

Белорусский государственный университет транспорта
кафедра «ЛОКОМОТИВЫ»

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

*Лектор: д.т.н., профессор Сосновский Леонид Адамович
к.т.н., доцент Комиссаров Виктор Владимирович*

п.з.: ассистент Таранова Елена Сергеевна

Лекции – 18 часов

Практические занятия – 12 часов

Форма контроля знаний – зачет

*(по всем вопросам обращаться на кафедру ауд. 1403,
а также в лабораторию ауд. 1415а)*

ГОМЕЛЬ, 2017



Основная:

1. **Сосновский, Л.А.** Элементы теории вероятностей, математической статистики и теории надёжности / Л.А. Сосновский. – Гомель; БелГУТ, 1994. – 146 с. (в НТБ БелГУТа).
2. **Шевченко Д.Н.** Основы теории надёжности : учеб.-методич. пособие для студ. техн. спец./ Д. Н. Шевченко; под ред. Л.А. Сосновского. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 250 с. (в НТБ БелГУТа)
3. **Богданович А.В.** Оценка основных показателей надёжности и риска невозстанавливаемых изделий / А.В. Богданович, О.М. Еловой, Л.А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 1995 г. – 95 с. (в НТБ БелГУТа)

Дополнительная:

- **Сосновский, Л.А.** Вероятностные методы расчета на прочность при линейном и сложном напряженных состояниях в 2-х частях: Метод. указания по изучению курса «Сопротивление материалов»/ Л.А. Сосновский. – Гомель: БелИИЖТ, 1984. – 74с. (в НТБ БелГУТа).
1. **Сосновский, Л.А.** L-риск (механотермодинамика необратимых повреждений) / Л.А. Сосновский. – Гомель: БелГУТ, 2004. – 317 с.
 2. **Сосновский, Л.А.** Комплексная оценка надёжности силовых систем по критериям сопротивления усталости и износостойкости (основы трибофатики): Метод. указания по изучению курса «Надёжность транспортных систем, машин и сооружений» для студентов транспортных вузов / Л.А. Сосновский. – Гомель: БелИИЖТ, 1988. –56 с. (в НТБ БелГУТа).
 3. **Богданович, А.В.** Оценка надёжности простого коленчатого вала. Надёжность по критериям трибофатики: Пособие по курсу «Основы теории надёжности» / А.В. Богданович, О.М. Еловой, Л.А. Сосновский. – Гомель: БелГУТ, 2002. – Ч.2.–30 с. (в методическом кабинете кафедры – 5 экз.).
 4. **Сосновский, Л.А.** Показатель безопасности и оперативная характеристика риска / Л.А. Сосновский. – Гомель, БелИИЖТ, 1991. (в НТБ БелГУТа).



Лекция 1. Надежность в технике

Лекция 2. Отказы и их причины. Статистический анализ

Лекция 3. Оценка показателей надежности: модель отказов

Лекция 4. Рассеяние характеристик прочности и нагруженности

Лекция 5. Оценка показателей надежности: модель нагрузка-прочность (часть1)

Лекция 6. Оценка показателей надежности: модель нагрузка-прочность (часть2)

Лекция 7. Схемная надежность

Лекция 8. Надежность трибофатической системы

Лекция 9. Концепция риска. Оценка безопасности.



Лекция 2

ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



Таблица 1 - Классификация отказов

Признак классификации	Вид отказа	Примеры
по характеру развития и проявления	а) внезапные	поломки от перегрузки, заедания; сторание предохранителя; поломка рельса
	б) постепенные	износ, старение, коррозия, залипание
	в) постепенные по развитию и внезапные по появлению	усталостное разрушение, перегорание ламп, короткие замыкания из-за старения изоляции
по последствиям	а) легкие	легко устранимые
	б) средние	не вызывают отказ других узлов
	в) тяжелые	тяжелые вторичные разрушения, в том числе и с человеческими жертвами
по возможности дальнейшего использования	а) полный отказ	исключает возможность работы изделия до устранения отказа
	б) частичный	изделие может частично использоваться, например, с неполной мощностью, или на пониженных оборотах
по времени возникновения	а) приработочные	обусловленные, например, деформациями при изготовлении
	б) при нормальной (штатной) эксплуатации	обусловленные, например, накоплением повреждений



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



Таблица 1 - Классификация отказов

Признак классификации	Вид отказа	Примеры
по причине возникновения	а) конструкционные	обусловленные ошибками при конструировании
	б) производственные	условия изготовления, сварки, технического обслуживания
	в) эксплуатационные	обусловлены нарушением установленных правил эксплуатации и текущего содержания
по закономерностям возникновения	а) случайные	непредусмотренные перегрузки, дефекты материала и погрешности изготовления, не обнаруженные контролем; ошибки обслуживающего персонала или сбои системы управления
	б) систематические	закономерные явления, вызывающие постепенное накопление повреждений: влияние среды, времени, температуры, облучения, коррозия, старение, нагрузки и работа трения, усталость, ползучесть, износ, засорения, залипания, утечки



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



Таблица 2 - Основные причины отказов

Виды разрушений	Характерные признаки предельного состояния	Наименование деталей машин, подвергающихся данному разрушению
1. Статическое разрушение	Хрупкое разрушение, хрупкий излом	Сварные соединения, фасонные детали, болты, валики, пальцы, чугунные отливки
2. Малоцикловая усталость	Вязкий излом, достижение допустимой величины пластической деформации	Корпусные детали, зубчатые колеса, валы, оси, пружины, бандажи, рельсы, сосуды, подшипники скольжения
3. Многоцикловая усталость	Усталостная трещина, усталостный излом, критическая глубина или плотность ямок выкрашивания	Корпусные детали, зубчатые колеса, подшипники качения, валы, оси, пружины, шатуны, болты, сварные соединения, рельсы, бандажи колес
4. Ползучесть	Достижение допустимой величины пластической деформации	Детали энергетического оборудования, работающие в условиях повышенных температур
5. Износ	Достижение износом нормативной величины, нарушение условий смазки, схватывание	Резьбовые соединения, зубчатые колеса, подшипники скольжения, валы, оси, направляющие, кулисы, цепные и зубчатые передачи, поршневые кольца, втулки, лемехи, лапы культиваторов, гусеницы, пескометы, фрикционы, шпоночные соединения и другие детали машин
6. Коррозия, эрозия	Превышение допустимого изменения массы, толщины металла; образование критической плотности каверн, язв; превышение допустимой глубины коррозионного повреждения	Направляющие и лопатки газотурбинных установок, трубы паровых котлов, элементы трубопроводов, гребные винты, рабочие камеры гидротурбин, кабины, кузова, котельные установки, детали насосов, латунные, дюралюминиевые, магниевые сплавы и др.
7. Старение	Недопустимое необратимое изменение физико-механических свойств материалов деталей (потеря прочности, твердости, пластичности, эластичности и др.)	Элементы и детали из полимеров, резинотехнические изделия, уплотнения, полупроводники



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



Таблица 3 - Классификация объектов по последствиям отказа

Отказ	Последствия отказа	Допустимая вероятность безотказной работы	Тип машины
Тяжелые (катастрофические)	Авария Катастрофа Невыполнение ответственного задания	$P(t) \rightarrow 1$	Летательные аппараты Подъемно-транспортные машины Военная техника Машины химического производства Медицинское оборудование
Средние (экономический ущерб)	Повышенные простои в ремонте Работа на пониженных режимах Работа с ухудшенными параметрами	Значительный ущерб $P(t) \geq 0,99$ Незначительный ущерб $P(t) \geq 0,9$	Технологическое оборудование Сельскохозяйственные Бытовые
Легкие	Без	$P(t) \ll 0,9$	Отдельные узлы и элементы



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



**Таблица 4 - Количество отказов рельсов длиной 25 м на первой линии
Минского метрополитена (общее количество рельсов – 2000 шт.)**

Год	Частичные отказы	Полные отказы	Всего
1984	0	2	2
1985	2	0	2
1986	7	0	7
1987	5	3	8
1988	0	6	6
1989	5	3	8
1990	5	1	6
1991	8	1	9
1992	23	1	24
1993	8	2	10
1994	13	0	13
1995	10	0	10
1996	8	1	9
1997	10	5	15
1998	11	2	13
1999	11	4	15
2000	15	5	20
2001	8	2	10
2002	7	0	7
2003	16	3	19
2004	8	1	9
Всего, <i>n</i>	180	42	222



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{X}^2$$

$$v = \frac{S}{\bar{X}}$$



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



Определим основные параметры распределения отказов рельсов в среднем за год:

– для частично отказавших рельсов

$$\bar{X} = (0 + 2 + \dots + 8) / 21 = 8,571 \text{ шт./год};$$

$$S^2 = \frac{1}{21} \left((0^2 + 2^2 + \dots + 8^2) - 21 \cdot 8,571^2 \right) = 28,765;$$

$$S = \sqrt{28,765} = 5,363 \text{ шт./год};$$

$$v = \frac{5,363}{8,571} = 0,626;$$

– для полностью отказавших рельсов

$$\bar{X} = (2 + 0 + \dots + 1) / 21 = 2,000 \text{ шт./год};$$

$$S^2 = \frac{1}{21} \left((2^2 + 0^2 + \dots + 1^2) - 21 \cdot 2,000^2 \right) = 3,300;$$

$$S = \sqrt{3,300} = 1,816 \text{ шт./год};$$

$$v = \frac{1,816}{2,000} = 0,908;$$



2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



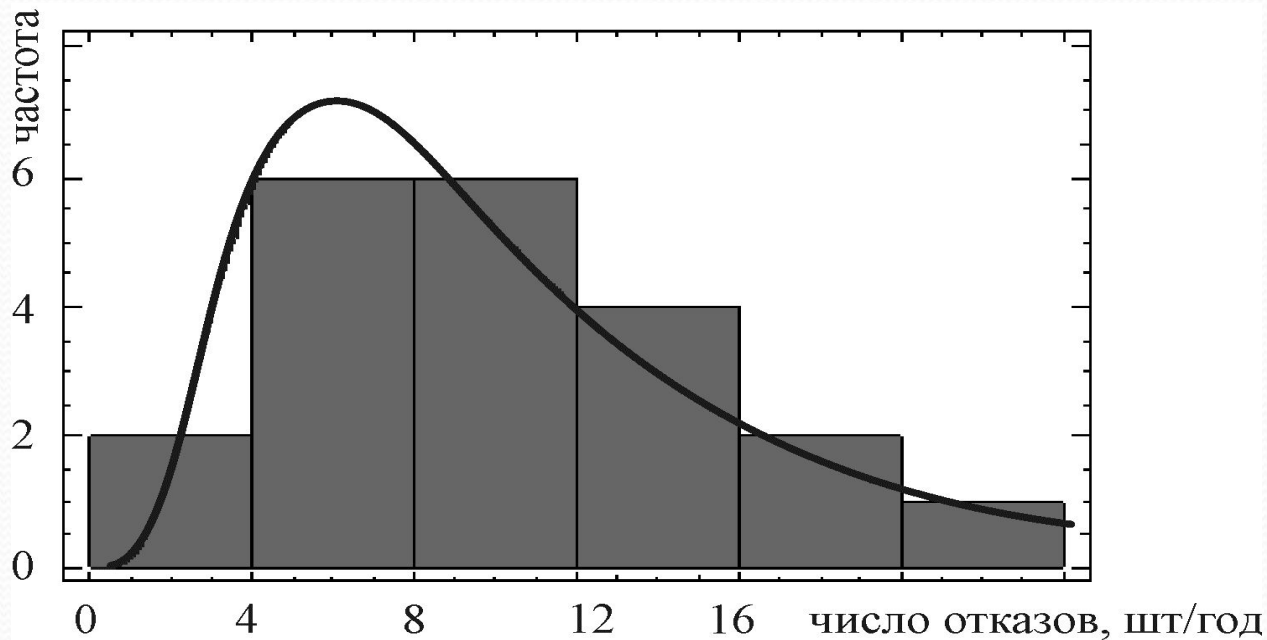
– для всех отказавших рельсов

$$\bar{X} = (2 + 2 + \dots + 9) / 21 = 10,571 \text{ шт./год};$$

$$S^2 = \frac{1}{21} \left(\frac{1}{1} \left(2^2 + 2^2 + \dots + 9^2 \right) - 21 \cdot 11,000^2 \right) = 21,650;$$

$$S = \sqrt{21,650} = 4,653 \text{ шт./год};$$

$$v = \frac{4,653}{10,571} = 0,440.$$





2 ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

