 10 до 30 % всех отказов связаны с ошибками человека.

Надёжность работы человека определяется как вероятность успешного выполнения им работы или поставленной задачи на заданном этапе функционирования системы в течение заданного интервала времени при определенных требованиях к продолжительности выполнения работы .

Ошибка человека определяется как невыполнение поставленной задачи (или выполнение запрещенного действия), которое может явиться причиной повреждения оборудования или имущества либо нарушения нормального хода запланированных операций.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

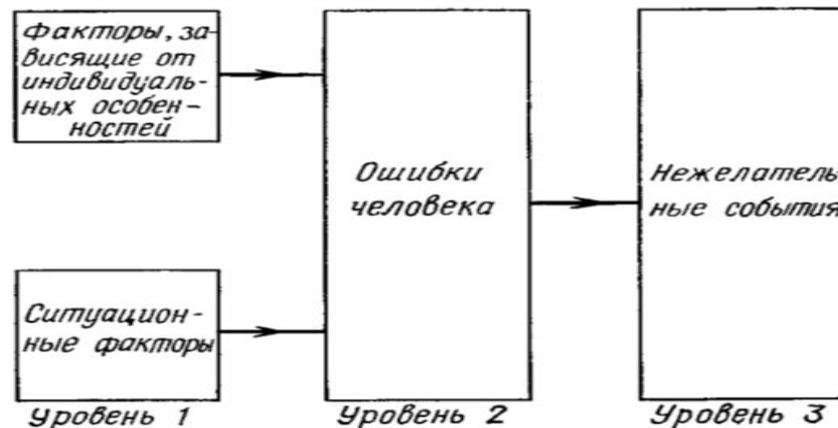


Гипотетическая зависимость эффективности работы человека от действующей нагрузки.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ХАРАКТЕР ОШИБОК ЧЕЛОВЕКА

Ошибки по вине человека могут возникнуть в тех случаях, когда (1) оператор или какое-либо лицо стремится к достижению ошибочной цели, (2) поставленная цель не может быть достигнута из-за неправильных действий оператора, (3) оператор бездействует в тот момент, когда его участие необходимо.



Категории ошибок человека.

Ошибки человека можно распределить по трем уровням. На каждом уровне возможно предупреждение ошибок. Например, на уровне 1 можно предотвратить ошибки человека; на уровне 2 можно избежать нежелательных последствий ошибок, корректируя неправильное функционирование системы вследствие ошибок, внесенных по вине человека; на уровне 3 можно исключить повторное возникновение тех или иных ситуаций, приводящих к ошибкам человека.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ВИДЫ ОШИБОК, ДОПУСКАЕМЫХ ЧЕЛОВЕКОМ

1. *Ошибки проектирования*: обусловлены неудовлетворительным качеством проектирования. Например, управляющие устройства и индикаторы могут быть расположены настолько далеко друг от друга, что оператор будет испытывать затруднения при одновременном пользовании ими.

2. *Операторские ошибки*: возникают при неправильном выполнении обслуживающим персоналом установленных процедур или в тех случаях, когда правильные процедуры вообще не предусмотрены.

3. *Ошибки изготовления*: имеют место на этапе производства вследствие (а) неудовлетворительного качества работы, например неправильной сварки, (б) неправильного выбора материала, (в) изготовления изделия с отклонениями от конструкторской документации.

4. *Ошибки технического обслуживания*: возникают в процессе эксплуатации и обычно вызваны некачественным ремонтом оборудования или неправильным монтажом.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

5. *Внесенные ошибки*: как правило, это ошибки, для которых трудно установить причину их возникновения, т. е. определить, возникли ли они по вине человека или же связаны с оборудованием.

6. *Ошибки контроля*: связаны с ошибочной приемкой как годного элемента или устройства, характеристики которого выходят за пределы допусков, либо с ошибочной отбраковкой годного устройства или элемента с характеристиками в пределах допусков.

7. *Ошибки обращения*: возникают вследствие неудовлетворительного хранения изделий или их транспортировки с отклонениями от рекомендаций изготовителя.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ПРИЧИНЫ ОШИБОК ЧЕЛОВЕКА

Среди основных причин ошибок человека можно выделить такие, как

— неудовлетворительная подготовка или низкая квалификация обслуживающего персонала, когда операторы или специалисты по техническому обслуживанию недостаточно подготовлены к выполнению поставленной задачи;

— следование обслуживающего персонала неудовлетворительным процедурам технического обслуживания или эксплуатации;

— плохие условия работы, связанные, например, с плохой доступностью оборудования, теснотой рабочего помещения или чрезмерно высокой температурой;

— неудовлетворительное оснащение необходимой аппаратурой и инструментами;

— недостаточное стимулирование операторов или специалистов по техническому обслуживанию, не позволяющее достигнуть оптимального уровня качества их работы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАНИЙ В НЕПРЕРЫВНОМ ВРЕМЕНИ

При выполнении заданий в непрерывном времени рассматривают следующие показатели надежности работы человека:

— *среднее время до появления ошибки по вине человека.* Этот показатель аналогичен средней наработке до отказа в классической теории надежности и используется при решении задач в непрерывном времени, когда появляются ошибки, подобные недотягиванию самолета до посадочной полосы при посадке или превышению заданного давления в топливном баке ракеты;

— *среднее время до появления первой ошибки по вине человека.* Этот показатель аналогичен средней наработке до первого отказа в классической теории надежности и используется в тех случаях, когда появление первой ошибки по вине человека играет исключительно важную роль;

— *среднее время между ошибками по вине человека.* Этот показатель аналогичен средней наработке на отказ, используемой в классической теории надежности, и применяется в тех случаях, когда ошибки по вине человека не являются очень серьезными (например, для оценки частоты появления дефектов деталей на производственной линии по причине ошибок человека).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ФУНКЦИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЧЕЛОВЕКА В НЕПРЕРЫВНОЙ ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

К этой категории действий, имеющих непрерывный характер, относятся наблюдение, контроль и слежение.

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t+\Delta t) - P(t)}{\Delta t P(t)} = \frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt} = -\lambda(t),$$

где $P(t)$ – вероятность безошибочной работы человека в течение времени t , $P(t+\Delta t)$ вероятность безошибочной работы человека в течение времени $t + \Delta t$;

$\lambda(t)$ – интенсивность появления ошибок человека.

$$\frac{dP(t)}{P(t)} = -\lambda(t)dt.$$

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}.$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

$P_2(t)$ – вероятность наличия и соответствия предметов производства заданным требованиям, ввиду независимости появления их дефектов от времени работы технологической системы, хорошо описывается экспоненциальным законом

$$P_2(t) = e^{-\lambda t},$$

где λ – постоянная интенсивность появления дефектов в предметах производства.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

$P_4(t)$ – вероятность соответствия условий производства заданным требованиям, ввиду действия большого количества независимых факторов, хорошо описывается нормальным законом

$$P_4(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} dt,$$

где T - среднее время до нарушения регламентированных условий производства;

σ – среднее квадратическое отклонение времени

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

СИСТЕМА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Объект оценки	Стадия организации ТС	Стадия эксплуатации ТС
Технологическая система	Затраты на создание резерва в ТС	Затраты на поддержание и восстановление РС ТС
Потребитель	Затраты на защиту потребителя от отказов ТС	Затраты и потери потребителя при отказе ТС
Отрасль ТС	Затраты на создание резервов в отрасли ТС	Затраты на эксплуатацию резервов в отрасли ТС
Отрасль потребителя	Затраты на создание резервов в отрасли потребителя	Затраты на эксплуатацию резервов в отрасли потребителя
Смежные звенья	Затраты на защиту смежных звеньев от негативных воздействий при отказах ТС	Затраты и потери в смежных звеньях при отказе ТС

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

СОДЕРЖАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ УЩЕРБА ОТ ОТКАЗОВ ТС

ПОНЯТИЕ УЩЕРБА ОТ ОТКАЗОВ

Понятие ущерба от отказов может быть истолковано как разрыв между фактическим уровнем удовлетворения потребностей и возможным уровнем при абсолютной надёжности ТС.

В общем случае в состав ущерба могут войти пять составляющих:

- 1. Потери ресурсов при отказах (Z_1)*
- 2. Затраты на уменьшение потерь ресурсов при отказах (Z_2)*
- 3. Затраты на компенсацию негативных последствий отказов (Z_3)*
- 4. Затраты на снижение вероятности отказов (Z_4)*
- 5. Затраты на изменение критериев отказов (Z_5)*

Критерий экономической эффективности затрат – суммарный ущерб

$$Y_{\Sigma} = [Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5] \rightarrow \min$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КЛАССИФИКАЦИЯ УЩЕРБА ОТ ОТКАЗОВ (ПО ПРИЗНАКУ ТЕРЯЕМОГО РЕСУРСА)

- от простоя, непроизводительного расхода или перерасхода рабочей силы;*
- от непроизводительного расхода или перерасхода предметов производства;*
- от простоя или перерасхода средств технологического оснащения;*
- от потери готовой продукции;*
- от потери невозполнимых природных ресурсов;*
- от потери нерабочего времени населением.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УЩЕРБ ОТ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО РАСХОДА РЕСУРСОВ ПРИ ОТКАЗАХ ТС

- ▣ **СНИЖЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ (СОРТНОСТИ)** – снижение потребительских свойств, рыночных цен.
- ▣ **БРАК ПРОДУКЦИИ** – невозможность удовлетворения потребностей применением по прямому назначению.
- ▣ **АВАРИЙНЫЙ РЕМОНТ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ** – непредусмотренные затраты на восстановление работоспособного состояния.
- ▣ **ПОРЧА ПРЕДМЕТОВ ПРОИЗВОДСТВА** – необходимость дополнительного выпуска продукции.
- ▣ **НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ РАСХОД РЕСУРСОВ ПРИ ПРОСТОЕ, НАЛАДКЕ И ДОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДО НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА** – ресурсы расходуются без соответствующего производства продукции.
- ▣ **ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ** – затрат на предотвращение и устранение последствий, экономические санкции.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УЩЕРБ ОТ ПРОСТОЯ И НЕДОИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ ОТКАЗАХ ТС

- ▣ **ПРОСТОЙ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЙСЯ НЕДОВЫПУСКОМ ПРОДУКЦИИ** – сокращение эффективного фонда времени работы СТО.
- ▣ **СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ** – недовыпуск продукции за установленное время.
- ▣ **ПРОСТОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОЧИХ** – расход фонда оплаты труда в размере $2/3$ тарифной ставки.
- ▣ **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАБОЧИХ НА РАБОТАХ, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИХ КВАЛИФИКАЦИИ** – оплата рабочего времени по более высокому тарифу.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УЩЕРБ ОТ ПЕРЕРАСХОДА СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

- ▣ **ЛИКВИДАЦИЯ НЕ ПОЛНОСТЬЮ АМОРТИЗИРОВАННЫХ СТО** – физический износ наступил раньше чем полная амортизация (ущерб от недоамортизации).
- ▣ **СОКРАЩЕНИЕ РЕМОНТНОГО ЦИКЛА И УВЕЛИЧЕНИЕ РЕМОНТНОЙ СЛОЖНОСТИ СТО** – увеличение затрат материальных и трудовых ресурсов на поддержание и восстановление работоспособного состояния.
- ▣ **НЕОБХОДИМОСТЬ РЕЗЕРВОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ** – увеличение затрат на содержание и налогооблагаемой базы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

○ **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ТС**

ПРИВЕДЕННЫЕ ЗАТРАТЫ НА ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ

$$З = E_H K + C,$$

где K – капитальные затраты на повышение надежности;

E_H – нормативный коэффициент ($E_H \approx 0,15$);

C – текущие затраты на повышение надежности.

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ТС

$$З + Y_{\Sigma} \rightarrow \min$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

