



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

Факультет «Кораблестроение и морская техника»

Кафедра «Управление качеством»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«МЕТРОЛОГИЯ»**

Ростов-на-Дону

2023

Составитель: ст. преп. Кошлякова И.Г.

УДК 006.91

Задания и методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине "Метрология"

Задания и метод. указания/ДГТУ, Ростов-на-Дону, 2023, 17 с.

Методические указания предназначены для студентов всех форм и профилей обучения по направлению 27.03.01 «Стандартизация и метрология», выполняющих курсовую работу по дисциплине «Метрология». В них рассмотрена структура работы, даны рекомендации по проведению анализа измерительной задачи, составлению методики измерений, проведению статистической обработки результатов прямых многократных измерений.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор докт. техн. наук, профессор М.С. Степанов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Управление качеством»
докт. техн. наук, профессор В.П. Димитров

В печать _____.____.2023 г.
Формат 60×84/16. Объем 1 усл. п. л.
Тираж 200 экз. Заказ №. ____.

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный технический университет, 2023

1. Общие положения

Цель курсовой работы (КР) – закрепление теоретических знаний и приобретение навыков в составлении методики измерений и статистической обработке результатов измерений.

Задание на КР формируется в соответствии с порядковым номером студента в списке группы и двумя последними цифрами номера зачетной книжки (приложение 3) и включает: описание объекта измерения, измеряемый параметр с указанием норм точности, доверительную вероятность, данные по результатам многократных измерений.

Пояснительная записка (ПЗ) оформляется в соответствии с ГОСТ 2.105-2019 и включает разделы:

1.1. Содержание.

1.2. Анализ измерительной задачи.

1.3. Методика измерений.

1.4. Статистическая обработка данных.

1.5. Заключение о годности измеряемого параметра.

1.6. Список использованных информационных источников.

2. Рекомендации по выполнению КР

2.1. Анализ измерительной задачи должен дать априорную измерительную информацию по следующим направлениям:

а) наименование измеряемой физической величины;

б) единица измерения;

в) физическая или математическая модель измеряемого объекта (параметра);

г) внешние факторы, влияющие на измеряемый параметр, способы их учета, устранения или компенсации;

д) обоснование выбора средства (средств) измерений, исходя из условий точности измерений, контролепригодности параметра, условий производства, экономичности (МИ 1967-89, РД 50-453-84);

е) вид измерений;

ж) обоснование выражения окончательного результата в форме доверительного интервала.

Следует учитывать, что любое измерение связано с погрешностями. Суммарная погрешность измерения Δ_{Σ} определяется погрешностями от четырех источников: средства измерений (СИ), метода измерений, условий измерений, оператора: $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{СИ} + \Delta_M + \Delta_{усл} + \Delta_O$,

где $\Delta_{СИ}$ – погрешность средства измерений; Δ_M – погрешность метода измерений; $\Delta_{усл}$ – погрешность от условий измерений; Δ_O – погрешность от действий оператора.

Из вышеназванных погрешностей основной составляющей погрешности измерений Δ_{Σ} является $\Delta_{СИ}$. Выбор СИ производится в предположении, что

$\Delta_M = \Delta_0 = 0$. На $\Delta_{\text{усл}}$ отводится 35% погрешности измерений. Тогда $\Delta_{\text{СИ}}$ составляет до 65% от погрешности измерений Δ_{Σ} . Чтобы погрешность измерений существенно не искажала результаты измерений и контроля, ее значение ограничивают условием, что $\Delta_{\Sigma} \leq 0,25T$, где T – допуск на измеряемый размер. При выборе конкретного СИ необходимо, чтобы ожидаемое значение измеряемой величины входило в диапазон измерений СИ, и предельно допустимая погрешность СИ не превышала расчетного значения $\Delta_{\text{СИ}}$.

2.2. Методика измерений (МИ) унифицирует требования к точности, средствам измерений, условиям их проведения, порядку получения и обработки данных, форме представления окончательного результата. МИ составляется в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009 и содержит следующие разделы:

а) назначение МИ. В этом разделе указывают область применения (объект измерений, наименование продукции и контролируемых параметров, область использования – для одного предприятия, отрасли, сети лабораторий и т.п.), наименование измеряемой величины, ее характеристики (диапазон, неинформативные параметры), характеристики объекта измерений, если они могут влиять на погрешность измерений (входное сопротивление, жесткость, состав пробы и т.п.);

б) условия измерений. Их параметры задают в виде номинальных значений и (или) границ диапазонов значений влияющих величин. При необратимых изменениях объекта измерений указывается продолжительность измерений;

в) требования к погрешности измерений или приписанные характеристики погрешности измерений. При отсутствии этих данных в документации на объект измерений погрешность измерений должна быть не более 25% от допуска на измеряемый параметр;

г) метод измерений. Раздел содержит описание приемов сравнения измеряемой величины с единицей;

д) средства измерений, вспомогательные устройства, материалы, растворы. Раздел содержит их перечень с обозначением стандарта или технических условий на них, обозначения типов (моделей) средств измерений, их метрологические характеристики (пределы измерений, класс точности, пределы допускаемых погрешностей и др.);

е) подготовка к выполнению измерений. Раздел содержит описание подготовительных работ непосредственно перед выполнением измерений (сборка схем, определение значений влияющих величин, подготовка и проверка режимов работы средств измерений, установка нуля, выдержка в рабочем состоянии, тестирование, подготовка объекта к измерениям);

ж) выполнение измерений. Раздел содержит перечень и описание последовательных операций, периодичность и число измерений, требования к представлению промежуточных и конечных результатов (число значащих цифр, форма регистрации результатов);

з) обработка результатов измерений. В разделе приводится алгоритм или порядок обработки, содержащий предварительный анализ данных, определения соответствия эмпирического распределения теоретическому нормальному закону, порядок статистической обработки, необходимые графики, формы таблиц промежуточных расчетов и окончательных результатов;

и) требования безопасности, охраны окружающей среды. Содержит требования, выполнение которых обеспечивает при измерениях безопасность труда, нормы производственной санитарии и охрану окружающей среды;

к) требования к квалификации операторов. Вводится в МИ при использовании сложных неавтоматизированных методов измерений и процедур обработки их результатов. Содержит сведения о профессии, образовании, практическом опыте лиц, допускаемых к выполнению измерений.

2.3. Статистическая обработка данных выполняется по следующим рекомендациям.

2.3.1. Выявляют переменную систематическую погрешность графическим методом, построив зависимость изменения результатов отдельных измерений во времени. Для этого:

- на график наносят точки с координатами: по оси ординат – значение результата измерения, по оси абсцисс – момент времени его получения или порядковый номер;

- соединяют точки отрезками прямой линии и определяют тенденцию изменения результатов измерений. Если тенденция не наблюдается, то считают, что переменная систематическая погрешность незначительна;

- при наличии тенденции (в большинстве случаев линейной) рассчитывают тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс $\operatorname{tg}\varphi$;

- рассчитывают величину систематической погрешности для каждого измерения: $\Delta_{ci} = \operatorname{tg}\varphi \cdot (i-1)$,

где i – порядковый номер измерения;

- исключают эту погрешность из результатов измерений.

2.3.2. Проверяют наличие грубых ошибок и промахов:

- полученные результаты располагают в вариационный ряд, крайние значения которого необходимо проверить. При расчете числовых характеристик не учитывается проверяемое значение;

- рассчитывают среднее арифметическое значение: $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$,

где x_i – значение i -го результата измерений; n – число измерений;

- рассчитывают среднее квадратическое отклонение (СКО):

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

- выбирают из вариационного ряда крайние значения x_{\max} и x_{\min} и определяют отношение: $t_{r1} = |x_{\max} - \bar{X}|/S$; $t_{r2} = |x_{\min} - \bar{X}|/S$;

- проверяют выполнение неравенства $t_{ri} < t_r$, где t_r определяется по приложению А для заданного уровня значимости $\alpha=1-P$. P – доверительная вероятность. Если число результатов измерений превышает 30, то для определения t_r можно воспользоваться формулой: $t_r = t_{P/2} \sqrt{1 - \frac{1}{n}}$, где $t_{P/2}$ – квантиль функции Лапласа для значения функции, равного $P/2$. Если неравенство не выполняется, данный результат измерения отбрасывается, как содержащий грубые погрешности;

- рассчитывают исправленные значения \bar{X} и S ;

- проверяют другие, вызывающие сомнение результаты.

2.3.3. Проверяют соответствие эмпирического распределения нормальному теоретическому закону, используя критерий согласия.

2.3.3.1. При $n \geq 50$ применяют критерий Пирсона χ^2 :

- вариационный ряд результатов измерений разбивают на r интервалов: при $n=50 \dots 100$, $r=7 \dots 9$; при $n=100 \dots 500$, $r=8 \dots 12$;

- рассчитывают ширину интервала $h = (x_{\max} - x_{\min})/r$;

- устанавливают границы интервалов: $[x_{\min}; x_{\min}+h]$, $[x_{\min}+h; x_{\min}+2h]$, $[x_{\min}+2h; x_{\min}+3h]$, ..., $[x_{\min}+(r-1)h; x_{\max}]$;

- подсчитывают абсолютную частоту m_i – число экспериментальных данных, попавших в каждый интервал;

- строят гистограмму – ступенчатую фигуру, состоящую из прямоугольников, основанием которых является ширина интервала, а высотой – относительная частота m_i/n ;

- если в какой-либо интервал попадает менее 5 данных, то уменьшают число интервалов разбиения гистограммы, перераспределяя данные;

- вычисляют вероятность p_i попадания результата измерений в каждый из интервалов гистограммы $[x_{k-1}; x_k]$ при нормальном законе распределения, используя функцию Лапласа $\Phi(t)$ (приложение Б):

$$p_i = \Phi[(x_k - \bar{X})/S] - \Phi[(x_{k-1} - \bar{X})/S],$$

- вычисляют показатель разности частот $\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(m_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$;

- проверяют выполнение неравенства $\chi^2 < \chi_{\alpha}^2$, где χ_{α}^2 – табличное значение χ^2 для уровня значимости α и числа степеней свободы $(r-3)$ по приложению В. Если неравенство не выполняется, то гипотезу о нормальности эмпирического распределения отвергают, и, пользуясь критерием Колмогорова-Смирнова, определяют вероятность соответствия эмпирического распределения нормальному закону распределения вероятностей.

Если гипотеза может быть принята, но для несколько большего уровня значимости, то дальнейшие расчеты можно проводить для соответственно меньшей доверительной вероятности Р.

2.3.3.2. При $n \leq 50$ используется составной критерий.

Критерий 1:

- вычисляют параметр $d = \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}| / (n \cdot S^*)$, где $S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}$;
- проверяют выполнение неравенства: $d_{1-q_1/2} \leq d < d_{q_1/2}$, где q_1 – выбранный уровень значимости; $d_{1-q_1/2}$, $d_{q_1/2}$ – табличные значения, определяемые по приложению Г.

Критерий 2:

- задаются уровнем значимости q_2 , так что $\alpha = q_1 + q_2$;
- определяют доверительную вероятность Р по приложению Д, исходя из n и q_2 ;
- определяют значение квантили $t_{p/2}$ функции Лапласа $\Phi(t)$ по приложению Б;
- рассчитывают $(S \cdot t_{p/2})$ и количество разностей $(x_i - \bar{X})$, превышающих $(S \cdot t_{p/2})$. Если это количество не более 1 для $10 \leq n \leq 20$ или не более 2 для $20 \leq n \leq 50$, то гипотеза по критерию 2 принимается.

В целом гипотеза о нормальности эмпирического распределения принимается, когда выполняются 1-й и 2-й критерии. Если гипотеза о соответствии нормальному распределению отклонена, то переходят к проверке по критерию Колмогорова-Смирнова.

2.3.3.3. В случае, когда вышеназванные критерии не дали однозначного вывода, применяют критерий Колмогорова-Смирнова:

- рассчитывают накопленные частоты для каждого из интервалов эмпирического распределения: $F_{\text{эк}} = \sum_{i=1}^k \frac{m_i}{n}$,

где m_i - абсолютные частоты в интервалах с 1-го по k -й;

- определяют теоретическую вероятность p_i попадания результата измерений в каждый из интервалов при нормальном распределении, используя функцию Лапласа (приложение Б) и рассчитывают накопленную частоту теоретического распределения: $F_{\text{тк}} = \sum_{i=1}^k p_i$;

- определяют наибольшую из разностей теоретической и эмпирической накопленных частот по интервалам: $D = \max |F_{\text{эк}} - F_{\text{тк}}|$;

- рассчитывают $\lambda = D \cdot \sqrt{n}$;

- определяют вероятность $P(\lambda)$ по приложению Е. Если эта вероятность мала, то гипотезу отбрасывают.

2.3.4. Порядок обработки экспериментальных данных определяется видом произведенных измерений.

2.3.4.1. При прямых многократных измерениях с равноточными значениями отсчета окончательный результат измерений должен быть представлен в форме доверительного интервала: $\bar{X} - t_p \cdot S / \sqrt{n} < X < \bar{X} + t_p \cdot S / \sqrt{n}$, где t_p – коэффициент Стьюдента при заданной доверительной вероятности Р (приложение Ж).

Если экспериментальные данные не подчиняются нормальному закону, то точность определения доверительного интервала невысока, и заданная доверительная вероятность не обеспечивается расчетом.

2.4. Заключение о годности контролируемого параметра делается на основании доверительного интервала. Если параметр нормируется полем допуска, то он считается годным, если доверительный интервал находится в пределах поля допуска. При нормировании одним предельным значением соответствующая граница доверительного интервала должна удовлетворять поставленному условию.

2.5. Список литературы составляется по правилам, изложенным в ГОСТ 7.1-2003.

Рекомендуемая литература

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация. Учебник для вузов -М.: Логос, 2009.

2. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Ч.1. Общая теория измерений.-С.-Пб.:Питер, 2010.

6. Кошлякова И.Г., Ваганов В.А., Атоян Т.В. Практикум по метрологии и стандартизации. Пособие к решению задач.- Ростов н/Д, Изд. центр ДГТУ, 2013.

Значения α -процентных точек распределения $tr = \frac{\max |x_i - \bar{x}|}{\sigma}$

Число наблюдений n	Уровень значимости α , %				
	0,1	0,5	1	5	10
3	1,414	1,414	1,414	1,414	1,412
4	1,732	1,730	1,728	1,710	1,689
5	1,994	1,982	1,972	1,917	1,869
6	2,212	2,183	2,161	2,067	1,996
7	2,395	2,344	2,310	2,182	2,093
8	2,547	2,476	2,431	2,273	2,172
9	2,677	2,586	2,532	2,349	2,238
10	2,788	2,680	2,616	2,414	2,294
11	2,884	2,760	2,689	2,470	2,343
12	2,969	2,830	2,753	2,519	2,387
13	3,044	2,892	2,809	2,563	2,426
14	3,111	2,947	2,859	2,602	2,461
15	3,171	2,997	2,905	2,638	2,494
16	3,225	3,042	2,946	2,670	2,523
17	3,274	3,083	2,983	2,701	2,551
18	3,320	3,120	3,017	2,728	2,577
19	3,361	3,155	3,049	2,754	2,601
20	3,400	3,187	3,079	2,779	2,623
21	3,436	3,217	3,106	2,801	2,644
22	3,469	3,245	3,132	2,823	2,664
23	3,500	3,271	3,156	2,843	2,683
24	3,529	3,295	3,179	2,862	2,701
25	3,556	3,318	3,200	2,880	2,718
26	3,582	3,340	3,220	2,897	2,734
27	3,606	3,360	3,239	2,913	2,749
28	3,629	3,380	3,258	2,929	2,764
29	3,651	3,399	3,275	2,944	2,778
30	3,672	3,416	3,291	2,958	2,792

$$\text{Значения функции } F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2703	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4813	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4874	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4986									
3,5	0,4998									
4,0	0,4999									

Приложение В

Значения, удовлетворяющие условию $p(\chi^2 > \chi_{\alpha}^2) = \alpha$

Степени свободы k	Уровень значимости α					
	0,200	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	1,64	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	3,22	4,61	5,98	7,38	9,21	10,60
3	4,64	6,25	7,81	9,35	11,30	12,80
4	5,99	7,78	9,49	11,10	13,30	14,90
5	7,29	9,24	11,10	12,80	15,10	16,70
6	8,56	10,60	12,60	14,40	16,80	18,50
7	9,80	12,00	14,10	16,00	18,50	20,30
8	11,00	13,40	15,50	17,50	20,10	22,00
9	12,20	14,70	16,90	19,00	21,70	23,60
10	13,40	16,00	18,30	20,50	23,20	25,20
11	14,60	17,30	19,70	21,90	24,70	26,80
12	15,80	18,50	21,00	23,30	26,20	28,30
13	17,00	19,80	22,40	24,70	27,70	29,80
14	18,20	21,10	23,70	26,10	29,10	31,30
15	19,30	22,30	25,00	27,50	30,60	32,80
16	20,50	23,50	26,30	28,80	32,00	34,30
18	22,80	26,00	28,90	31,50	34,80	37,20
20	25,00	28,40	31,40	34,20	37,60	40,00
22	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8
24	29,6	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6
26	31,8	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3
28	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0
30	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7
35	41,8	46,1	49,9	53,2	57,3	60,3
40	47,3	51,8	55,8	59,3	63,7	66,8
45	52,7	57,5	61,7	65,4	70,0	73,2
50	58,2	63,2	67,5	71,4	76,2	79,5
55	63,6	68,8	73,3	77,4	82,3	85,7
60	69,0	74,4	79,1	83,3	88,4	92,0
65	74,4	80,0	84,8	89,2	94,4	98,1
70	79,7	85,5	90,5	95,0	100,4	104,2
75	85,1	91,1	96,2	100,8	106,4	110,3
80	90,4	96,6	101,9	106,6	112,3	116,3
85	95,7	102,1	107,5	112,4	118,2	122,3
90	101,1	107,6	112,1	118,1	124,1	128,3
95	106,4	113,0	118,8	123,9	130,0	134,2
100	111,7	118,5	124,3	129,6	135,8	140,2

Приложение Г

Значения процентных точек q для распределения $d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{A}|}{n \cdot S^*}$

Уровень значимости q, %		Число результатов измерений в группе, n										
		11	16	21	26	31	36	41	46	51	61	71
1-q/2	99,0	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74
	95,0	0,72	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
	90,0	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
q/2	10,0	0,89	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83
	5,0	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84
	1,0	0,94	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85

Приложение Д

Значения доверительной вероятности Р для составного критерия

n		10	11-14	15-20	21,22	23	24-27	28-32	33-35	36-49
m		1	1	1	2	2	2	2	2	2
q/2·100%	1,00	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
	2,0	0,98	0,98	0,99	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
	5,0	0,96	0,97	0,98	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98

Приложение Е

Значения доверительной вероятности P(λ) для критерия
Колмогорова-Смирнова

λ	P(λ)	λ	P(λ)	λ	P(λ)
0,0	1,000	0,7	0,711	1,4	0,040
0,1	1,000	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1,000	0,9	0,393	1,6	0,012
0,3	1,000	1,0	0,270	1,7	0,006
0,4	0,997	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,964	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2,0	0,001

Коэффициент распределения Стьюдента

Число степеней свободы f	При доверительной вероятности Р				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,31	12,71	31,82	63,68	636,62
2	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,92
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	2,02	2,57	3,37	4,06	6,87
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
14	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

Таблица 1–Характеристики измеряемых величин

№ п.п. в списке группы	Измеряемая величина			Предельно допустимые отклонения от номинального значения	
	Наименование	Единица измерения	Множитель к данным табл.2	нижнее	верхнее
1	Длина вала	мм	10	-0,02	0
2	Угол поворота выходного вала редуктора	угл.град.	1	-0,08	+0,08
3	Время	мин.	1	-0,01	+0,01
4	Объем жидкости	см ³	1	-0,05	–
5	Линейная скорость автомобиля	км/час	10	-0,5	+0,5
6	Угловая скорость вращения выходного вала привода	об/мин	10	-3	+3
7	Линейное ускорение	м/с ²	10 ⁻¹	-0,01	+0,01
8	Угловое ускорение	об/с ²	10 ⁻¹	-0,05	+0,05
9	Диаметр отверстия	мм	1	0	0,035
10	Масса сыпучего пищевого продукта	г	10 ²	-2	+2
11	Давление в пневмосети	Па	10	-2	0
12	Расход газа	м ³ /час	10	–	+0,4
13	Кислотность раствора	pH	10 ⁻¹	-1	+1
14	Концентрация соли в растворе	%	1	-0,5	0
15	Плотность твердого тела	кг/м ³	10 ²	0	+2
16	Толщина металлического покрытия	мкм	1	-1	0
17	Сила постоянного тока	А	10 ⁻¹	0	+0,1
18	Расход холодной воды	л/час	1	–	+0,5
19	Напряжение	В	10	-0,2	+6
20	Плотность жидкости (раствора)	кг/м ³	10 ²	-6	+10
21	Сила переменного тока	А	10 ⁻¹	0	+0,25
22	Электрическое сопротивление	Ом	1	-10	+1
23	Расход бензина	л/час	10 ⁻¹	-0,1	0,02
24	Толщина диэлектрика	мм	1	-0,5	0
25	Емкость конденсатора	мкФ	1	-0,5	+1,5

Продолжение таблицы 1

26	Частота переменного тока в эл. цепи	Гц	10^2	-20	+20
27	Индуктивность	Гн	1	0	0,2
28	Расход горячей воды	л/час	1	–	+1,2
29	Добротность катушки индуктивности	безразм.	1	-2	+2
30	Тангенс угла потерь конденсатора	безразм.	10^{-2}	-0,002	+0,002
31	Температура в муфельной печи	°С	10	-5	+5

Таблица 2 – Априорные данные для измеряемых величин

Последняя цифра № зачетной книжки	Номинальные значения измеряемых величин	Доверительная вероятность
0	5	0,90
1	12	0,97
2	28	0,95
3	50	0,99
4	8	0,98
5	18	0,96
6	35	0,98
7	46	0,95
8	6	0,90
9	10	0,94

В качестве исходных данных для статистической обработки принимаются данные из таблицы 3, целая часть которых соответствует номинальному значению измеряемой величины.

Таблица 3 – Результаты многократных измерений

№ измерения	Номинальное значение измеряемой величины									
	5	6	8	10	12	18	28	35	46	50
1	5,010	6,320	7,903	10,326	12,006	17,902	28,136	35,000	45,535	50,004
2	5,008	6,028	7,654	10,002	12,020	18,008	28,004	35,010	45,780	50,040
3	5,021	6,036	8,008	10,010	11,990	17,932	27,440	35,552	45,950	50,062
4	5,035	5,980	8,210	9,992	11,982	17,787	27,592	34,980	46,013	50,012
5	5,04	5,786	8,025	9,999	12,035	17,648	27,925	34,992	46,002	49,906
6	5,036	6,046	7,912	10,004	12,050	18,021	28,052	34,906	46,112	49,892
7	5,03	5,875	7,846	9,894	12,046	18,205	28,012	34,940	46,000	49,270
8	5,012	5,740	8,002	10,014	11,890	18,020	28,030	34,990	45,989	48,010
9	5,12	6,052	8,120	10,030	11,680	17,954	28,004	35,101	45,802	49,994
10	5,06	6,024	7,802	9,996	11,952	18,115	27,990	35,050	45,938	50,106
11	5,02	5,926	7,926	10,052	12,120	17,903	27,882	35,002	46,014	50,040
12	4,98	5,898	7,842	10,046	12,012	17,604	27,704	35,010	46,096	50,002
13	4,982	6,058	8,010	10,018	12,006	17,968	28,008	35,144	46,006	50,025
14	5,018	6,020	8,012	9,872	11,860	18,044	28,062	34,962	45,804	50,032
15	5,052	6,202	8,000	9,966	11,798	18,010	27,936	34,969	45,638	50,018
16	5,110	6,010	8,014	9,958	11,935	18,003	27,904	34,906	46,022	49,890
17	5,028	6,038	7,802	10,028	12,022	17,842	28,013	35,029	46,018	49,652
18	5,036	6,104	7,796	10,144	12,115	18,000	28,003	35,202	46,040	49,909
19	5,042	5,890	7,489	10,025	12,003	17,902	28,150	35,014	45,799	49,687
20	5,015	5,296	8,038	10,000	12,011	17,816	27,604	35,018	45,946	49,950
21	4,900	6,044	8,025	9,899	11,902	18,112	27,305	35,090	46,028	50,023
22	4,872	6,110	8,102	9,464	11,985	17,922	27,922	34,744	46,603	50,014
23	4,858	6,032	7,796	9,936	11,920	18,016	28,108	34,908	46,058	50,280
24	4,995	6,012	7,510	9,808	11,435	17,504	28,040	34,596	46,012	49,692
25	5,040	6,006	7,830	10,080	11,999	18,102	28,003	35,082	46,004	49,850
26	5,038	5,625	8,048	10,030	12,027	17,798	28,000	35,023	45,805	49,956
27	4,950	5,964	8,004	9,780	12,088	17,962	28,006	35,006	45,962	50,004
28	4,999	5,782	7,996	9,970	12,024	17,996	27,866	35,000	45,987	50,025
29	5,054	5,958	7,850	10,100	12,202	18,002	27,928	34,922	45,664	50,080
30	5,025	6,002	8,032	10,005	11,804	18,000	27,902	34,987	45,768	50,015
31	5,220	6,009	8,160	9,760	11,951	18,036	28,030	34,954	46,032	50,034
32	5,005	6,100	8,018	9,940	12,005	18,026	28,004	35,022	46,034	49,904
33	4,896	6,035	7,852	10,006	12,000	18,004	28,021	35,004	46,010	49,932
34	4,962	5,990	7,990	10,012	12,027	17,846	28,045	34,802	46,016	49,505
35	4,780	5,999	8,021	9,958	12,080	17,934	27,801	34,951	45,704	49,992
36	5,016	6,015	8,036	9,990	12,028	17,702	28,014	35,044	45,694	50,016
37	5,036	5,768	8,040	9,690	12,011	18,010	27,806	35,016	45,938	50,056

Продолжение таблицы 3

№ измерения	Номинальное значение измеряемой величины									
	5	6	8	10	12	18	28	35	46	50
38	5,108	5,899	7,906	10,032	12,030	18,030	27,918	35,028	45,952	50,043
39	5,004	5,988	7,899	10,014	11,590	18,012	27,958	34,802	45,948	50,012
40	4,792	6,068	7,692	10,016	11,950	17,805	28,000	34,925	46,042	49,991
41	4,698	6,029	8,016	9,856	11,981	17,856	28,104	34,978	46,068	49,923
42	5,032	6,095	8,023	9,994	12,038	18,102	28,122	34,999	46,024	49,989
43	5,048	6,014	8,004	10,046	12,001	17,960	28,103	35,015	46,006	49,952
44	4,925	6,022	7,814	10,006	11,954	17,864	28,022	35,023	45,958	50,022
45	4,940	6,030	7,920	10,029	12,360	18,050	27,852	35,056	45,972	50,038
46	5,002	5,590	8,026	10,018	12,006	18,062	27,909	35,109	45,932	50,023
47	5,206	5,820	8,100	10,008	11,930	17,704	27,340	34,864	45,800	50,034
48	4,996	6,019	8,006	9,899	11,858	17,666	27,754	34,969	45,814	49,950
49	5,050	6,002	7,898	9,950	11,900	17,900	28,002	35,092	46,062	49,968
50	4,888	5,505	7,926	9,940	12,029	18,030	28,041	35,046	46,003	49,980
51	4,854	6,122	7,952	10,037	12,006	18,050	28,015	35,017	46,112	49,996
52	5,075	6,140	8,458	10,025	11,796	18,012	27,936	35,003	46,002	50,084
53	5,001	5,735	7,953	10,006	11,954	18,034	27,854	34,940	45,953	50,032
54	4,749	6,130	8,004	9,892	12,003	17,994	27,931	34,894	45,896	50,018
55	5,101	6,008	8,007	9,956	12,046	17,991	28,014	35,101	45,959	50,005