2019/2020 учебный год

Задания заключительного этапа олимпиады «Я - профессионал»

по направлению «Измерительная техника и метрология»

Категория Магистратура/специалитет

Задание №1

В ходе выработки решений по деятельности лаборатории специалисты высказывают различные суждения. Найдите в содержании требований ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» соответствующий пункт, который позволит оценить истинность или ложность одного из следующих высказываний:

1. Лаборатория должна иметь статус юридического лица.
2. Программы калибровки должны пересматриваться и корректироваться с целью поддержания доверия к статусу калибровки.
3. Записи о состоянии оборудования должны обязательно включать план технического обслуживания.
4. Лаборатория должна обязательно применять метод испытаний, запрашиваемый заказчиком.
5. В сертификаты о калибровке при необходимости должны быть внесены мнения и интерпретации.

Поясните ход своих рассуждений и укажите № требования, по которому выполнили оценку.

Ответы:

1. Ложно (п. 5.1)

2. Истинно (п.6.4.7)

3. Ложно (п.6.4.13 g)

4. Ложно (п. 7.1.2)

5. Истинно (п.7.8.4.1 f)

Задание №2

В ходе исследования было проведено 30 измерений сопротивлений резисторов с помощью цифрового мультиметра. Измеренные значения сопротивлений приведены в таблице.

28,5	28,3
28,0	28,1
28,3	28,5

28,1	28,0
28,5	28,5
28,0	28,5
28,3	28,0
28,1	28,3
28,4	28,1
28,5	28,1
28,6	28,4
28,1	28,5
28,4	28,6
28,5	28,3
28,6	28,4

Определите стандартную неопределённость измерений сопротивлений резисторов ($u(x)$); стандартную неопределённость от поправки, учитывающей единицу младшего разряда выдаваемых мультиметром показаний ($u(r)$), если единица младшего разряда выдаваемых мультиметром показаний равна $r = 0{,}1$ Ом; суммарную стандартную неопределённость измерений сопротивлений резисторов ($u(R)$).

Ответ: Стандартную неопределённость измерений можно вычислить по формуле:

$$u(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{q=1}^{n}(x_q - \bar{x})^2},$$

где x_q – результат измерения сопротивления резисторов,

$\bar{x}$ – среднее арифметическое результатов измерений сопротивлений резисторов,

n – число измерений сопротивлений резисторов.

Найдём $\bar{x}$ по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{q=1}^{n} x_i = \frac{1}{30}(28{,}5 + 28 + 28{,}3 + 28{,}1 + 28{,}5 + 28 + 28{,}1 + 28{,}4 + 28{,}5 + 28{,}6 + 28{,}1 + 28{,}4 + 28{,}5 + 28{,}6 + 28{,}3 + 28{,}1 + 28{,}5 + 28 + {}$$
$$+ 28{,}5 + 28{,}5 + 28{,}5 + 28 + 28{,}3 + 28{,}1 + 28{,}1 + 28{,}4 + 28{,}5 + 28{,}6 + 28{,}3 + 28{,}4) = \frac{849{,}5}{30} \cong 28{,}3 \text{ Ом}.$$

Тогда

$$u(x) =$$
$$= \sqrt{\frac{1}{30(30-1)}\begin{bmatrix}(28{,}5-28{,}3)^2+(28{,}0-28{,}3)^2+(28{,}3-28{,}3)^2+(28{,}1-28{,}3)^2+(28{,}5-28{,}3)^2+\\ +(28{,}0-28{,}3)^2+(28{,}3-28{,}3)^2+(28{,}1-28{,}3)^2+(28{,}4-28{,}3)^2+(28{,}5-28{,}3)^2+\\ +(28{,}6-28{,}3)^2+(28{,}1-28{,}3)^2+(28{,}4-28{,}3)^2+(28{,}5-28{,}3)^2+(28{,}6-28{,}3)^2\\ +(28{,}3-28{,}3)^2+(28{,}1-28{,}3)^2+(28{,}5-28{,}3)^2+(28{,}0-28{,}3)^2+(28{,}5-28{,}3)^2+\\ +(28{,}5-28{,}3)^2+(28{,}0-28{,}3)^2+(28{,}3-28{,}3)^2+(28{,}1-28{,}3)^2+(28{,}1-28{,}3)^2+\\ +(28{,}4-28{,}3)^2+(28{,}5-28{,}3)^2+(28{,}6-28{,}3)^2+(28{,}3-28{,}3)^2+(28{,}4-28{,}3)^2\end{bmatrix}} =$$

$$u(x)$$
$$= \sqrt{\frac{1}{870}\begin{bmatrix}0{,}04+0{,}09+0+0{,}04+0{,}04+0{,}09+0+0{,}04+0{,}01+0{,}04+0{,}09+0{,}04+0{,}01+\\ +0{,}04+0{,}09+0+0{,}04+0{,}04+0{,}09+0{,}04+0{,}04+0{,}09+0+0{,}04+0{,}04+0{,}01+\\ +0{,}04+0{,}09+0+0{,}01\end{bmatrix}} =$$

$$u(x) = \sqrt{\frac{1{,}23}{870}} \cong 0{,}038 \text{ Ом.}$$

Стандартную неопределённость от поправки $u(r)$, учитывающей единицу младшего разряда выдаваемых мультиметром показаний, можно рассчитать по формуле:

$$u(r) = \frac{r}{2\cdot\sqrt{3}} = \frac{0{,}1}{2\cdot\sqrt{3}} \cong 0{,}029 \text{ Ом.}$$

Суммарную стандартную неопределённость измерений сопротивлений резисторов рассчитаем по формуле:

$$u(R) = \sqrt{u(x)^2 + u(r)^2} = \sqrt{0{,}038^2 + 0{,}029^2} \cong 0{,}05 \text{ Ом.}$$

Задание №3

Имеется контрольный автомат для контроля геометрических параметров роликов подшипников качения. Автомат состоит из загрузочного устройства, транспортирующего узла (наклонный лоток-склиз), измерительной позиции и сортировочного аппарата. Скорость, с которой детали попадают из загрузочного устройства в лоток, составляет 200 мм/с, параметры лотка-склиза следующие: высота h = 300 мм, угол наклона γ = 20°, коэффициент трения скольжения μ = 0,1. Как только центр тяжести детали доходит до нижней точки лотка, деталь падает на измерительную позицию. Время установки (вместе с падением), контроля и удаления детали с позиции составляет 1,2 с. Пока на измерительной позиции находится деталь, следующие детали не могу на неё попасть. Чтобы обеспечить согласованность в работе транспортирующего органа и измерительной позиции требуется ли установить отсекатель деталей? Если да, то на какое время он должен удерживать соскальзывающие детали?

Ответ: Отсекатель не нужен, если время движения по лотку больше либо равно времени на измерительной позиции. Например, в случае если время движения по лотку составляет 0,77 с, следовательно отсекатель нужен и время удержания для него составляет 1,2 – 0,77 = 0,43с.

Задание №4

Контролируется изготовление валиков на прецизионном токарном автомате. Через установленный промежуток времени берется выборка $n = 3$ шт. Данные по контролю представлены в Таблице. Также имеются данные по среднему значению размера валиков $X_0 = 10{,}06$ мм и предполагаемому стандартному отклонению процесса $\sigma_0 = 0{,}14$ мм, полученные на основе исторических данных процесса.

Подгруппа	1	2	3	4	5	6	7	8
x_i, мм	10,37	10,31	9,85	9,82	10,13	10,22	9,91	9,87
	10,06	9,86	10,20	9,85	9,62	9,84	9,78	10,11
	9,97	9,99	9,92	10,09	10,08	9,77	10,19	10,36

Необходимо построить контрольную карту средних арифметических значений и карту размахов для статистического регулирования процесса и определить, есть ли необходимость в его регулировании.
Коэффициенты для вычисления границ приведены в Приложении. При решении пользоваться коэффициентами A_1, d_2, D_1, D_2.

Ответ: Вычислим для каждой подгруппы данные по средним $\bar{X}$ и размаху R:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \qquad R = x_i^{max} - x_i^{min}$$

Подгруппа	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{X}$	10,13	10,05	9,99	9,92	9,94	9,94	9,96	10,11
R	0,40	0,45	0,48	0,35	0,51	0,45	0,41	0,49

Поскольку стандартные значения даны ($X_0 = 10{,}06$; $\sigma_0 = 0{,}14$), контрольную карту средних и карту размахов необходимо строить по следующим формулам (с использованием данных Приложения при $n = 3$):

$\bar{X} -$ карта:

центральная линия: $X_0 = 10{,}06$ г

$UCL = X_0 + A_1\sigma_0 = 10{,}06 + (1{,}732 \cdot 0{,}14) = 10{,}30$ мм

$LCL = X_0 - A_1\sigma_0 = 10{,}06 - (1{,}732 \cdot 0{,}14) = 9{,}82$ мм

$R -$ карта:

центральная линия: $R_0 = d_2\sigma_0 = 1{,}693 \cdot 0{,}14 = 0{,}24$ мм

$UCL = D_2\sigma_0 = 4{,}358 \cdot 0{,}14 = 0{,}61$ мм

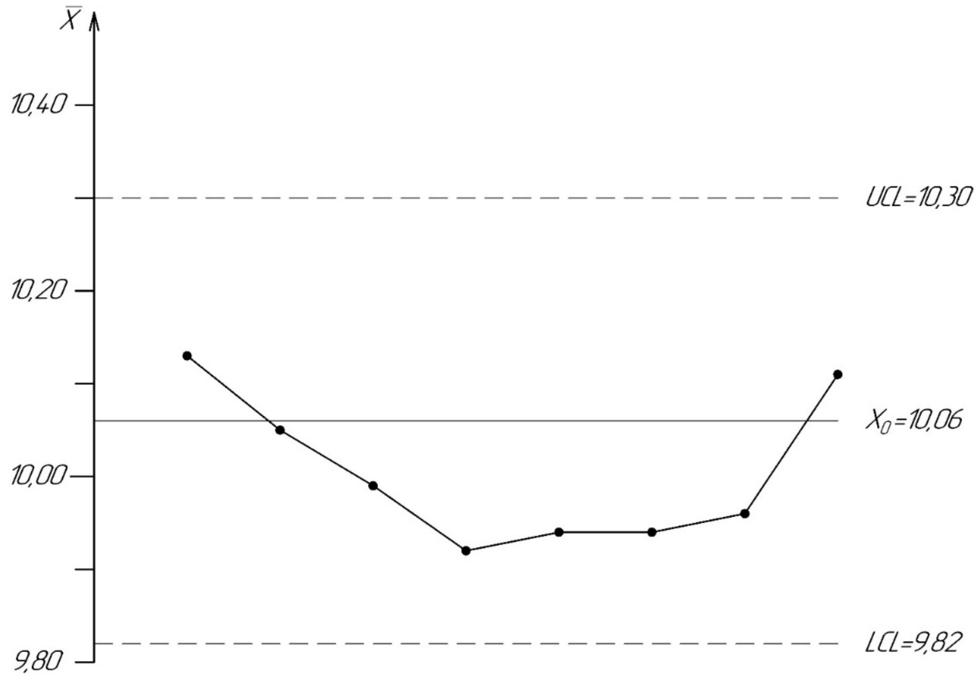
$LCL = D_1\sigma_0 = 0 \cdot 0{,}14 = 0$ мм

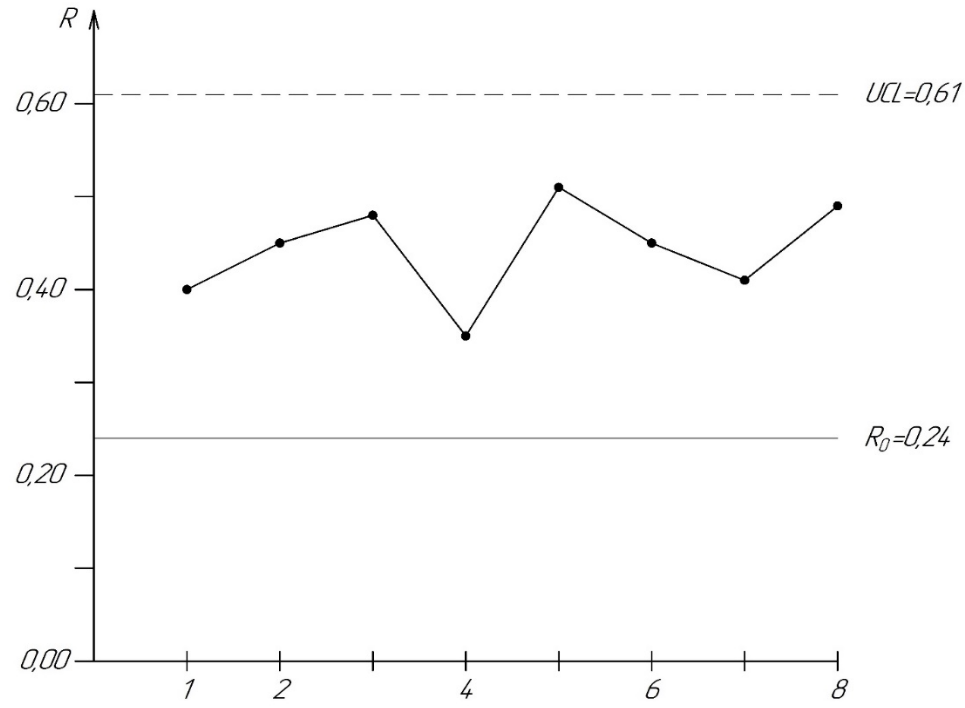
Карты средних и размахов по рассчитанным данным см. ниже. Полученные карты показывают, что процесс не находится в статистически управляемом состоянии на требуемом уровне, так как есть последовательность из 6 точек, лежащих ниже центральной линии на $\bar{X} -$ карте и последовательность из 8 точек выше центральной линии на $R -$ карте. Причина столь длинной последовательности низких значений должна быть исследована и устранена.

Итог

См. построенные карты; необходимость в регулировании процесса есть.

Карты средних и размахов по рассчитанным данным





Задание №5

Стержень, ориентированный под углом 45° к скорости движения горизонтально, перемещается со скоростью $V = 200000\frac{км}{с}$. Определить изменение длины стержня, если его начальная длина $l = 2м$. Принять скорость света равной $c = 299792458\frac{м}{с}$. Результат округлить до 3 знака.

Ответ: В задаче примем, что стержень покоится в системе *K’*, которая двигается относительно системы *K* со скоростью *V*.

Поскольку по условию задачи стержень движется горизонтально, то длина стержня относительно оси о*X* определяется выражением:

$$l_X = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}(l\cdot\cos\varphi) \qquad (1)$$

$$l_X = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}(l\cdot\cos\varphi) = \sqrt{1-\frac{(200000000)^2}{(299792458)^2}}\cdot 2\cdot\cos(45) = 0{,}555\cdot\sqrt{2} = 0{,}785\text{м}$$

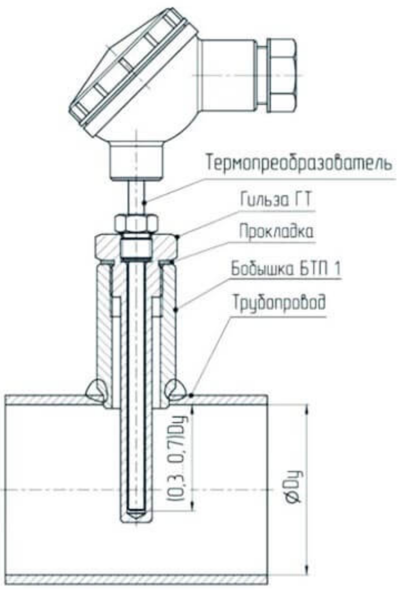
Тогда длина стержня в процессе движения равна:

$l'' = l_X / \cos\varphi) = 1{,}11\text{м}$

В итоге удлинение стержня составит

$\Delta l = l - l' = 2 - 1{,}11 = 0{,}89\ \text{м}$

Задание №6



Перечислите составляющие общей погрешности (с указанием источников погрешностей) измерения температуры потока газа в трубопроводе диаметром 100 мм. Расчетное значение температуры газа 900 °С, термопара ТПК-165, скорость потока определена числом Маха 0.5, температура внутренней стенки трубы 600 °С.

Ответ: Составляющие погрешности:

- Погрешность из-за локального адиабатического сжатия газа в зоне перед гильзой (корпусом)

- Погрешность из-за теплового сопротивления корпуса (гильзы)
- Погрешность из-за излучения стенок трубопровода
- Погрешность из-за разницы температур газа и окружающей среды (за счет теплопередачи через соединительные провода)

Задание №7

Тремя экспериментами с применением различных прямых методов измерения были получены следующие серии значений ускорения свободного падения (в $м/с^2$):

Серия 1	9,81281	9,80711	9,80791	9,80471	9,81391	9,82031	9,81321	9,82031
Серия 2	9,81622	9,82702	9,79642	9,81132	9,83032	9,81592	9,80552	9,79622
Серия 3	9,83615	9,82615	9,81215	9,80615	9,84915	9,78915	9,77615	9,79099

1) Определить результат измерений каждой серии (результаты подчиняются нормальному закону распределения, доверительная вероятность $P = 0{,}95, t = 2{,}36$);
2) Определить объединенный результат измерений.

Ответ:

1) Определим результат измерений каждой серии в отдельности в следующем порядке:

Определение среднего арифметического значения результатов измерений (математическое ожидание ряда):

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

где x_i —-е значение результата измерений, n − количество измерений;

Определение среднего квадратического отклонения результатов наблюдения:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k}(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}};$$

Определение доверительного интервала:

$$\varepsilon = \pm \frac{tS}{\sqrt{n}},$$

где t − коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа степеней свободы $(n-1)$.

Результаты вычислений каждой серии представлены в таблице:

	Обознач.	$\bar{x}$	S	t	ε
Серия 1	g_1	9,81254	0,00580	2,36	0,00484
Серия 2	g_2	9,81237	0,01269		0,01059
Серия 3	g_3	9,81076	0,02517		0,02100

Тогда результаты измерений:

$$g_1 = (9{,}81254 \pm 0{,}00484)\ \text{м/с}^2, P = 0{,}95, n = 8;$$

$$g_2 = (9{,}81237 \pm 0{,}01059)\ \text{м/с}^2, P = 0{,}95, n = 8;$$

$$g_3 = (9{,}81076 \pm 0{,}02100)\ \text{м/с}^2, P = 0{,}95, n = 8.$$

2) Определим объединенный результат измерений. Так как указанные в результатах рядов измерений СКО различаются существенно, измерения неравноточны. Сначала вычислим весовые коэффициенты по формуле

$$\rho_i = \frac{1/\varepsilon^2(g_i)}{\sum_{i=1}^{k} 1/\varepsilon^2(g_i)},$$

где ρ_i — весовой коэффициент -й серии, $\varepsilon(g_i)$ — доверительный интервал i-й серии:

$$\rho_1 = \frac{1}{0{,}00484^2} : \left[\frac{1}{0{,}00484^2} + \frac{1}{0{,}01059^2} + \frac{1}{0{,}02100^2}\right] \approx 0{,}79;$$

$$\rho_2 = \frac{1}{0{,}01059^2} : \left[\frac{1}{0{,}00484^2} + \frac{1}{0{,}01059^2} + \frac{1}{0{,}02100^2}\right] \approx 0{,}17;$$

$$\rho_3 = \frac{1}{0{,}02100^2} : \left[\frac{1}{0{,}00484^2} + \frac{1}{0{,}01059^2} + \frac{1}{0{,}02100^2}\right] \approx 0{,}04;$$

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1.$$

Средневзвешенное значение объединенных результатов измерений, м/с^2, равно

$$g^* = \sum_{i=1}^{k} \bar{x}_i \cdot \rho_i = 9{,}81254 \cdot 0{,}79 + 9{,}81237 \cdot 0{,}17 + 9{,}81076 \cdot 0{,}04 = 9{,}81243,$$

а среднее квадратическое отклонение, м/с^2:

$$S(g^*) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} \rho_i (\bar{x}_i - g^*)^2}{\rho^2 (k-1)}} = \sqrt{\frac{0{,}79(0{,}0001)^2 + 0{,}17(-0{,}00006)^2 + 0{,}04(-0{,}00168)^2}{1^2(3-1)}} = 0{,}00025.$$

Тогда объединенный результат измерений ускорения свободного падения

$$g = (9{,}81243 \pm 0{,}00025)\ м/с^2.$$

Итог

1)

$$g_1 = (9{,}81254 \pm 0{,}00484)\ м/с^2, P = 0{,}95, n = 8;$$

$$g_2 = (9{,}81237 \pm 0{,}01059)\ м/с^2, P = 0{,}95, n = 8;$$

$$g_3 = (9{,}81076 \pm 0{,}02100)\ м/с^2, P = 0{,}95, n = 8.$$

2) $g = (9{,}81243 \pm 0{,}00025)\ м/с^2$.

Задание №8

При изучении технологического процесса нанесения краски на поверхность корпуса автомобиля в результате проведения полного факторного эксперимента (ПФЭ) типа 2^3 были получены значения целевой функции, характеризующей равномерность толщины краски на поверхности корпуса автомобиля в трех сериях испытаний. В таблице приведены значения целевой функции в мкм, y_{j1}, y_{j2}, y_{j3} – измеренное значение целевой функции в серии из трёх параллельных опытов. Значения параметров были представлены в кодированном виде (±1). Уровень значимости α принять равным 0,05. Требуется построить матрицу планирования эксперимента и проверить воспроизводимость опытов с помощью критерия Кохрена.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
y_{j1}	30	25	40	40	35	50	60	45
y_{j2}	65	25	30	45	30	55	30	40
y_{j3}	35	40	50	60	55	45	30	30

Ответ:

Так как ПФЭ имеет тип 2^3, где 3 – это количество факторов, то количество опытов будет равно $N = 2^3 = 8$.

Значения параметров были представлены в кодированном виде (±1). А в матрице планирования единицы не записываются, а проставляются только плюс или минус в соответствии с правилами чередования знаков факторов в каждом опыте. Исходя из этого, матрица планирования эксперимента будет иметь следующий вид:

№ опыта	x_1	x_2	x_3

1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Проверка воспроизводимости опытов проводится по критерию Кохрена:

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{jmax}^2}{\sum_{j=1}^{N} S_j^2},$$

где S_j^2 – выборочная дисперсия выходного параметра в j-ом опыте,

S_{jmax}^2 – максимальная выборочная дисперсия.

Выборочную дисперсию будем рассчитывать по формуле

$$S_j^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{g=1}^{m}(y_{jg} - \overline{y_j})^2,$$

где m = 3 – количество серий параллельных опытов,

g – номер серии параллельных опытов,

$\overline{y_j} = \frac{1}{m}\sum_{g=1}^{m} y_{jg}$ – среднее значение выходного параметра в j-ом опыте.

Получаем

$\overline{y_1} = \frac{1}{3}(30 + 65 + 35) = 43{,}3$ мкм;

$\overline{y_2} = \frac{1}{3}(25 + 25 + 40) = 30$ мкм;

$\overline{y_3} = \frac{1}{3}(40 + 30 + 50) = 40$ мкм;

$\overline{y_4} = \frac{1}{3}(40 + 45 + 60) = 48{,}3$ мкм;

$\overline{y_5} = \frac{1}{3}(35 + 30 + 55) = 40$ мкм;

$\overline{y_6} = \frac{1}{3}(50 + 55 + 45) = 50$ мкм;

$\overline{y_7} = \frac{1}{3}(60 + 30 + 30) = 40$ мкм;

$\overline{y_8} = \frac{1}{3}(45 + 40 + 30) = 38{,}3$ мкм.

$S_1^2 = \frac{1}{2}[(30 - 43{,}3)^2 + (65 - 43{,}3)^2 + (35 - 43{,}3)^2] = \frac{1}{2}\ (176{,}89 + 470{,}89 + 68{,}89) = 358{,}3$ мкм^2;

$S_2^2 = \frac{1}{2}[(25 - 30)^2 + (25 - 30)^2 + (40 - 30)^2] = \frac{1}{2}\ (25 + 25 + 100) = 75$ мкм^2;

$S_3^2 = \frac{1}{2}[(40 - 40)^2 + (30 - 40)^2 + (50 - 40)^2] = \frac{1}{2}\ (0 + 100 + 100) = 100$ мкм^2;

$S_4^2 = \frac{1}{2}[(40 - 48{,}3)^2 + (45 - 48{,}3)^2 + (60 - 48{,}3)^2] = \frac{1}{2}\ (68{,}89 + 10{,}89 + 136{,}89) = 108{,}3$ мкм^2;

$S_5^2 = \frac{1}{2}[(35 - 40)^2 + (30 - 40)^2 + (55 - 40)^2] = \frac{1}{2}\ (25 + 100 + 225) = 175$ мкм^2;

$S_6^2 = \frac{1}{2}[(50 - 50)^2 + (55 - 50)^2 + (45 - 50)^2] = \frac{1}{2}\ (0 + 25 + 25) = 25$ мкм^2;

$S_7^2 = \frac{1}{2}[(60 - 40)^2 + (30 - 40)^2 + (30 - 40)^2] = \frac{1}{2}\ (400 + 100 + 100) = 300$ мкм^2;

$S_8^2 = \frac{1}{2}[(45 - 38{,}3)^2 + (40 - 38{,}3)^2 + (30 - 38{,}3)^2] = \frac{1}{2}\ (44{,}89 + 2{,}89 + 68{,}89) = 58{,}3$.

$S_{jmax}^2 = 358{,}3$ мкм^2.

Тогда

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{jmax}^2}{\sum_{j=1}^{N} S_j^2} = \frac{358{,}3}{358{,}3+75+100+108{,}3+175+25+300+58{,}3} = \frac{358{,}3}{1199{,}9} = 0{,}2986.$$

Полученное расчётное значение критерия Кохрена $G_{\text{расч}}$ сравнивается с его табличным значением $G_{\text{крит}}$, которое находится при числе степеней свободы $\mathrm{f}_1 = m - 1 = 3 - 1 = 2$ и $\mathrm{f}_2 = N = 8, \alpha = 0{,}05$.

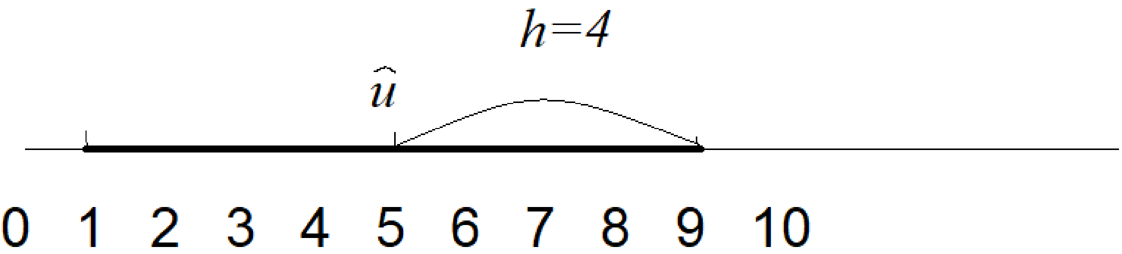
В таблице со значениями критерия Кохрена находим $G_{\text{крит}} = 0{,}5157$.

$0{,}2986 < 0{,}5157 \rightarrow G_{\text{расч}} < G_{\text{крич}}$ – следовательно, условия проведения опытов воспроизводимы.

Задание №9

Найти наиболее точную оценку числового параметра u, если проведено измерение параметра *f*, связанного с *u* соотношением $u = f^{\,2}$, если известен результат измерения *f* с погрешностью *n*, $f+n=2$.
Про погрешность измерения известно, что она по модулю не превосходит единицу: $|n|\leq 1$. Найти погрешность полученной оценки.

Ответ: Согласно результату измерения, параметр *f* может изменяться от 1 до 3. Соответственно, параметр $u=f^2$ изменяется от 1 до 9. Оценкой, минимизирующей максимальную погрешность, является середина интервала [1,9], т.е. наиболее точная оценка равна 5, ее максимальная погрешность равна половине длины интервала [1,9], т.е. равна 4.



Замечание. Было бы ошибкой сначала найти оценку $f=2$, а затем возвести ее в квадрат. Результат такой оценки будет равен 4, ее максимальная погрешность будет равна 5, что больше погрешности оценки $\hat{u} = 5$.

Задание №10

В процессе исследования влияющих факторов на чувствительность датчика движения были опрошены 8 экспертов, работающих с данным типом датчиков. Экспертам было предложено оценить по 5-балльной шкале степень влияния пяти разных факторов на чувствительность датчика движения. Результаты опроса экспертов приведены в таблице на следующей странице.

Необходимо рассчитать коэффициент конкордации, оценить согласованность мнений всех экспертов и проверить значимость коэффициента конкордации, используя χ^2 –критерий (уровень значимости принять равным 0,05).

Эксперты	Факторы				
	1	2	3	4	6
1	5	4	5	3	4
2	4	5	3	2	1
3	4	4	3	3	3
4	5	5	5	1	1
5	3	5	5	1	4
6	4	1	5	1	2
7	2	4	4	2	4
8	5	5	2	2	3

Ответ: Результаты опроса экспертов обрабатываются следующим образом.

Сначала определим сумму рангов по каждому фактору:

Эксперты	Факторы				
	1	2	3	4	6
1	5	4	2	3	1
2	4	5	3	2	1
3	4	5	3	1	2
4	5	4	3	2	1
5	3	5	4	1	2
6	4	1	5	2	3
7	2	5	4	1	3
8	5	4	2	1	3
$\sum$	**32**	**33**	**26**	**13**	**16**

Затем определяем среднюю сумму рангов:

$$\frac{32+33+26+13+16}{5} = 24.$$

Далее определяем разность Δi между суммой рангов каждого фактора и средней суммой рангов всех факторов:

$\Delta i_1 = 32 - 24 = 8;$

$\Delta i_2 = 33 - 24 = 9;$

$\Delta i_3 = 26 - 24 = 2;$

$\Delta i_4 = 13 - 24 = -11;$

$\Delta i_5 = 16 - 24 = -8.$

Определяем s – сумму квадратов отклонений:

$s = \sum_1^5 \Delta i^2 = 64 + 81 + 4 + 121 + 64 = 334.$

Число одинаковых оценок у одного и того же эксперта равно 0, тогда рассчитаем коэффициент конкордации w по следующей формуле:

$w = \frac{12 \cdot s}{8^2(5^3-5)} = \frac{12 \cdot 334}{64(125-5)} = \frac{4008}{7680} = 0{,}52$ – такое значение свидетельствует о средней степени согласованности мнений экспертов.

Проверим значимость коэффициента конкордации с помощью χ^2 -критерия.

Рассчитаем значение χ^2 –критерия:

$\chi^2{}_{\text{расч}} = \frac{12 \cdot s}{8 \cdot 5(5+1)} = \frac{12 \cdot 334}{40 \cdot 6} = \frac{4008}{240} = 16{,}7.$

Для числа степеней свободы $f = 5 - 1 = 4$ и уровня значимости 0,05 найдём

$\chi^2{}_{\text{табл}} = 9{,}5.$

Так как $\chi^2{}_{\text{расч}} = 16{,}7 > \chi^2{}_{\text{табл}} = 9{,}5$, следовательно, коэффициент конкордации является значимым.