



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ИНЖЕНЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ**

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Профиль подготовки Электрооборудование и электрохозяйство горных и  
промышленных предприятий  
Уровень высшего образования бакалавриат  
*(бакалавриат, специалитет, магистратура)*

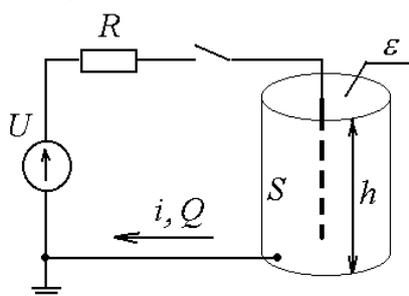
Автор - разработчик: Жаткин А. Н., канд. техн. наук, доцент  
Рассмотрено на заседании кафедры энергетики  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

## Примерные варианты контрольной работы

### Вариант - 1

1) Исследуется электрический фильтр для очистки газов, который содержит проходной канал в виде трубы (высота  $h$ , площадь  $S$ ), через который пропускается задымленный газ с абсолютной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Внутри канала находится стержневой электрод. При подключении высокого постоянного напряжения  $U$  происходит ионизация газа, частицы загрязнений приобретают заряд и притягиваются к внутренней стенке канала. В электрическую цепь включено токоограничивающее сопротивление  $R$  на случай пробоя газового промежутка.



Параметры натурной установки:

$$U_n = 110 \text{ кВ};$$

$$R_n = 10 \text{ кОм};$$

$$h_n = 5 \text{ м};$$

$$S_n = 60 \text{ м}^2;$$

$$\varepsilon_n = 10^{-10} \text{ Ф/м}.$$

Начальные условия (параметры процесса):

При подключении установки в момент времени  $t_n(0) = 0,1 \text{ с}$  ток  $i_n(0) = 0,01 \text{ А}$  и заряд  $Q_n(0) = 10^{-3} \text{ Кл}$ .

Определить:

- критерии подобия методом анализа размерностей для следующего списка существенных величин:  $U$ ;  $i$ ;  $R$ ;  $t$ ;  $S$ ;  $\varepsilon$ .
- параметры модели, подобной натуральной установке.

2) Имеется две выборки:

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_{1k}$	7,1	6,4	5,8	5,0	5,2	2,3	3,7	5,4	3,0	4,6	6,7	4,7	4,1	4,7	4,4
$X_{2k}$	6,7	4,9	7,0	5,5	3,2	3,8	3,5	5,4	3,9	5,0	5,5	5,1	2,6	5,4	1,6

Необходимо:

- 1) проверить каждую выборку на наличие грубых ошибок;
- 2) проверить выборки на однородность и найти наилучшую дисперсию;
- 3) оценить генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  с вероятностью 95%;
- 4) проверить гипотезу о том, генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  равно номеру варианта;
- 5) найти доверительный интервал генеральной дисперсии  $\sigma(x)$  с вероятностью 90%;
- 6) проверить гипотезу о том, генеральная дисперсия  $\sigma(x)$  равна номеру варианта.

3) Рассчитать параметры математической модели на основании таблицы экспериментальных данных и оценить ее достоверность.

№ опыта	Варьируемые факторы			Значения функции отклика	
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$
1	1	16	6	127	129
2	1	4	6	79	75
3	1	16	2	95	91
4	1	4	2	47	45

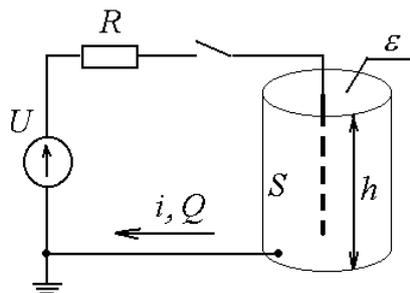
для этого:

- 1) построить кодированную матрицу планирования эксперимента;
- 2) рассчитать коэффициенты уравнения регрессии в кодированной форме;

- 3) проверить адекватность модели на основании дублирования опытов;
- 4) оценить значимость коэффициентов уравнения с доверительной вероятностью 95%.

### Вариант - 2

1) Исследуется электрический фильтр для очистки газов, который содержит проходной канал в виде трубы (высота  $h$ , площадь  $S$ ), через который пропускается задымленный газ с абсолютной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Внутри канала находится стержневой электрод. При подключении высокого постоянного напряжения  $U$  происходит ионизация газа, частицы загрязнений приобретают заряд и притягиваются к внутренней стенке канала. В электрическую цепь включено токоограничивающее сопротивление  $R$  на случай пробоя газового промежутка.



Параметры натурной установки:

$$U_n = 120 \text{ кВ};$$

$$R_n = 20 \text{ кОм};$$

$$h_n = 6 \text{ м};$$

$$S_n = 60 \text{ м}^2;$$

$$\varepsilon_n = 10^{-10} \text{ Ф/м}.$$

Начальные условия (параметры процесса):

При подключении установки в момент времени  $t_n(0) = 0,1 \text{ с}$  ток  $i_n(0) = 0,01 \text{ А}$  и заряд  $Q_n(0) = 10^{-3} \text{ Кл}$ .

Определить:

- критерии подобия методом анализа размерностей для следующего списка существенных величин:  $U$ ;  $R$ ;  $t$ ;  $i$ ;  $h$ ;  $S$ .
- параметры модели, подобной натуральной установке.

2) Имеется две выборки:

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_{1k}$	222,4	220,7	223,8	237,3	235,4	215,6	223,0	217,1	216,8	228,0	227,0	200,1	221,7	206,7	217,2
$X_{2k}$	207,5	215,1	218,1	218,8	209,4	241,6	218,0	224,7	231,2	228,3	213,6	214,8	236,8	222,9	219,8

Необходимо:

- 1) проверить каждую выборку на наличие грубых ошибок;
- 2) проверить выборки на однородность и найти наилучшую дисперсию;
- 3) оценить генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  с вероятностью 95%;
- 4) проверить гипотезу о том, генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  равно номеру варианта;
- 5) найти доверительный интервал генеральной дисперсии  $\sigma(x)$  с вероятностью 90%;
- 6) проверить гипотезу о том, генеральная дисперсия  $\sigma(x)$  равна номеру варианта.

3) Рассчитать параметры математической модели на основании таблицы экспериментальных данных и оценить ее достоверность.

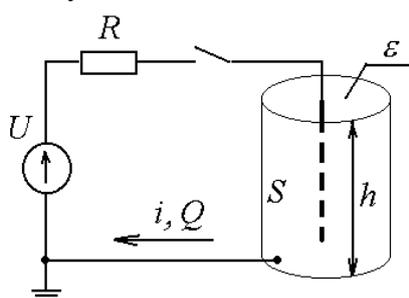
№ опыта	Варьируемые факторы			Значения функции отклика	
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$
1	1	25	14	240	238
2	1	15	14	160	158
3	1	25	6	224	220
4	1	15	6	144	146

для этого:

- 1) построить кодированную матрицу планирования эксперимента;
- 2) рассчитать коэффициенты уравнения регрессии в кодированной форме;
- 3) проверить адекватность модели на основании дублирования опытов;
- 4) оценить значимость коэффициентов уравнения с доверительной вероятностью 95%.

### Вариант - 3

1) Исследуется электрический фильтр для очистки газов, который содержит проходной канал в виде трубы (высота  $h$ , площадь  $S$ ), через который пропускается задымленный газ с абсолютной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Внутри канала находится стержневой электрод. При подключении высокого постоянного напряжения  $U$  происходит ионизация газа, частицы загрязнений приобретают заряд и притягиваются к внутренней стенке канала. В электрическую цепь включено токоограничивающее сопротивление  $R$  на случай пробоя газового промежутка.



Параметры натурной установки:

$$U_n = 100 \text{ кВ};$$

$$R_n = 5 \text{ кОм};$$

$$h_n = 4 \text{ м};$$

$$S_n = 60 \text{ м}^2;$$

$$\epsilon_n = 10^{-10} \text{ Ф/м}.$$

Начальные условия (параметры процесса):

При подключении установки в момент времени  $t_n(0) = 0,1 \text{ с}$  ток  $i_n(0) = 0,01 \text{ А}$  и заряд  $Q_n(0) = 10^{-3} \text{ Кл}$ .

Определить:

- критерии подобия методом анализа размерностей для следующего списка существенных величин:  $i$ ;  $R$ ;  $t$ ;  $Q$ ;  $S$ ;  $h$ .
- параметры модели, подобной натуральной установке.

2) Имеется две выборки:

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_{1k}$	2,4	7,8	5,5	7,7	7,4	7,3	8,0	5,3	5,8	8,1	7,8	6,7	7,3	7,6	7,5
$X_{2k}$	7,8	7,4	4,9	7,6	7,9	7,2	6,9	5,3	5,8	7,1	8,1	7,3	6,3	12,4	7,4

Необходимо:

- 1) проверить каждую выборку на наличие грубых ошибок;
- 2) проверить выборки на однородность и найти наилучшую дисперсию;
- 3) оценить генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  с вероятностью 95%;
- 4) проверить гипотезу о том, генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  равно номеру варианта;
- 5) найти доверительный интервал генеральной дисперсии  $\sigma(x)$  с вероятностью 90%;
- 6) проверить гипотезу о том, генеральная дисперсия  $\sigma(x)$  равна номеру варианта.

3) Рассчитать параметры математической модели на основании таблицы экспериментальных данных и оценить ее достоверность.

№ опыта	Варьируемые факторы			Значения функции отклика	
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$
1	1	12	11	26	28
2	1	4	11	42	40
3	1	12	5	2	4

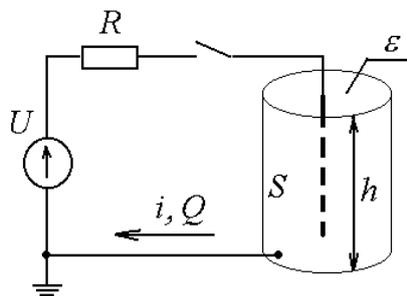
4	1	4	5	18	20
---	---	---	---	----	----

для этого:

- 1) построить кодированную матрицу планирования эксперимента;
- 2) рассчитать коэффициенты уравнения регрессии в кодированной форме;
- 3) проверить адекватность модели на основании дублирования опытов;
- 4) оценить значимость коэффициентов уравнения с доверительной вероятностью 95%.

#### Вариант - 4

1) Исследуется электрический фильтр для очистки газов, который содержит проходной канал в виде трубы (высота  $h$ , площадь  $S$ ), через который пропускается задымленный газ с абсолютной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Внутри канала находится стержневой электрод. При подключении высокого постоянного напряжения  $U$  происходит ионизация газа, частицы загрязнений приобретают заряд и притягиваются к внутренней стенке канала. В электрическую цепь включено токоограничивающее сопротивление  $R$  на случай пробоя газового промежутка.



Параметры натурной установки:

$$U_n = 110 \text{ кВ};$$

$$R_n = 15 \text{ кОм};$$

$$h_n = 3 \text{ м};$$

$$S_n = 60 \text{ м}^2;$$

$$\epsilon_n = 10^{-10} \text{ Ф/м}.$$

Начальные условия (параметры процесса):

При подключении установки в момент времени  $t_n(0) = 0,1 \text{ с}$  ток  $i_n(0) = 0,01 \text{ А}$  и заряд  $Q_n(0) = 10^{-3} \text{ Кл}$ .

Определить:

- критерии подобия методом анализа размерностей для следующего списка существенных величин:  $R; i; t; Q; S; h$ .
- параметры модели, подобной натуральной установке.

2) Имеется две выборки:

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_{1k}$	120,9	120,8	117,8	120,9	120,4	122,7	125,1	117,1	117,7	118,4	110,5	119,1	123,6	117,8	120,3
$X_{2k}$	134,6	121,3	115,1	118,9	122,7	120,6	121,9	119,5	121,8	119,3	124,8	119,3	121,2	121,2	119,5

Необходимо:

- 1) проверить каждую выборку на наличие грубых ошибок;
- 2) проверить выборки на однородность и найти наилучшую дисперсию;
- 3) оценить генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  с вероятностью 95%;
- 4) проверить гипотезу о том, генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  равно номеру варианта;
- 5) найти доверительный интервал генеральной дисперсии  $\sigma(x)$  с вероятностью 90%;
- 6) проверить гипотезу о том, генеральная дисперсия  $\sigma(x)$  равна номеру варианта.

3) Рассчитать параметры математической модели на основании таблицы экспериментальных данных и оценить ее достоверность.

№ опыта	Варьируемые факторы			Значения функции отклика	
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$

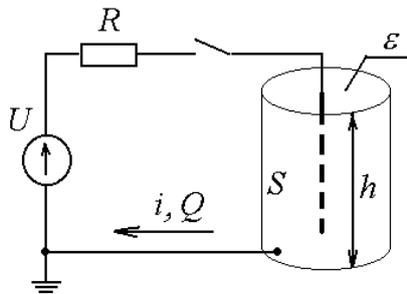
1	1	6	6	200	196
2	1	2	6	240	236
3	1	6	2	40	46
4	1	2	2	80	76

для этого:

- 1) построить кодированную матрицу планирования эксперимента;
- 2) рассчитать коэффициенты уравнения регрессии в кодированной форме;
- 3) проверить адекватность модели на основании дублирования опытов;
- 4) оценить значимость коэффициентов уравнения с доверительной вероятностью 95%.

### Вариант - 5

1) Исследуется электрический фильтр для очистки газов, который содержит проходной канал в виде трубы (высота  $h$ , площадь  $S$ ), через который пропускается задымленный газ с абсолютной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Внутри канала находится стержневой электрод. При подключении высокого постоянного напряжения  $U$  происходит ионизация газа, частицы загрязнений приобретают заряд и притягиваются к внутренней стенке канала. В электрическую цепь включено токоограничивающее сопротивление  $R$  на случай пробоя газового промежутка.



Параметры натурной установки:

$$U_n = 220 \text{ кВ};$$

$$R_n = 13 \text{ кОм};$$

$$h_n = 5 \text{ м};$$

$$S_n = 50 \text{ м}^2;$$

$$\varepsilon_n = 10^{-10} \text{ Ф/м}.$$

Начальные условия (параметры процесса):

При подключении установки в момент времени  $t_n(0) = 0,1 \text{ с}$  ток  $i_n(0) = 0,01 \text{ А}$  и заряд  $Q_n(0) = 10^{-3} \text{ Кл}$ .

Определить:

- критерии подобия методом анализа размерностей для следующего списка существенных величин:  $U$ ;  $i$ ;  $t$ ;  $h$ ;  $S$ ;  $\varepsilon$ .
- параметры модели, подобной натуральной установке.

2) Имеется две выборки:

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X_{1k}$	5,4	6,4	6,5	6,4	2,7	5,6	5,8	6,0	6,4	5,7	5,5	5,5	5,2	5,9	6,3
$X_{2k}$	5,8	6,0	5,7	5,5	6,5	6,5	5,9	5,9	7,3	7,3	5,5	10,4	4,9	5,9	5,9

Необходимо:

- 1) проверить каждую выборку на наличие грубых ошибок;
- 2) проверить выборки на однородность и найти наилучшую дисперсию;
- 3) оценить генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  с вероятностью 95%;
- 4) проверить гипотезу о том, генеральное мат.ожидание  $\mu(x)$  равно номеру варианта;
- 5) найти доверительный интервал генеральной дисперсии  $\sigma(x)$  с вероятностью 90%;
- 6) проверить гипотезу о том, генеральная дисперсия  $\sigma(x)$  равна номеру варианта.

3) Рассчитать параметры математической модели на основании таблицы экспериментальных данных и оценить ее достоверность.

№ опыта	Варьируемые факторы			Значения функции отклика	
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$
1	1	7	9	163	165
2	1	3	9	111	113
3	1	7	3	121	119
4	1	3	3	69	71

для этого:

- 1) построить кодированную матрицу планирования эксперимента;
- 2) рассчитать коэффициенты уравнения регрессии в кодированной форме;
- 3) проверить адекватность модели на основании дублирования опытов;
- 4) оценить значимость коэффициентов уравнения с доверительной вероятностью 95%.

#### **Рекомендации по выполнению контрольной работы:**

При выполнении задания №1 необходимо придерживаться следующего алгоритма:

- 1) выписать размерности величин, характеризующих исследуемую установку;
- 2) составить полную матрицу размерностей;
- 3) определить ранг полученной матрицы;
- 4) определить число критериев подобия;
- 5) определить число зависимых и независимых параметров;
- 6) записать выражения критериев подобия в общем виде;
- 7) для каждого критерия подобия составить формулу размерностей и вычислить показатели степеней для определения конкретного вида выражений критериев подобия;
- 8) задаться независимыми параметрами модели;
- 9) вычислить зависимые параметры через критерии подобия.

При выполнении задания №2 рекомендуется:

- 1) использовать критерий максимального отклонения для выявления грубых ошибок в выборках;
- 2) при проверке выборок на однородность использовать  $G$ -критерий при одинаковом числе степеней свободы единичных дисперсий и  $F$ -критерий – при различном;
- 3) при однородности выборок определить наилучшую дисперсию;
- 4) для оценки доверительного интервала генерального математического ожидания использовать  $t$ -критерий;
- 5) для оценки доверительного интервала генерального математического ожидания использовать критерий  $\chi^2$ .

При выполнении задания №3 следует:

- 1) выполнить кодирование факторов;
- 2) составить кодированную матрицу эксперимента;
- 3) рассчитать коэффициенты регрессионного уравнения;
- 4) оценить значимость коэффициентов на основе их сравнения с доверительным интервалом коэффициентов;
- 5) оценить адекватность регрессионного уравнения на основе однородности дисперсии адекватности и дисперсии воспроизводимости по  $F$ -критерию.

#### **Критерии успешного выполнения КР:**

Критерием успешного выполнения контрольной работы на оценку «отлично» является верное определение параметров модели, подобной исходной установке методом анализа размерностей, определение интервалов генерального математического ожидания и дисперсии выборки, из которой исключены грубые ошибки, получение адекватного регрессионного уравнения по результатам ПФЭ  $2^n$ ; на оценку «хорошо» – определение

численного значения критериев подобия, выполнение анализа выборок на однородность и определение коэффициентов регрессионного уравнения; на оценку «**удовлетворительно**» – составление матрицы размерностей, её анализ и определение числа зависимых и независимых параметров, верное определение грубых ошибок в выборке, составление плана полного факторного эксперимента типа  $2^n$ .