

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:

Зав. кафедрой строительной механики

 Козлов В.А.

«17» января 2025 г.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НДС КОНСТРУКЦИЙ»

Направление подготовки 08.04.01 Строительство

Программа Теория и проектирование зданий и сооружений

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2025

Автор программы



С. Д. Степанов

Процесс изучения дисциплины «Экспериментальные методы исследования НДС конструкций» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - Способен проводить мониторинг зданий и сооружений, организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты.

1. Перечень планируемых результатов обучения и показателей оценивания сформированности компетенций на этапе промежуточной аттестации

№ п/п	Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенций	Тип ОМ	Показатели оценивания
1	ПК-3	знать современные методики подготовки планов и программ проведения научных исследований и разработок	Тестовые задания, опросы к зачету	Полнота знаний
		уметь организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты готовить задания для исполнителей	Стандартные задания	Наличие умений
		владеть практическими приемами проведения научных исследований и разработок, а также проведения анализа и обобщения их результатов	Прикладные задания	Наличие навыков

2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ И ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ НА ЭТАПЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Показатели оценивания компетенций	Шкала и критерии оценки уровня сформированности компетенции			
	Неудовлетворительный	Минимально допустимый (пороговый)	Средний	Высокий
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки ¹	Минимально допустимый уровень знаний. Допущены не грубые ошибки.	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности.	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки
Наличие умений	При выполнении стандартных заданий не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Выполнены типовые задания с не грубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме (отсутствуют пояснения, неполные выводы)	Продемонстрированы все основные умения. Выполнены все основные задания с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания в полном объёме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Выполнены все основные и дополнительные задания без ошибок и погрешностей. Задания выполнены в полном объеме без недочетов.
Наличие навыков (владение опытом)	При выполнении стандартных заданий не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для выполнения стандартных заданий с некоторыми недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при выполнении стандартных заданий с некоторыми недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Выполнены все основные и дополнительные задания без ошибок и погрешностей. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
Характеристики сформированности компетенции	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение.	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству профессиональных задач.	Сформированность компетенций в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных профессиональных задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных профессиональных задач.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СФОРМИРОВАННОСТЬ КОМПЕТЕНЦИЙ

ПК-4 - Способен проводить мониторинг зданий и сооружений, организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты.

3.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Метрологическим обеспечением является ...:
1) объект исследования; 2) привлечение математических методов; 3) планирование опыта; 4) система единиц измерений; 5) модель (подобие) объекта.
2. За одну из основных единиц измерения в механике принимается...:
1) ньютон (Н); 2) секунда (с); 3) паскаль (Па); 4) джоуль (Дж); 5) герц (Гц).
3. Событие считается достоверным при вероятности реализации его $p = \dots$:
1) 0.00; 2) 0.25; 3) 0.50; 4) 0.75; 5) 1.00.
4. При n независимых опытов, давших результаты x_1, x_2, \dots, x_n , стандарт $\tilde{\sigma}$ вычисляется по формуле ...:
1) $[\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2]/n$; 2) $[\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2]/(n - 1)$; 3) $\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2]/(n - 1)}$; 4) $\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2]/\tilde{x}}$; 5) $\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2]/\tilde{x}}$, где $\tilde{x} = [\sum_{i=1}^n (x_i)]/n$.
5. Определить точечную оценку дисперсии, если в $n = 3$ опытах $x_i = 2, 2.4, 2.2$ и 1) 0.02; 2) 0.03; 3) 0.04; 4) 0.05; 5) 0.06.
6. Вычислить коэффициент вариации, если среднее арифметическое $\tilde{x} = 20$, стандарт $\tilde{\sigma} = 1$ и 1) 0.05; 2) 0.06; 3) 0.04; 4) 0.03; 5) 0.07.
7. Найти угловую деформацию γ_{xy} , если линейные $\varepsilon_x = 20 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_y = 30 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_{45^\circ} = 35 \cdot 10^{-6}$ и 1) $-10 \cdot 10^{-6}$; 2) $0 \cdot 10^{-6}$; 3) $10 \cdot 10^{-6}$; 4) $20 \cdot 10^{-6}$; 5) $30 \cdot 10^{-6}$.
8. Определить линейную деформацию ε_α в случае $\alpha = 45^\circ$, $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2}$, $\varepsilon_x = 30 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_y = 10 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_{xy} = -10 \cdot 10^{-6}$ и 1) $-5 \cdot 10^{-6}$; 2) $5 \cdot 10^{-6}$; 3) $15 \cdot 10^{-6}$; 4) $-15 \cdot 10^{-6}$; 5) $25 \cdot 10^{-6}$.
9. Вычислить главную деформацию ε_{max} в случае $\varepsilon_x = 30 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_y = -10 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_{xy} = -30 \cdot 10^{-6}$ и 1) $-15 \cdot 10^{-6}$; 2) $35 \cdot 10^{-6}$; 3) $-5 \cdot 10^{-6}$; 4) $25 \cdot 10^{-6}$; 5) $50 \cdot 10^{-6}$.
10. При $\varepsilon_x = -300 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_y = -100 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_{xy} = 200 \cdot 10^{-6}$, $\alpha = 22.5^\circ$ угловая деформация $\gamma_\alpha = \dots$: 1) $-101.5 \cdot 10^{-6}$; 2) $-101.5 \cdot 10^{-6}$; 3) $-141.4 \cdot 10^{-6}$; 4) $141.4 \cdot 10^{-6}$; 5) $-70.7 \cdot 10^{-6}$.

11. Для ПНС в случае заданных ε_x , ε_y , γ_{xy} , модуле E и коэффициенте ν напряжение σ_x определяется по формуле...:

- 1) $E \cdot \varepsilon_x / (1 - \nu^2)$; 2) $E \cdot (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y) / (1 - \nu^2)$;
- 3) $E \cdot \nu (\varepsilon_x + \varepsilon_y) / (1 - \nu^2)$; 4) $E \cdot \gamma_{xy} / 2(1 + \nu)$; 5) $E \cdot (\nu \cdot \varepsilon_x + \varepsilon_y) / (1 - \nu^2)$.

12. В случае ПНС и заданных ε_x , ε_y , γ_{xy} , модуле E и коэффициенте ν вычисляют касательные напряжения τ_{xy} по формуле...:

- 1) $E \cdot \varepsilon_y / (1 + \nu)$; 2) $E \cdot (\varepsilon_x + \varepsilon_y) / 2(1 + \nu)$; 3) $E \cdot \gamma_{xy} / (1 + \nu)$;
- 4) $E \cdot \nu (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \gamma_{xy}) / 2(1 + \nu)$ 5) $E \cdot \gamma_{xy} / 2(1 + \nu)$.

3.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

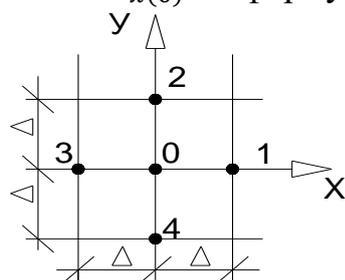
1. Через функции перемещений $u(x, y)$, $v(x, y)$ линейная деформация $\varepsilon_x(x, y) = \dots$:

- 1) $\partial v / \partial x$; 2) $\partial u / \partial y$; 3) $(\partial u / \partial y) + (\partial v / \partial x)$; 4) $\partial u / \partial x$; 5) $(\partial u / \partial x) + (\partial v / \partial y)$.

2. При функциях перемещений $u(x, y)$, $v(x, y)$ угловая деформация $\gamma_{xy}(x, y) = \dots$:

- 1) $(\partial u / \partial x) + (\partial v / \partial y)$; 2) $\partial u / \partial x$; 3) $\partial v / \partial y$; 4) $(\partial u / \partial y) + (\partial v / \partial x)$; 5) $\partial v / \partial x$.

3. Для представленного на рисунке случая, привлекая центральные конечные разности найдем $\varepsilon_{x(0)}$ по формуле ...:



- 1) $(u_1 - u_0) / \Delta$;
- 2) $(u_0 - u_3) / \Delta$;
- 3) $(v_2 - v_4) / 2 \cdot \Delta$; 4) $(u_1 - u_3) / 2 \cdot \Delta$;
- 4) $(u_1 - 2 \cdot u_0 + u_3) / \Delta^2$.

4. С помощью конечных центральных разностей при изображенной на рисунке сетке можно определить угловую деформацию по формуле ...:

- 1) $[(u_1 - u_0) + (v_2 - v_0)] / \Delta$; 2) $[(u_0 - u_3) + (v_0 - v_4)] / \Delta$;
- 3) $[(u_1 - u_3) + (v_2 - v_4)] / 2 \cdot \Delta$; 4) $(u_1 - 2u_0 + u_3) / \Delta^2$; 5) $(v_2 - 2 \cdot v_0 + v_4) / \Delta^2$.

5. Зависимость $y = c \cdot x^a$ приводится к линейной с новыми переменными и постоянной по ...:

- 1) $X = 1/x, Y = 1/y, b = \ln a$; 2) $X = x, Y = \ln g, b = \ln c$; 3) $X = \lg x, Y = \lg y, b = \lg c$; 4) $X = x, Y = x \cdot y, b = c$; 5) $X = x, Y = 1/y, b = c$;

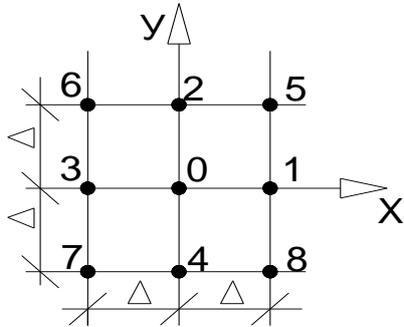
6. Для зависимости $y = 1/(ax + b)$ и выборки $x_i = 0.2, 0.6, 0.8, 1.2; y_i = 1.25, 1.00, 0.909, 0.769$, выполнив линеаризацию и применив метод средних, получим параметры a и b по ...:

- 1) 0.6 и 0.75; 2) 0.5 и 0.8; 3) 0.6 и 0.7; 4) 0.5 и 0.7; 5) 0.7 и 0.5.

7. При опытных данных $x_i = 2, 3, 4, 5$ и $y_i = 4, 3.333, 3, 2.800$, выполнив линеаризацию функции $y = a + (b/x)$, методом наименьших квадратов будем иметь постоянные a и b по ...:

- 1) 1.5 и 3.5; 2) 1.7 и 3.7; 3) 2.0 и 4.0; 4) 2.1 и 3.9; 5) 2.2 и 4.0.

8. Для представленного на рисунке случая при $\varphi_0 = 10, \varphi_1 = 9, \varphi_2 = 8, \varphi_3 = 7, \varphi_4 = 8, \Delta = 2$ в центральных конечных разностях производная $\partial^2 \varphi_0 / \partial y^2 = \dots$:



- 1) 1; 2) 0,5; 3) 0,0; 4) -0,5; 5) -1.

9. В центральных конечных разностях при изображенной на рисунке сетке и $\varphi_0 = 10, \varphi_5 = 12, \varphi_6 = 8, \varphi_7 = 6, \varphi_8 = 2, \Delta = 1$. производная $\partial^2 \varphi_0 / \partial x \partial = \dots$: 1) -1; 2) 0; 3) 1; 4) 2 5) 3.

10. При $x_1 = 20, y_1 = 0.80$ и $x_2 = 30, y_2 = 0.65$, по линейной интерполяции в случае $x = 24$ найдем $y = \dots$: 1) 0.76; 2) 0.75; 3) 0.74; 4) 0.73; 5) 0.72.

11. В сечениях балки, удаленных от опоры на $x_1 = 9\text{м}, x_2 = 11\text{м}, x_3 = 13\text{м}$, экспериментальные прогибы $v_1 = 2.00\text{ см}, v_2 = 2.30\text{ см}, v_3 = 2.20\text{ см}$. По формулам параболического интерполирования при $x = 12\text{ м}$ прогиб $v = \dots$: 1) 2.4 см; 2) 2.3 см; 3) 2.25 см; 4) 2.35 см; 5) 2.31 см.

12. Изохромы – геометрическое место точек с ...: 1) $\tau_{xy} = const$; 2) $\sigma_1 - \sigma_2 = const$; 3) одинаковым наклоном экстремальных τ ; 4) одинаковым наклоном главных напряжений; 5) $\max \tau - \min \tau = const$.

13. Изоклины – геометрическое место точек с ...: 1) $\max \tau - \min \tau = const$. 2) одинаковым наклоном экстремальных τ ; 3) $\sigma_1 - \sigma_2 = const$; 4) одинаковым наклоном главных напряжений; 5) $\tau_{xy} = const$.

3. 3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. В сечении внецентренно сжимаемого с постоянным эксцентриситетом бетонного элемента заданными наибольшим деформациям $\varepsilon_1 = 1880 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_2 = 1960 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_3 = 2040 \cdot 10^{-6}$ с шагом $\Delta \varepsilon = 80 \cdot 10^{-6}$ соответствуют расчетные уси-

- для $F_1 = 230$ кН, $F_2 = 235$ кН, $F_3 = 200$ кН. По формулам параболического интерполирования экстремальное усилие $\max F = \dots$: 1) 235 кН; 2) 236.5 кН; 3) 237.8 кН; 4) 238.1 кН; 5) 238.5 кН.
2. В сечениях балки, удаленных от опоры на $x_1 = 9$ м, $x_2 = 11$ м, $x_3 = 13$ м, экспериментальные прогибы $v_1 = 2.00$ см, $v_2 = 2.30$ см, $v_3 = 2.20$ см. По формулам параболического интерполирования при $x = 12$ м прогиб $v = \dots$: 1) 2.4 см; 2) 2.3 см; 3) 2.25 см; 4) 2.35 см; 5) 2.31 см.
3. Определить линейную деформацию ε_α в случае $\alpha = 45^\circ$, $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2}$, $\varepsilon_x = 30 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_y = 10 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_{xy} = -10 \cdot 10^{-6}$ и 1) $-5 \cdot 10^{-6}$; 2) $5 \cdot 10^{-6}$; 3) $15 \cdot 10^{-6}$; 4) $-15 \cdot 10^{-6}$; 5) $25 \cdot 10^{-6}$.
4. Вычислить главную деформацию ε_{\max} в случае $\varepsilon_x = 30 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_y = -10 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_{xy} = -30 \cdot 10^{-6}$ и 1) $-15 \cdot 10^{-6}$; 2) $35 \cdot 10^{-6}$; 3) $-5 \cdot 10^{-6}$; 4) $25 \cdot 10^{-6}$; 5) $50 \cdot 10^{-6}$.
5. При $\varepsilon_x = -300 \cdot 10^{-6}$, $\varepsilon_y = -100 \cdot 10^{-6}$, $\gamma_{xy} = 200 \cdot 10^{-6}$, $\alpha = 22.5^\circ$ угловая деформация $\gamma_\alpha = \dots$: 1) $-101.5 \cdot 10^{-6}$; 2) $-101.5 \cdot 10^{-6}$; 3) $-141.4 \cdot 10^{-6}$; 4) $141.4 \cdot 10^{-6}$; 5) $-70.7 \cdot 10^{-6}$.
6. Для ПНС в случае заданных ε_x , ε_y , γ_{xy} , модуле E и коэффициенте ν напряжение σ_x определяется по формуле...: 1) $E \cdot \varepsilon_x / (1 - \nu^2)$; 2) $E \cdot (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y) / (1 - \nu^2)$; 3) $E \cdot \nu (\varepsilon_x + \varepsilon_y) / (1 - \nu^2)$; 4) $E \cdot \gamma_{xy} / 2(1 + \nu)$; 5) $E \cdot (\nu \cdot \varepsilon_x + \varepsilon_y) / (1 - \nu^2)$.
7. В случае ПНС и заданных ε_x , ε_y , γ_{xy} , модуле E и коэффициенте ν вычисляются касательные напряжения τ_{xy} по формуле...: 1) $E \cdot \varepsilon_y / (1 + \nu)$; 2) $E \cdot (\varepsilon_x + \varepsilon_y) / 2(1 + \nu)$; 3) $E \cdot \gamma_{xy} / (1 + \nu)$; 4) $E \cdot \nu (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \gamma_{xy}) / 2(1 + \nu)$; 5) $E \cdot \gamma_{xy} / 2(1 + \nu)$.
8. Зависимость $y = c \cdot x^a$ приводится к линейной с новыми переменными и постоянной по ...: 1) $X = 1/x$, $Y = 1/y$, $b = \ln a$; 2) $X = x$, $Y = \ln y$, $b = \ln c$; 3) $X = \lg x$, $Y = \lg y$, $b = \lg c$; 4) $X = x$, $Y = x \cdot y$, $b = c$; 5) $X = x$, $Y = 1/y$, $b = c$;
9. Для зависимости $y = 1/(ax + b)$ и выборки $x_i = 0.2, 0.6, 0.8, 1.2$; $y_i = 1.25, 1.00, 0.909, 0.769$, выполнив линеаризацию и применив метод средних, получим параметры a и b по ...: 1) 0.6 и 0.75; 2) 0.5 и 0.8; 3) 0.6 и 0.7; 4) 0.5 и 0.7; 5) 0.7 и 0.5.
10. При опытных данных $x_i = 2, 3, 4, 5$ и $y_i = 4, 3.333, 3, 2.800$, выполнив линеаризацию функции $y = a + (b/x)$, методом наименьших квадратов будем иметь постоянные a и b по ...: 1) 1.5 и 3.5; 2) 1.7 и 3.7; 3) 2.0 и 4.0; 4) 2.1 и 3.9; 5) 2.2 и 4.0.

3.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Методы эмпирических исследований. Составляющие успеха и значимости эксперимента.
2. Событие и его реализация. Случайная величина (СВ), вероятность, достоверное и невозможное события. Истинное и действительное значения характеристики.
3. Кривые распределения и характеристические параметры СВ.
4. Точечные оценки СВ, распределенной по нормальному закону.
5. Обнаружение грубых ошибок и промахов в результатах опытов. Определение минимального, но достаточного количества испытаний.
6. Оценка расхождения между средними арифметическими значениями \tilde{x}_I и \tilde{x}_{II} , полученными в n_I и n_{II} независимых опытах.
7. Метрология, единство и точность измерения, единицы (эталон) механики, результат измерения, однородные и разнородные величины и допускаемы с ними действия.
8. Уравнения между физическими величинами и числовыми значениями. «Системы единиц», основные и произвольные единицы системы.
9. «Розетки» тензорезисторов. Линейная и угловая деформация произвольно ориентированного элемента, составляющие ε_α по координатным осям.
10. «Розетки» тензорезисторов. Главные деформации и направления их действия.
11. Закон Гука в обратной форме в случае плоской задачи.
12. Определение напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, \sigma_\alpha, \tau_\alpha$, составляющих напряжений X, Y по координатным осям, по деформациям, установленным «розеткой» тензорезисторов.
13. Эмпирические формулы (ЭФ). Выяснение общего вида ЭФ. Линеаризация уравнений.
14. Определение параметров ЭФ способами выбранных точек и средних.
15. Сущность метода наименьших квадратов.
16. Особенности общего метода вычисления коэффициентов ЭФ.
17. Понятие о регрессивном анализе. Расчет параметров уравнения линейной регрессии по Чебышеву.
18. Краткие сведения о приборах, регистрирующих перемещения. Уравнения Коши и вычисление деформаций в конечных разностях через линейные перемещения.
19. Конечные разности при определении усилий через прогибы в балке.
20. Конечные разности при вычислении деформаций, усилий и напряжений при изгибе плиты через вертикальные перемещения.
21. Интерполирование и экстраполяция: формулы Лагранжа и Ньютона.
22. Линейное и параболическое интерполирование (прямое и обратное).
23. Физические основы поляризационно-оптического метода (ПОМ). Изохромы.
24. Физические основы фотоупругости. Изоклины.

25. Разделение главных напряжений по данным поляризации-оптического метода при экспериментальном способе. Достижения и приложения фотоупругости.
26. Численное интегрирование при обработке результатов ПОМ. Достижения и приложения ПОМ.
27. Переход от модели в ПОМ к детали. Фотоупругие покрытия. Метод замораживания.
28. Муар: геометрический, отраженной сетки, интерференционный.
29. Голографическая и лазерная спекл интерферометрия.
30. Сущность методов лаковых и керамических покрытий.
31. Понятия о воспроизводимом эксперименте, корреляционной зависимости, достоверности исследования, концепциях теории математического эксперимента.
32. Решение задач по: определению наименьшего числа опытов, для которого среднее \bar{x} будет отличаться от действительного x не более чем на $\pm k$ стандартных отклонений; расчету объема выборки; условию достоверности изменения свойств; принадлежности n_1 и n_2 объемов опытов к одной случайной величине.
33. Предварительный и многофакторный (по классическому, последовательному, полнофакторному планам) эксперименты.
34. Подобные явления, модели и моделирование. Критерии и теоремы подобия.
35. Основные группы моделей: геометрические, аналоговые, математические.
36. Оценка точности и достоверности моделирования.
37. Приборы и аппаратура повышенных измерительных свойств. Экспериментальные методы изучения общего состояния тел с внедрением, как в процессе эксперимента, так и при обработке полученной информации новейших компьютерных программ: рентгеновский, теневого оптического каустика, анализа полей напряжений с использованием теплового излучения, механизмов разрушения (электронной фрактографии).