

Глава 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Основы теории случайных ошибок и методов оценки случайных погрешностей в измерениях

Исследователь должен одновременно с производством опытов и измерений проводить предварительную, а затем и окончательную обработку результатов измерений, их анализ, что позволяет корректировать эксперимент, контролировать и улучшать методику в ходе опыта.

Анализ случайных погрешностей основывается на теории случайных ошибок. Он даёт возможность с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и оценить возможные ошибки.

Основу теории случайных ошибок составляют следующие предположения:

- большие погрешности встречаются реже, чем малые, так как вероятность появления погрешности уменьшается с ростом ее величины;
- при большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака встречаются одинаково часто;
- при бесконечно большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению всех результатов измерений, а появление того или иного результата измерения как случайного события описывается нормальным законом распределения.

Совокупность измерений может быть генеральной и выборочной. *Генеральная совокупность* – это все множество возможных значений изменений x_i или возможных значений погрешности Δx_i .

При *выборочной совокупности* число измерений n ограничено и в каждом случае строго определяется. Обычно считают, что если $n > 30$, то среднее значение совокупности измерений \bar{x} достаточно точно приближается к истинному значению.

Теория случайных ошибок позволяет оценить точность и надежность измерения при данном количестве замеров или определить минимальное количество замеров, гарантирующее требуемую точность и надежность измерений. Также необходимо исключить возможность появления грубых ошибок и определить достоверность полученных результатов [3].

5.2. Интервальная оценка измерений с помощью доверительной вероятности

Для нормального закона распределения общей оценочной характеристикой измерения и большой выборки являются дисперсия D и коэффициент вариации k_b :

$$D = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad k_b = \sigma / \bar{x}, \quad (5.1)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение.

Коэффициент вариации характеризует изменчивость измерений, а *дисперсия* их однородность. Чем выше k_b , тем больше изменчивость измерений относительно средних значений. k_b оценивает также разброс при оценке нескольких выборок. Чем выше D , тем больше разброс измерений.

Доверительный интервал измерения – это интервал значений x_b , в который попадает истинное значение x_d измеряемой величины с заданной вероятностью. Он характеризует точность измерения данной выборки.

Доверительная вероятность или достоверность измерения – это вероятность, что истинное значение измеряемой величины попадает в данный доверительный интервал, то есть в зону $a \leq x_d \leq b$. Эта величина характеризует достоверность измерений и определяется в процентах или в долях единицы. Доверительная вероятность p_d описывается выражением

$$p_d = p[a \leq x_d \leq b] = \frac{1}{2} \left[\frac{\varphi(b - \bar{x})}{\sigma} - \frac{\varphi(a - \bar{x})}{\sigma} \right],$$

где $\varphi(t)$ – интегральная функция Лапласа, численные значения которой приведены в табл. 5.1.

$$\varphi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_i} e^{-t^2/2} dt.$$

Аргументом этой функции является отношение μ к среднеквадратичному отклонению σ , то есть

$$t = \mu / \sigma, \quad (5.2)$$

где t – гарантийный коэффициент.

$$\mu = b - \bar{x}; \quad \mu = -(a - \bar{x}).$$

Если на основе определенных данных установлена доверительная вероятность p_d , чаще её принимают равной 0,90; 0,95; 0,9973, то устанавливается точность измерений или доверительный интервал 2μ на основе соотношения

$$p_d = \phi(\mu / \sigma).$$

Таблица 5.1

Интегральная функция Лапласа

t	p_d	t	p_d	t	p_d
0,00	0,0000	0,75	0,5467	1,50	0,8664
0,50	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904
0,15	0,1192	0,90	0,6319	1,65	0,9011
0,20	0,1585	0,95	0,6579	1,70	0,9109
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357
0,40	0,3108	1,15	0,7419	1,90	0,9426
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,25	0,9756
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,50	0,9876
0,65	0,4843	1,40	0,8385	3,00	0,9973
0,70	0,5161	1,45	0,8529	4,00	0,9999

Тогда половина доверительного интервала

$$\mu = \sigma \arg \phi(p_d) = \sigma t, \quad (5.3)$$

где $\arg \phi(p_d)$ – аргумент функции Лапласа, а при $n < 30$ – функции Стьюдента (табл. 5.2).

Приведем пример: выполнено 30 измерений прочности дорожной одежды участка автомобильной дороги при среднем модуле упругости одежды $E = 170$ МПа и вычисленном значении среднеквадратического отклонения $\sigma = \pm 3,1$ МПа.

Требуемую точность измерений можно определить для разных уровней доверительной вероятности $p_d = 0,9011; 0,9545; 0,9973$. Значения t принимаем по табл. 5.1.

Таблица 5.2

Коэффициент Стьюдента α_{ct}

n	p_d					
1	0,80	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
2	3,080	6,31	12,71	63,70	127,30	637,20
3	1,886	2,92	4,30	9,92	14,10	31,60
4	1,638	2,35	3,19	5,84	7,50	12,94
5	1,533	2,13	2,77	4,60	5,60	8,61
6	1,476	2,02	2,57	4,03	4,77	6,86
7	1,440	1,94	2,45	3,71	4,32	5,96
8	1,415	1,90	2,36	3,50	4,03	5,40
9	1,397	1,86	2,31	3,36	3,83	5,04
10	1,383	1,83	2,26	3,25	3,69	4,78
12	1,363	1,80	2,20	3,11	3,50	4,49
14	1,350	1,77	2,16	3,01	3,37	4,22
16	1,341	1,75	2,13	2,95	3,29	4,07
18	1,333	1,74	2,11	2,90	3,22	3,96
20	1,328	1,73	2,09	2,86	3,17	3,88
30	1,316	1,70	2,04	2,75	3,14	3,65
40	1,306	1,68	2,02	2,70	3,12	3,55
50	1,298	1,68	2,01	2,68	3,09	3,50
60	1,290	1,67	2,00	2,66	3,06	3,46
∞	1,282	1,64	1,96	2,58	2,81	3,29

Примечание: n – число параллельных серий опытов

В этом случае соответственно $\mu = \pm 3,1 \cdot 1,65 = \pm 5,1$; $\pm 3,1 \cdot 2,0 = \pm 6,2$; $\pm 3,1 \times 3,0 = \pm 9,3$ МПа. Следовательно, для данного средства и метода измерений доверительный интервал возрастает примерно в два раза, если p_d увеличить только на 10 %.

Если необходимо определить достоверность измерений для установленного доверительного интервала, например, $\mu = \pm 7$ МПа, то по формуле (5.2)

$$t = \mu / \sigma = 7 / 3,1 = 2,26.$$

По табл. 5.1 для $t = 2,26$ определяем $p_d = 0,9764$. Это значит, что в заданный доверительный интервал не попадают только три измерения из 100.

Уравнением значимости называют значение $(1 - p_d)$. Из него следует, что при нормальном законе распределения погрешность, превы-

шающая доверительный интервал, будет встречаться один раз из n_u измерений,

где

$$n_u = p_d / (1 - p_d), \quad (5.4)$$

или приходится забраковать одно из измерений.

По данным приведенного выше примера можно вычислить количество измерений, из которых одно измерение превышает доверительный интервал.

По формуле (5.4) при $p_d = 0,9$ получим

$$n_u = 0,9 / (1 - 0,9) = 9 \text{ измерений.}$$

При $p_d = 0,95 \Rightarrow n_u = 19$, а при $p_d = 0,9973 \Rightarrow n_u = 367$, измерений.

Определение минимального количества измерений. Экспериментатор при проведении опытов с заданной точностью и достоверностью должен знать то количество измерений, при котором будет уверен в положительном результате. Поэтому одной из первоочередных задач при статистических методах оценки является установление минимального, но достаточного числа измерений для данных условий. Задача сводится к установлению минимального объема выборки (числа измерений) N_{\min} при заданных значениях доверительного интервала 2μ и доверительной вероятности p_d . При выполнении измерений необходимо знать их точность.

$$\Delta = \sigma_0 \sqrt{x}, \quad (5.5)$$

где σ_0 – среднеарифметическое значение среднеквадратичного отклонения σ , $\sigma_0 = \sigma / \sqrt{n}$.

Значение σ_0 называют *средней ошибкой*. Доверительный интервал ошибки измерения Δ определяется аналогично для измерений $\mu = t\sigma_0$. С помощью t легко определить доверительную вероятность ошибки измерений из табл. 5.1.

Довольно часто в экспериментальных исследованиях по заданной точности Δ и доверительной вероятности измерения определяют минимальное количество измерений, гарантирующих требуемые значения Δ и p_d .

Аналогично уравнению (5.3) с учетом (5.5) можно получить

$$\mu = \sigma \arg \varphi(p_d) = \sigma_0 / \sqrt{n} \cdot t. \quad (5.6)$$

При $N_{\min} = n$ получаем

$$N_{\min} = \sigma^2 t^2 / \sigma_0^2 = k_b^2 t^2 / \Delta^2, \quad (5.7)$$

где k_b – коэффициент изменчивости или вариации, %; Δ – точность измерений, %.

Для определения N_{\min} может быть принята следующая последовательность вычислений:

- 1) проводится предварительный эксперимент с количеством измерений n , которое составляет в зависимости от трудоемкости опыта от 20 до 50;
- 2) вычисляется среднеквадратичное отклонение σ по формуле (5.1);
- 3) в соответствии с поставленными задачами эксперимента устанавливается требуемая точность измерений Δ , которая не должна превышать точности прибора;
- 4) устанавливается нормированное отклонение t , значение которого обычно зависит от точности метода или задается;
- 5) по формуле (5.7) определяют N_{\min} , и тогда в дальнейшем процессе эксперимента число измерений не должно быть меньше N_{\min} .

Например, комиссия при приемке сооружения в качестве одного из параметров замеряет его ширину. Согласно инструкции требуется выполнить 25 измерений; допускаемое отклонение параметра $\pm 0,1$ м. Если предварительно вычисленное значение $\sigma = 0,4$ м, то можно определить, с какой достоверностью комиссия оценит данный параметр.

Согласно инструкции $\Delta = 0,1$ м. Из формулы (5.7) получим

$$t = \sqrt{n} \frac{\Delta}{\sigma} = \sqrt{25} \frac{0,1}{0,4} = 1,25.$$

В соответствии с табл. 5.1 при $t = 1,25$ доверительная вероятность $p_d = 0,79$. Это низкая вероятность. Погрешность, превышающая доверительный интервал $2\mu = 0,2$ м, согласно выражению (5.4) будет встречаться $0,79/(1-0,79) = 3,37$, то есть один раз из четырех измерений. Это недопустимо. Поэтому необходимо вычислить минимальное количество измерений с доверительной вероятностью p_d , равной 0,9 и 0,95. По формуле (5.7) при $p_d = 0,90$ имеем

$$N_{\min} = 0,4^2 \cdot 1,65^2 / 0,1^2 = 43 \text{ измерения}$$

при $p_d = 0,95$ $N_{\min} = 64$ измерения, что значительно превышает установленные 25 измерений.

Оценки измерений с использованием σ и σ_0 с помощью приведенных методов справедливы при $n > 30$.

В 1908 году английский математик У. Госсет (псевдоним Стьюдент) предложил метод для нахождения границы доверительного интервала при малых значениях n , который применяют и сегодня. Кривые распределения Стьюдента в случае $n \rightarrow \infty$ (практически при $n > 20$) переходят в кривые нормального распределения (рис. 5.1).

Доверительный интервал для малой выборки

$$\mu_{ct} = \sigma_0 \alpha_{ct}, \quad (5.8)$$

где α_{ct} – коэффициент Стьюдента, принимаемый по табл. 5.2 в зависимости от значения доверительной вероятности p_d .

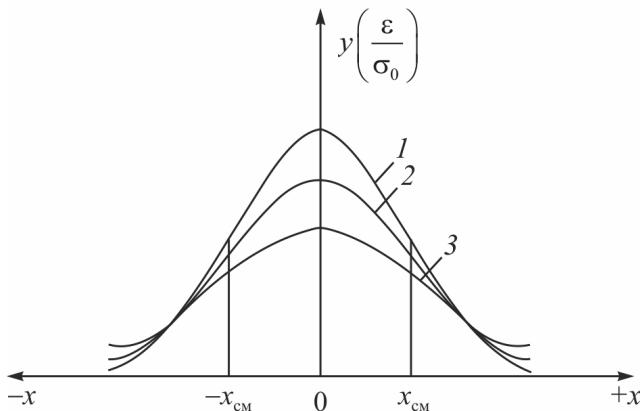


Рис. 5.1. Кривые распределения Стьюдента: 1 – $n \rightarrow \infty$, 2 – $n = 10$, 3 – $n = 2$

Зная μ_{ct} , можно вычислить действительное значение изучаемой величины для малой выборки,

$$x_d = \bar{x} \pm \mu_{ct}. \quad (5.9)$$

Возможна и другая постановка задачи. По n известных измерений малой выборки необходимо определить доверительную вероятность p_d при условии, что погрешность среднего значения не выйдет за пределы $\pm \mu_{ct}$. Этую задачу решают в следующей последовательности.

Вначале вычисляется среднее значение \bar{x} , σ_0 и $\alpha_{ct} = \mu_{ct} / \sigma_0$. Затем с помощью величины α_{ct} , известного n и табл. 5.2 определяется доверительная вероятность.

В процессе обработки экспериментальных данных следует исключать грубые ошибки ряда. Появление таких ошибок вполне вероятно, а их наличие серьезно может повлиять на результат измерений. Но прежде чем исключить то или иное измерение, необходимо убедиться, что это действительно грубая ошибка, а не отклонение вследствие статистического разброса.

Известно несколько методов определения грубых ошибок статистического ряда. Наиболее простым способом из них является правило трех сигм: разброс случайных величин от среднего значения не должен превышать

$$x_{\max, \min} = \bar{x} \pm 3\sigma. \quad (5.10)$$

Наиболее достоверными являются методы, базирующиеся на использовании доверительного интервала. Например, имеется статистический ряд малой выборки, подчиняющийся закону нормального распределения.

При наличии грубых ошибок критерии их появления вычисляются по формулам

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{(x_{\max} - \bar{x})}{\sigma} \sqrt{\frac{n-1}{n}}, \\ \beta_2 = \frac{(\bar{x} - x_{\min})}{\sigma} \sqrt{\frac{n-1}{n}}. \end{cases} \quad (5.11)$$

Максимальные значения β_{\max} , возникающие вследствие статистического разброса, в зависимости от доверительной вероятности приведены в табл. 5.3. Если $\beta_1 > \beta_{\max}$, то значение x_{\max} необходимо исключить из статистического ряда как грубую погрешность. При $\beta_2 < \beta_{\max}$ исключается величина x_{\min} . После исключения грубых ошибок определяют новые значения x и σ из $(n-1)$ или $(n-2)$ измерений.

Для малой выборки применяют также второй метод установления грубых ошибок, который основан на использовании критерия В.И. Романовского.

При использовании этого метода методика выявления грубых ошибок сводится к следующему. Задаются доверительной вероятностью p_d и

по табл. 5.4 в зависимости от n находят коэффициент q и вычисляют предельно допустимую абсолютную ошибку отдельного измерения:

$$\varepsilon_{\text{пп}} = \sigma_q. \quad (5.12)$$

Таблица 5.3

Критерий появления грубых ошибок

n	β_{\max} при p_d			n	β_{\max} при p_d		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Таблица 5.4

Коэффициент для вычисления предельно допустимой ошибки измерения

n	Значения q при p_d			
	0,95	0,98	0,99	0,995
2	15,56	38,97	77,96	779,7
3	4,97	8,04	11,46	36,5
4	3,56	5,08	6,58	14,46
5	3,04	4,10	5,04	9,43
6	2,78	3,64	4,36	7,41
7	2,62	3,36	3,96	6,37
8	2,51	3,18	3,71	5,73
9	2,43	3,05	3,54	5,31
10	2,37	2,96	3,41	5,01
12	2,29	2,83	3,23	4,62
14	2,24	2,74	3,12	4,37
16	2,20	2,68	3,04	4,20
18	2,17	2,64	3,00	4,07
20	2,15	2,60	2,93	3,98
∞	1,96	2,33	2,58	3,29

Если $\bar{x} - x_{\max} > \varepsilon_{\text{пр}}$, то измерение x_{\max} исключают из ряда наблюдений. Этот метод более требователен к очистке ряда.

Также при анализе измерений для приближенной оценки можно применять следующую методику:

– вычислить по (5.1) среднеквадратичное отклонение σ , определить с помощью (5.5) σ_0 ;

– принять доверительную вероятность p_d и найти доверительные интервалы μ_{ct} с помощью (5.8);

– окончательно установить действительное значение измеряемой величины x_d по формуле (5.9).

Для более глубокого анализа экспериментальных данных рекомендуется такая последовательность:

1) после получения экспериментальных данных в виде статистического ряда его анализируют и исключают систематические ошибки;

2) анализируют ряд в целях обнаружения грубых ошибок и промахов; устанавливают подозрительные значения x_{\max} и x_{\min} ; определяют среднеквадратичное отклонение σ , вычисляют по формуле (5.11) критерии β_1 и β_2 и сопоставляют их с β_{\max} и β_{\min} ; исключают при необходимости из статистического ряда x_{\max} или x_{\min} и получают новый ряд из новых членов;

3) вычисляют среднеарифметическое значение \bar{x} , погрешности отдельных измерений ($\bar{x} - x_i$) и среднеквадратичное отклонение очищенного ряда σ ;

4) находят среднеарифметическое значение среднеквадратичного отклонения σ_0 серии измерений и коэффициент вариации k_v ;

5) при большой выборке задаются доверительной вероятностью $p_d = \varphi(t)$ или уровнем значимости $(1 - p_d)$ и по табл. 5.1 определяют значения t ;

6) при малой выборке ($n < 30$) в зависимости от принятой доверительной вероятности p_d и числа членов ряда n принимают коэффициент Стьюдента α_{ct} ; с помощью формулы (5.2) для большой выборки или (5.8) для малой выборки определяют доверительный интервал;

7) по формуле (5.9) устанавливают действительное значение исследуемой величины;

8) оценивают относительную погрешность (%) серии измерений при заданной доверительной вероятности p_d :

$$\delta = \frac{\delta_0 \alpha_{ct}}{\bar{x}} 100. \quad (5.13)$$

Если погрешность серии измерений соизмерима с погрешностью прибора $B_{\text{пр}}$, то границы доверительного интервала будут определяться по формуле

$$\mu_{ct} = \sqrt{\sigma_0^2 \alpha_{cm}^2 + \left[\frac{\alpha_{ct}(\infty)}{3} \right]^2}. \quad (5.14)$$

Этой формулой следует пользоваться при $\alpha_{ct}\sigma_0 \leq 3B_{\text{пр}}$. Если же $\alpha_{ct}\sigma_0 > 3B_{\text{пр}}$, то доверительный интервал вычисляют с помощью формул (5.1) и (5.9).

Например, имеется 18 измерений (табл. 5.5). Если анализ средств и результатов измерений показал, что систематических ошибок в эксперименте не обнаружено, то можно выяснить, не содержат ли измерения грубых ошибок. Если воспользоваться первым методом (критерием β_{\max}), то необходимо вычислить среднеарифметическое \bar{x} и отклонение σ . При этом удобно пользоваться формулой

$$\bar{x} = \bar{x}' + (x_i - \bar{x}') / n,$$

где \bar{x}' – среднее произвольное число. Для вычисления \bar{x} , например, можно принять произвольно $\bar{x}' = 75$. Тогда $x = 75 - 3/18 = 74,83$.

Таблица 5.5

Результаты измерений и их обработки

x_i	$x_i - \bar{x}'$	$x_i - \bar{x}$	$(\bar{x} - x_i)^2$
67	-8	-7,83	64
67	-8	-7,83	64
68	-7	-6,83	49
68	-7	-6,83	49
69	-6	-5,83	36
70	-5	-4,83	25
71	-4	-3,83	16
73	-2	-1,83	4
74	-1	-0,83	1
75	0	+0,17	0
76	+1	+1,17	1
77	+2	+2,17	4
78	+3	+3,17	9

Окончание табл. 5.5

x_i	$x_i - \bar{x}'$	$x_i - \bar{x}$	$(\bar{x} - x_i)^2$
79	+4	+4,17	16
80	+5	+5,17	25
81	+6	+6,17	36
82	+7	+7,17	49
92	+17	+17,17	289
$\bar{x}' = 74,83$	$\Sigma = -3$	Проверка - 46,5; +46,5	$\Sigma = 737$

В формуле (5.1) значение $(\bar{x} - x_i)^2$ можно найти более простым методом:

$$(\bar{x} - x_i)^2 = \sum \left[(x_i - \bar{x}') - \frac{(x_i - \bar{x}')^2}{n} \right].$$

В данном случае

$$(\bar{x} - x_i)^2 = 737 - 3^2 / 18 = 736,5.$$

По (5.1)

$$\sigma = 736,5 / (18 - 1) = 6,58,$$

коэффициент вариации

$$k_B = 100 \cdot 6,58 / 74,83 = 8,8 \%,$$

следовательно,

$$\beta_1 = \frac{92 - 74,83}{6,58 \sqrt{\frac{18-1}{18}}} = 2,68.$$

Как видно из табл. 5.3, при доверительной вероятности $p_d = 0,99$ и $n = 18$ $\beta_{max} = 2,90$. Поскольку $2,68 < \beta_{max}$, измерение 92 не является грубым промахом. Если $p_d = 0,95$, то $\beta_{max} = 2,58$, и тогда значение 92 следует исключить.

Если применить правило 3σ , то

$$x_{max,min} = 74,82 \pm 3 \cdot 6,58 = 94,6 \dots 55,09,$$

то есть измерение 92 следует оставить.

В случае когда измерение 92 исключается, $\bar{x}' = 73,8$ и $\sigma = 5,15$.

Для всей серии измерений при $n = 18$ среднеарифметическое среднеквадратичного отклонения $\sigma_0 = 5,15 / 17 = 1,25$.

Поскольку $n < 30$, ряд следует отнести к малой выборке и доверительный интервал вычисляется с применением коэффициента Стьюдента $\alpha_{\text{ст}}$. По табл. 5.2 принимается доверительная вероятность 0,95, и тогда при $n = 18$ $\alpha_{\text{ст}} = 2,11$; если $n = 17$, то $\alpha_{\text{ст}} = 2,12$.

При $n = 18$ доверительный интервал

$$\mu_{\text{ст}} = \pm 1,55 \cdot 2,11 = \pm 3,2,$$

при $n = 17$

$$\mu_{\text{ст}} = \pm 1,25 \cdot 2,12 = \pm 2,7.$$

Действительное значение изучаемой величины

при $n = 18 \Rightarrow x_{\text{д}} = 74,8 \pm 3,2$,

при $n = 17 \Rightarrow x_{\text{д}} = 73,8 \pm 2,7$.

Относительная погрешность результатов серии измерений

при $n = 18 \delta = (3,2 \cdot 100)/74,8 = 4,3 \%$;

при $n = 17 \delta = (2,7 \cdot 100)/73,8 = 3,7 \%$.

Таким образом, если принять $x_i = 92$ за грубый промах, то погрешность измерения уменьшится с 4,3 до 3,7 %, то есть на 14 %.

Если необходимо определить минимальное количество измерений при их заданной точности, проводят серию опытов и вычисляют σ , затем с помощью формулы (5.7) определяют N_{\min} .

В рассмотренном случае $\sigma = 6,58$; $k_{\text{в}} = 8,91 \%$. Если задана точность $\Delta = 5$ и 3 % при доверительной вероятности $p_{\text{д}} = 95 \%$, то $\alpha_{\text{ст}} = 2,11$. Следовательно, при $\Delta = 5$

$$N_{\min} = (8,91^2 \cdot 2,11^2)/5^2 = 14,$$

а при $\Delta = 3 \%$

$$N_{\min} = (8,91^2 \cdot 2,11^2)/3^2 = 40.$$

Таким образом, требование повышения точности измерения, но не выше точности прибора приводит к значительному увеличению повторяемости опытов.

В процессе экспериментальных исследований часто приходится иметь дело с косвенными измерениями. При этом в расчетах применяют те или иные функциональные зависимости типа

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5.15)$$

В данную функцию подставляют приближенные значения, и окончательный результат также будет приближенным. Поэтому одной из ос-

новных задач теории случайных ошибок является определение ошибки функции, если известны ошибки их аргументов.

При исследовании функции одного переменного предельные абсолютные $\varepsilon_{\text{пр}}$ и относительные $\delta_{\text{пр}}$ погрешности вычисляют следующим образом:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \pm \varepsilon_x f'(x), \quad (5.16)$$

$$\delta_{\text{пр}} = \pm d [\ln(x)], \quad (5.17)$$

где $f'(x)$ – производная функции $f(x)$; $d[\ln(x)]$ – дифференциал натурального логарифма функции.

Если исследуется функция многих переменных, то

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \pm \sum_1^n \left| \frac{df(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right|, \quad (5.18)$$

$$\delta_{\text{пр}} = \pm d |\ln(x_1, x_2, \dots, x_n)|. \quad (5.19)$$

В (5.18) и (5.19) выражения под знаком суммы и дифференциала принимают абсолютные значения. Последовательность определения ошибок с помощью этих уравнений следующая. Вначале определяют абсолютные и относительные ошибки независимых переменных (аргументов). Обычно величина $x_d \pm \varepsilon$ каждого переменного измерена, следовательно, абсолютные ошибки для аргументов $\varepsilon_{x1}, \varepsilon_{x2}, \dots, \varepsilon_{xn}$ известны. Затем вычисляют относительные ошибки независимых переменных:

$$\delta_{x1} = \varepsilon_{x1}/x_d; \delta_{x2} = \varepsilon_{x2}/x_d; \dots \delta_{xn} = \varepsilon_{xn}/x_d. \quad (5.20)$$

Далее находят частные дифференциалы функции и по формуле (5.18) вычисляют $\varepsilon_{\text{пр}}$ в размерностях функции $f(y)$, а с помощью (5.19) вычисляют $\delta_{\text{пр}} (\%)$.

Установление оптимальных, наиболее выгодных условий измерений является одной из задач теории измерений. Оптимальные условия измерений в данном эксперименте имеют место при $\delta_{\text{пр}} = \delta_{\text{пр min}}$. Методика решения этой задачи сводится к следующему. Если исследуется функция с одним неизвестным переменным, то вначале следует взять первую производную по x , приравнять ее к нулю и определить x_1 . Если вторая производная по x_1 положительна, то функция (5.15) в случае $x = x_1$ имеет минимум.

При наличии нескольких переменных поступают аналогичным способом, но берут производные по всем переменным x_1, \dots, x_n . В результате минимизации функций устанавливают оптимальную область измерений

(интервал температур, напряжений, силы тока, угла поворота стрелки на приборе и т.д.) каждой функции $f(x_1, \dots, x_n)$, при которой относительная ошибка измерений минимальна, то есть $\delta_{xi} = \min$.

Довольно часто в исследованиях возникает вопрос о достоверности данных, полученных в опытах. Например, пусть установлена прочность контрольных образцов бетона до виброперемешивания

$$R_1 = R_1 \pm \sigma_0 = 20 \pm 0,5 \text{ МПа}$$

и прочность бетонных образцов после виброперемешивания

$$R_2 = R_2 \pm \sigma_0 = 23 \pm 0,6 \text{ МПа.}$$

Прирост прочности составляет 15 %. Это упрочнение относительно небольшое, и его можно отнести за счет разброса опытных данных. В этом случае следует провести проверку на достоверность экспериментальных данных по условию

$$\bar{x} / \sigma_1 \geq 3. \quad (5.21)$$

В данном случае проверяется разница $\bar{x} = R_1 - R_2 = 3,0 \text{ МПа}$. Ошибка измерения $\sigma_0 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$, поэтому

$$\frac{R_1 - R_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} = \frac{3,0}{\sqrt{0,25 + 0,36}} = 3,84 > 3. \quad (5.22)$$

Следовательно, полученный прирост прочности является достоверным.

Выше были рассмотрены общие методы проверки экспериментальных измерений на точность и достоверность. Но кроме этого, ответственные эксперименты должны быть проверены и на воспроизводимость результатов, то есть на их повторяемость в определенных пределах измерений с заданной доверительной достоверностью. Суть такой проверки заключается в следующем.

Имеется несколько параллельных опытов. Для каждой серии опытов вычисляют среднеарифметическое значение \bar{x}_i (n – число измерений в одной серии, принимаемое обычно равным 3–4). Далее вычисляют дисперсию D_i .

Чтобы оценить воспроизводимость, вычисляют расчетный критерий Кохрена

$$k_{kp} = \max D_i / \sum_1^m D_i, \quad (5.23)$$

где $\max D_i$ – наибольшее значение дисперсий из числа рассматриваемых параллельных серий опытов m ; $\sum_1^m D_i$ – сумма дисперсий m серий.

Рекомендуется принимать $2 \leq m \leq 4$. Опыты считают воспроизведимыми при

$$k_{kp} \leq k_{kt}, \quad (5.24)$$

где k_{kt} – табличное значение критерия Кохрена (табл. 5.6), принимаемое в зависимости от доверительной вероятности p_d и числа степеней свободы $q = n - 1$. Здесь m – число серий опытов; n – число измерений в серии.

Например, проведено три серии опытов по измерению прочности грунта методом пенетрации (табл. 5.7). В каждой серии выполнялось по пять измерений.

Тогда по формуле (5.23) получим

$$k_{kp} = \frac{2,96}{2,96 + 2,0 + 0,4} = 0,55.$$

Вычислим число степеней свободы $q = n - 1 = 5 - 1 = 4$. Так, например, для $m = 3$ и $q = 4$ согласно табл. 5.6 значение критерия Кохрена $k_{kt} = 0,74$. Так как $0,55 < 0,74$, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми.

Таблица 5.6

Критерий Кохрена k_{kt} при $p_d = 0,95$

m	$q = n - 1$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36
2	0,99	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,81	0,78	0,73	0,66
3	0,97	0,93	0,79	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60	0,54	0,47
4	0,90	0,76	0,68	0,62	0,59	0,56	0,51	0,48	0,43	0,36
5	0,84	0,68	0,60	0,54	0,50	0,48	0,44	0,41	0,36	0,26
6	0,78	0,61	0,53	0,48	0,44	0,42	0,38	0,35	0,31	0,25
7	0,72	0,56	0,48	0,43	0,39	0,37	0,34	0,31	0,27	0,23
8	0,68	0,51	0,43	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,24	0,20
9	0,64	0,47	0,40	0,35	0,33	0,30	0,28	0,25	0,22	0,18
10	0,60	0,44	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,20	0,16
12	0,57	0,39	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14
15	0,47	0,33	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17	0,14	0,11

Окончание табл. 5.6

m	$q = n - 1$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36
20	0,39	0,27	0,22	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11	0,08
24	0,34	0,24	0,19	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,07
30	0,29	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06
40	0,24	0,16	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04
60	0,17	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02
120	0,09	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01

Примечание: m – число параллельных опытов; q – число степеней свободы; n – число измерений в серии.

Таблица 5.7

Результаты измерений прочности грунта
методом пенетрации и их обработка

Серия опытов	Измерение величины и повторности					Вычисленные	
	1	2	3	4	5	\bar{x}_i	D_i
1	7	9	6	8	4	6,8	2,96
2	8	7	8	6	5	7,0	2,0
3	9	8	7	9	8	8,0	0,4

Если бы оказалось наоборот, то есть $k_{kp} > k_{kt}$, то необходимо было бы увеличить число серий m или число измерений n [3].

5.3. Методы графической обработки результатов измерений

При обработке результатов измерений широко используют методы графического изображения. Такие методы дают более наглядное представление о результатах эксперимента, чем табличные данные. Поэтому чаще табличные данные обрабатывают графическими методами с использованием обычной прямоугольной системы координат. Чтобы построить график, необходимо хорошо знать ход исследования, течение исследовательского процесса, т.е. то, что можно взять из теоретических исследований.

Экспериментальные точки на графике необходимо соединять плавной линией, чтобы она проходила как можно ближе ко всем экспериментальным точкам. Но могут быть исключения, так как иногда исследуют явления, для которых в определенных интервалах наблюдается быстрое скачкообразное изменение одной из координат рис. 5.2.

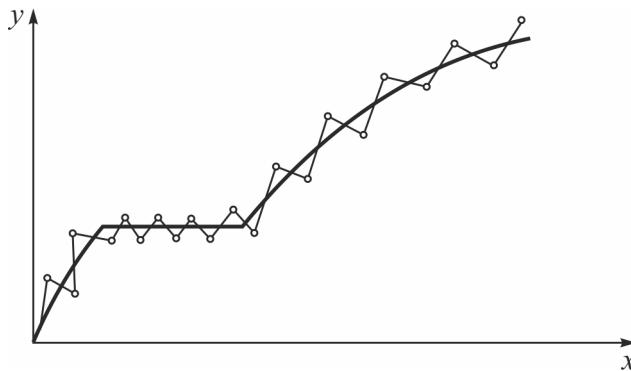


Рис. 5.2. Скачкообразное изменение функции

Это объясняется сущностью физико-химических процессов, например радиоактивным распадом атомов в процессе исследования радиоактивности. В таких случаях необходимо плавно соединять точки кривой. Общее «осреднение» всех точек плавной кривой может привести к тому, что скачок функции подменяется погрешностями измерений.

Иногда исследуются явления, для которых в определенном интервале наблюдается скачкообразное изменение одной из координат, объясняемое сущностью физико-химического процесса.

Если при построении графика появляются точки, которые резко удаляются от плавной кривой, необходимо проанализировать причину этого отклонения, а затем повторить измерение в диапазоне резкого отклонения точки. Повторные измерения могут подтвердить или отвергнуть наличие такого отклонения.

Если измеряемая величина является функцией двух переменных параметров (x, y), то в одних координатах можно построить несколько графиков (рис. 5.3), разбив диапазон измерения одного из параметров на несколько отрезков $y_1, y_2 \dots y_n$ [2].

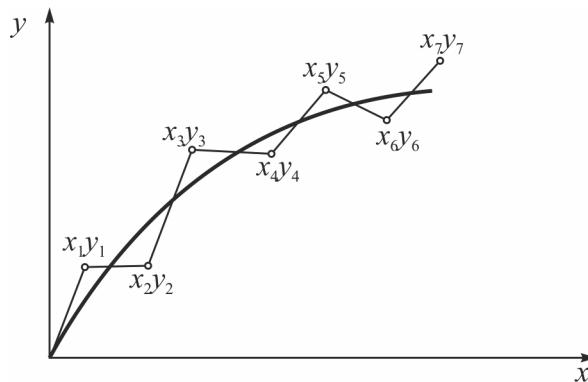


Рис. 5.3. Разбивка диапазона измерений на несколько отрезков

Иногда при графическом изображении результатов эксперимента приходится иметь дело с тремя переменными $b = f(x,y,z)$. В таком случае применяют метод разделения переменных. Одной из величин z в пределах интервала измерения $z_1 - z_n$ задают несколько последовательных значений. Для двух остальных переменных x и y строят графики $y = f_1(x)$, при $z_1 = \text{const}$. В результате на одном графике получают семейство кривых $y = f_1(x)$ для различных значений z (рис. 5.4).

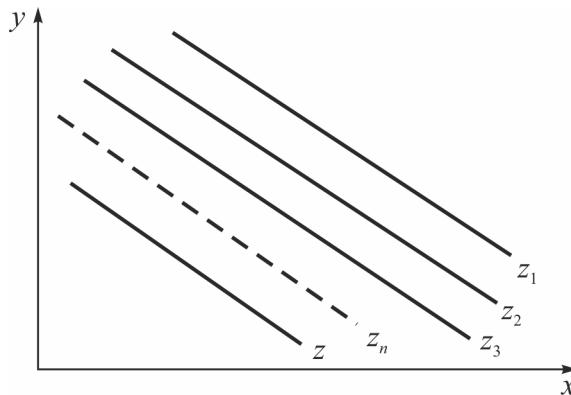


Рис. 5.4. Метод разделения переменных

Также при графическом изображении результатов экспериментов существенную роль играет выбор системы координат или координатные сетки. Они бывают равномерными и неравномерными.

У равномерных координатных сеток ординаты и абсциссы имеют равномерную шкалу. Например, в системе прямоугольных координат длина откладываемых единичных отрезков на обеих осях одинаковая.

Неравномерные сетки бывают логарифмическими, полулогарифмическими, вероятностными. Их применяют для более наглядного представления изучаемой зависимости, например спрямление криволинейных зависимостей.

Полулогарифмическая координатная сетка имеет равномерную ординату и логарифмическую абсциссу (рис. 5.5, а); логарифмическая координатная сетка имеет обе оси логарифмические (рис. 5.5, б); вероятностная координатная сетка имеет обычно равномерную ординату и вероятностную шкалу по оси абсцисс (рис. 5.5, в).

Назначение неравномерных сеток бывает различным. В основном их применяют для наглядного изображения функций.

Важное значение при графическом изображении экспериментальных данных имеет вероятностная сетка, применяемая в разных случаях,

например при определении расчетных характеристик (расчетных значений модуля упругости бетона, расчетной влажности щебня) или при обработке измерений для оценки точности.

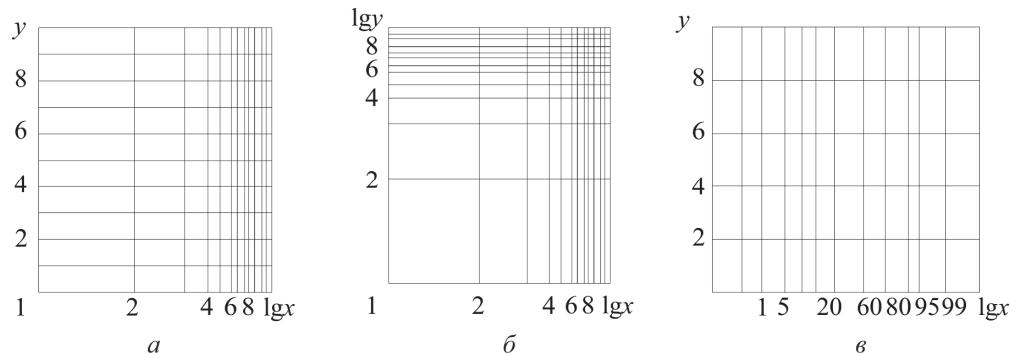


Рис. 5.5. Виды координатных сеток: *a* – полулогарифмические; *б* – логарифмические; *в* – вероятностная сетка

Также при обработке экспериментальных данных графическим способом необходимо составить расчетные графики, которые ускоряют нахождение по одной переменной других. При этом повышаются требования к точности изображения функции на графике. При вычерчивании расчетных графиков необходимо в зависимости от числа переменных выбрать координатную сетку и определить вид графика. Это может быть одна кривая, семейство кривых или серия семейств.

Большое значение имеет при построении графиков, особенно расчетных, выбор масштаба, что связано с размерами чертежа и, соответственно, с точностью снимаемых с него значений величин. Чем больше масштаб, тем выше точность снимаемых значений. Графики, как правило, не должны превышать размеров 20 x 15 строительной механики.

Графики с минимумом или максимумом необходимо особенно тщательно вычерчивать в области экстремума. Поэтому здесь экспериментальные точки должны быть чаще. Часто для систематических расчетов вместо сложных теоретических или эмпирических формул используют номограммы, которые строят, применяя равномерные или неравномерные координатные сетки [3].

5.4. Оформление результатов научного исследования

Когда сформулированы выводы и обобщения, продуманы доказательства и подготовлены все иллюстрации, наступает следующий этап – литературное оформление полученных результатов в виде отчета, статьи, доклада или презентации [3, 16, 17].

Литературное оформление результатов творческого труда предполагает знание и соблюдение определенных требований, предъявляемых к содержанию научной рукописи. В научных работах особенно важны ясность изложения, систематичность и последовательность представления материала.

Текст научной рукописи следует делить на абзацы, то есть на части, начинающиеся с красной строки. Важно помнить, что правильная разбивка на абзацы облегчает чтение и усвоение содержания текста. Критерием такого деления является смысл написанного – каждый абзац должен включать самостоятельную мысль, содержащуюся в одном или нескольких предложениях.

Также в рукописи следует избегать повторений, не допускать перехода к новой мысли, пока первая не получила полного законченного выражения. Писать текст нужно по возможности краткими и ясными для понимания предложениями. Текст лучше воспринимается, если в нем исключены частое повторение одних и тех же слов и выражений, тавтологии, сочетания в одной фразе нескольких свистящих и шипящих букв.

Изложение должно включать критическую оценку существующих точек зрения, высказанных по данному вопросу, даже если они не в пользу автора. В тексте нежелательно делать много ссылок на себя. При необходимости следует употреблять выражения в третьем лице, например, *автор полагает или по нашему мнению* и т.д.

Не рекомендуется перегружать рукопись цифрами, цитатами, иллюстрациями, так как это отвлекает внимание читателя и затрудняет понимание содержания. Цитируемые в рукописи места (например, высказывания) должны иметь точные ссылки на источники.

Необходимым условием является соблюдение единства условных обозначений и допускаемых сокращений слов, которые должны соответствовать принятым стандартам.

Структура научной работы. Каждое произведение научного характера можно условно разделить на три части: вводную, основную и заключительную.

Вначале придумывается заглавие работы. Оно должно быть кратким, определенным и отвечающим содержанию работы. Название работы выносится на титульную страницу.

Титульный лист – это первая страница рукописи, на которой указаны надзаголовочные данные, сведения об авторе, заглавие, подзаголовочные данные, сведения о научном руководителе, место и год выполнения работы.

Оглавление раскрывает суть работы путем обозначения глав, параграфов и других рубрик рукописи с указанием страниц, с которых они начинаются. Оно может быть в начале или в конце работы. Названия глав и параграфов должны точно повторять соответствующие заголовки в тексте.

При оформлении научной работы иногда возникает необходимость написать предисловие. В нем излагаются внешние предпосылки создания научного труда: чем вызвано его появление; где и когда была выполнена работа; перечисляются организации и лица, оказавшие помощь при выполнении данной работы.

Введение (вступление) – вводит читателя в круг рассматриваемых проблем и вопросов. В нем определяются новизна, актуальность, научная и практическая значимость темы, степень ее разработанности, то есть обосновывается выбор темы научного исследования. Здесь же формулируются цели и задачи, которые ставились автором, описываются примененные методы и практическая база исследования.

В диссертационных исследованиях указывают объект и предмет исследования, положения, выносимые на защиту, говорят о теоретической и практической ценности полученных результатов и дают сведения об их аprobации. Обычно объем введения не превышает 5–7% объема основного текста.

Основная часть состоит из нескольких глав, разбитых на параграфы. Первый параграф чаще бывает посвящен истории или общетеоретическим вопросам рассматриваемой темы, а в последующих параграфах раскрывают основные ее аспекты.

В основное содержание работы входит обобщение материала, методы, экспериментальные данные и выводы самого исследования. Особое внимание следует обращать на точность используемых в тексте слов и выражений, не допускать возможности их двусмысленного толкования. Новые термины или понятия необходимо подробно разъяснить.

Цифровой материал должен быть представлен в доступной форме (в виде таблиц, графиков, диаграмм). Особой точности требует цифровой материал, чтобы избежать неверных выводов.

Таблицы, включенные в текст должны иметь наименование (заголовок) и номер или для всей работы (табл. 2), или для данной главы, например, четвертой (табл. 4.2). Таблица должна содержать ответы на четыре вопроса: *что, когда, где, откуда*. Текст к таблицедается очень краткий, в нем указываются только основные взаимоотношения и выводы, которые вытекают из цифрового материала.

В конце работы как итог пишутся *выводы* в виде кратко сформулированных и пронумерованных отдельных тезисов. Выводы должны касаться только того материала, который изложен в работе. Следует соблюдать главный принцип: *в выводах нужно идти от частных к более общим и важным положениям.*

Характерной ошибкой при написании выводов является перечисление того, что сделано в работе вместо формулировки результатов исследования.

В заключении в логической последовательности излагают полученные результаты исследования, указывают на возможность их внедрения в практику, определяют дальнейшие перспективы работы над темой. Заключение не должно повторять выводы. Оно бывает небольшим по величине, но емким по содержанию.

В конце работы приводится *список литературных источников*. В список включаются только те литературные источники, которые были использованы при написании работы и упомянуты в тексте или сносках. Список составляется по разделам с учетом требований ГОСТ.

В научных работах нередко возникает необходимость приводить в конце работы *приложения*. Они включают графики, вспомогательные таблицы, дополнительные тексты, извлечения из отдельных нормативных актов. Каждому материалу приложения надо присвоить самостоятельный порядковый номер, который при необходимости можно указать в тексте при ссылке на вспомогательные материалы. При подсчете объема научной работы приложения не учитываются.

При написании научной работы необходима аннотация или реферат.

Аннотация – это краткая характеристика научной работы с точки зрения содержания, назначения, формы и других особенностей. Она должна отвечать на вопрос: «О чём говорится в первичном документе?».

В соответствии с ГОСТ 7.38-91 аннотация включает: характеристику типа научной работы, основную тему, проблему, объект, цель работы и ее результаты. В аннотации указывается, что нового несет в себе данная работа. Средний объем аннотации составляет 600 печатных знаков.

Реферат – это сокращенное изложение содержания первичного документа или его части с основными фактическими сведениями и выводами. Реферат в отличие от аннотации выполняет познавательную функцию и отвечает на вопрос: «Что говорится в первичном документе?».

Основные требования к реферату содержатся в ГОСТ 7.38-91, согласно которому он должен включать тему, предмет исследования, характер и цель работы, методы проведения исследования, конкретные

результаты, выводы и оценки, характеристику области применения. Средний объем реферата составляет от 500 до 5500 пч. зн. (для документов большого объема).

Научная информация имеет свойство куммулятивности, то есть свойство уменьшения объема со временем путем более краткого, обобщенного изложения при переходе от документов, фиксирующих результаты лабораторных экспериментов, к научно-техническому отчету, статьям, обзорам, монографиям, учебникам, справочникам [3, 18, 19, 20]. В каждом последующем звене этой цепочки одна и та же информация, рожденная на этапе исследовательской деятельности, представляется в более уплотненном виде. В каждый последующий документ включается не вся созданная на этапе исследования информация, а только наиболее важна, актуальная, «отстоявшаяся», наиболее соответствующая читательскому назначению для подготавливаемого документа.

Такое представление научно-технической информации в более уплотненном виде достигается путем *свертывания информации*. Это понятие включает в себя совокупность операций аналитико-синтетической переработки документов. Его цель создание вторичных документов или изложение содержания исходного текста в более экономичной форме при сохранении или некотором уменьшении его информативности в производном тексте [3, 21].

В процессе свертывания информации текст не просто сокращается, а именно «сворачивается», причем таким образом, чтобы при необходимости имелась возможность вновь его развернуть на основе сохранных «смысловых вех», «смысловых опорных пунктов». Так поступают, например, при составлении индивидуального конспекта, в который включается обычно то, что впоследствии позволяет мысленно восстановить конспектируемый текст.

Свертывание бывает метаинформационное и информативное.

Метаинформационное свертывание – это создание ряда документов, основная цель которых раскрыть тему и содержание других документов (библиографические описания, аннотации, библиографические обзоры, авторефераты диссертаций, предисловия и введения к книгам, программы учебных курсов, справочные аппараты изданий).

Информативное свертывание – это создание ряда документов, основная цель, которых служить непосредственным источником информации при решении определенных задач. Его результатом могут быть как первичные документы (отчет, статья, краткое сообщение, информационный листок), так и вторичные (рефераты, фактографические справки, реферативные обзоры).

Важным этапом работы над рукописью отчета или другого материала, готовящегося к печати, является *редактирование*, которое осуществляется первоначально автором при работе над рукописью (авторский этап издательского процесса) и затем редактором (редакционный этап издательского процесса).

Основной целью редактирования является критический анализ предназначенной к изданию работы с целью ее правильной оценки и совершенствования содержания и формы в интересах читателя и общества. При редактировании особое внимание обращается на полноту и существенность приводимых фактов, их новизну и связь с современной жизнью, на вклад данной работы в прогресс в соответствующей области знаний, достоверность, точность и убедительность, на соблюдение законов и закономерностей конкретной науки, отрасли знаний, производства, на соответствие отдельных частей текста их функциям, на форму текста.

Самыми важными сторонами формы текста являются:

- композиционная, то есть правильное построение научной работы, объединяющей все ее элементы в единое целое;
- рубрикационная, то есть деление текста на структурные единицы, части, разделы, главы, параграфы;
- логическая, то есть соответствие рассуждений, выводов и определений автора нормам логически правильного мышления;
- грамматико-стилистическая и графическая (качество таблиц и иллюстраций).

Иллюстрация – это изображение, служащее пояснением либо дополнением к какому-либо тексту. В таких издательствах, как «Просвещение», «Наука», «Машиностроение» принято, что на один авторский лист может быть представлено в научной литературе 5–8 иллюстраций, в производственно-технической – 8–10, в учебной и популярной – 5–12.

Ссылку на иллюстрацию помещают в тексте вслед за упоминанием предмета, ставшего объектом изображения, например, рис. 11. Повторные ссылки на иллюстрации сопровождаются сокращенным словом *см.* (см. рис. 11). Могут быть ссылки и на часть иллюстрации, обозначенную буквой, например: рис. 40, *a*.

При редактировании необходимо обращать внимание на грамматико-стилистическую сторону текста, то есть на правильность построения фраз и грамматических оборотов, на целесообразность использования тех или иных слов. При этом полезно знать основные приемы анализа рукописи, позволяющие замечать и устранять типичные ошибки языка и стиля.

Одна из самых распространенных ошибок – употребление лишних или необязательных слов. Многословие всегда затемняет основную мысль автора, ослабляет действенность печатного произведения, делает его менее доступным для читателя. Поэтому слова, употребление которых не находит оправдания, должны быть отнесены к лишним.

Слово «редактирование» происходит от лат. *redactus*, что дословно означает «приведенный в порядок». Однако автор не должен считать, что устранение беспорядка в его рукописи это дело редактора. Автору рекомендуется в какой-то мере продублировать редактора. Это *первая ступень* обработки рукописи. Здесь необходимо примириться с много-кратными переделками, сокращениями и дополнениями. Желательно после некоторого промежутка времени заново прочитать свою рукопись и попытаться оценить ее в целом и по частям с точки зрения читателя (*вторая ступень*). *Третья ступень* – детальное прочтение для выявления ошибок в тексте, соответствия иллюстраций, единобразия терминологии, обозначений. Только после выполнения этих требований рукопись можно сдавать в издательство.

Если работа оформляется в виде статьи в журнал, то она должна быть отправлена в редакцию в законченном виде в соответствии с требованиями, которые обычно публикуются в отдельных номерах журналов в качестве памятки авторам.

Рукопись статьи, представляемая для опубликования в журнале или сборнике, должна содержать полное название работы, фамилию, инициалы автора, аннотацию (на отдельной странице), список использованной литературы, разрешение на опубликование материалов в открытой печати (акт экспертизы). Рукопись должна быть подписана автором (-ами) и в приложении содержать фамилию, имя и отчество автора (-ов), учченую степень автора (-ов), их телефоны и адреса. Текст статьи представляется в двух экземплярах.

Некоторые научно-технические материалы, хотя и содержат неизвестные ранее сведения, могут заинтересовать лишь небольшую часть специалистов, в связи с чем их публикация в многотиражных журналах нецелесообразна. Для того чтобы предоставить возможность специалистам ознакомиться с такими работами, в стране введено *депонирование рукописей*, то есть принятие на хранение таких материалов. Депонирование предусматривает не только прием и хранение рукописей, но и организацию информации о них, копирование рукописей по запросам потребителей.

Материалы для депонирования оформляются по тем же правилам, что и статьи, представляемые для публикации. За автором депонируемых материалов сохраняется авторское право, в дальнейшем он может опубликовать их. В России функционирует Всероссийская сеть депонирования, включающая около 100 организаций-депозитариев (организаций, принимающих рукописи на хранение). Перечень этих организаций, а также правила оформления депонированных рукописей приведены в инструкции о порядке депонирования рукописных работ по естественным, техническим, общественным наукам (М.: ВИНИТИ, 1977).

ВИНИТИ принимает на депонирование рукописи от организаций РАН (по естественным, точным и техническим наукам), а также от учебных и научно-исследовательских институтов (по естественным и точным наукам); ИНИОН – по общественным наукам; центральные отраслевые органы НТК – по тематике отрасли и др.

После опубликования реферата депонированной рукописи автору выдают справку с указанием его фамилии, названия рукописи, наименования реферативного издания, опубликовавшего реферат, и его номера. Организациями-депонентами, направляющими рукописи на депонирование, обычно выступают редакции журналов, вузы, головные НИИ, а решения о передаче рукописи на депонирование принимаются редколлегиями журналов, а также учеными, научно-техническими и издаельскими советами учреждений и организаций, пользующихся правом издательской деятельности. Они являются ответственными за содержание направляемых на депонирование рукописей.

Депонирование дает авторам рукописей некоторые преимущества по сравнению с авторами опубликованных материалов, так как депонированные рукописи реферируются одновременно с опубликованными и практически не ограничиваются по объему.

Все работы, предназначенные для публикации, проходят предварительное рецензирование. *Рецензия* – это обычно небольшая статья, содержащая критическую оценку или анализ печатного труда. Рецензия должна содержать: заглавие рецензируемого источника; краткое перечисление основных вопросов; указание на основные достоинства и недостатки рецензируемой работы. В конце рецензии приводится резюме, в котором оценивается актуальность работы, ее теоретическая и практическая значимость,дается оценка правильности доказательств и выводов.

Различают рецензии *информационные*, кратко освещающие содержание рассматриваемой работы, и *критические* рецензии, подвергающие научному анализу позиции автора, уточняющие или дополняющие использованный автором фактический материал [3].

5.5. Устное представление информации

Значительную часть научных сведений ученые получают из устных источников – докладов и сообщений на конгрессах, симпозиумах, конференциях, семинарах.

Съезды и конгрессы – высшая и наиболее представительная форма общения имеет национальный или международный характер. Здесь вырабатывается стратегия в определенной области науки и техники.

Конференция является самой распространенной формой обмена информацией. Одна часть (докладчики) сообщает о новых научных идеях, результатах теоретических и экспериментальных исследований, отвечает на вопросы. Другая часть (слушатели) слушает, задает вопросы, участвует в прениях. На конференциях устанавливается строгий регламент для докладчиков, выступающих в прениях, организуется секционная работа. Конференции обычно принимают решения и рекомендации.

На конференциях иногда организуются *стендовые доклады*. В определенном месте вывешивается активный материал к докладу, и докладчик отвечает на вопросы.

Совещание – это форма коллективных контактов ученых и специалистов одного научного направления. Состав участников совещания и длительность выступлений строго регламентируются.

Коллоквиум – это форма коллективных встреч, где обмениваются мнениями ученые различных направлений.

Симпозиум – это полуофициальная беседа с заранее подготовленными докладами и выступлениями экспромтом.

Наиболее ответственная задача на всех вышеперечисленных мероприятиях выпадает на долю докладчиков. Выступление с докладом – ответственное научное поручение. Особенно полезны выступления слушателей и научные дискуссии. Публичные выступления с докладом воспитывают привычку не бояться аудитории и умение быстро концентрировать внимание при ответах на вопросы, вести научную дискуссию.

Перед выступлением с докладом следует подготовить краткий план изложения и подробный конспект с тем, чтобы в начале доклада кратко сообщить основные вопросы, которые будут изложены. Во время доклада можно пользоваться краткими записями, чтобы не упустить важное. Это придает чувство уверенности, обеспечивает ясность и краткость изложениям материала.

В процессе доклада держаться следует свободно, обращаться ко всей аудитории, а не концентрировать внимание на отдельном слушателе. При подготовке доклада необходимо предварительно прочесть его

несколько раз вслух. Перед докладом следует подготовить *тезисы* – сжатые, кратко сформулированные основные положения доклада. Они включают основные положения всей научной работы – от начала до конца, а не только собственно исследовательскую часть.

Тезисы представляют собой развернутые выводы с вводной поясняющей и обосновывающей частью, а также заключением. В тезисах в краткой форме даются обоснование темы, история вопроса, изложена методика исследования и его результаты. Тезисы могут быть краткими или развернутыми, но они всегда отличаются от полного текста доклада тем, что в них отсутствуют детали, пояснения, иллюстрации. Отдельные тезисы должны быть связаны между собой логически, как звенья одной цели.

Докладчики в процессе доклада часто используют демонстрационный материал и технику. В качестве графических материалов особенно часто используются схемы и диаграммы алгоритмов.

Схемы в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ 2.701–84. ЕСКД. Схемы, виды и типы. Общие требования к выполнению) подразделяются на структурные, функциональные, принципиальные и др. Выполняются они без соблюдения масштаба. На схемах допускается помешать различные технические данные, указываемые либо около графических обозначений, либо на свободном поле схемы, по возможности над основной надписью.

Диаграммы алгоритмов используются для наглядного представления аналитического решения задачи, разделения процесса на самостоятельные и легко преобразуемые части и для обеспечения работы с алгоритмами. Операция, которая выполняется на каждом шаге алгоритма, отображается диаграммным символом, внутри которого дается словесная или символическая запись (ГОСТ 19.003-80. ЕСКД. Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические).

К техническим средствам, используемым в ходе доклада, относятся проектор, звукозапись, кинофильм и др.

Выступление с докладом – это самопроверка автора. Очень полезны сделанные по докладу замечания и советы. Участие в научной дискуссии требует от докладчика и специалиста-слушателя определенного умения, которому нужно учиться.

Дискуссия – еще одна полезная форма коллективного мышления. Различные точки зрения, высказываемые в дискуссии, способствуют активному мышлению, заставляют тщательно продумывать и обосновывать собственную точку зрения. Более того, между различными мнени-

ниями устанавливают связи, которые без дискуссии могли бы оказаться упущенными.

Участие в дискуссии – лучший способ развития навыка обдумывания и критического суждения, где проверяется качество накопленных человеком знаний. Дискуссия – это хорошая тренировка для публичных выступлений.

Формы участия в дискуссии могут быть различными. Например, слушать и записывать. Это не просто внимание, а самостоятельное мышление, так как запись требует личной оценки высказываемых мыслей. Записывать в момент дискуссии трудно, ибо высказываемые мысли не так систематичны (у их автора не было достаточно времени для строгого логического построения своего выступления). Записывать следует резюме, выводы, а также меткие слова, выражения, образные сравнения и примеры, которые впоследствии позволят восстановить в памяти атмосферу дискуссии, помогут вспомнить её содержание.

Формой участия в дискуссии является постановка вопросов с целью уточнить неясные моменты или получить дополнительную информацию. Самая активная форма участия в дискуссии – это высказывание своего мнения, которое должно быть достаточно обоснованным. Этика поведения во время дискуссии может быть кратко определена так: поиск истины, а не победа над противником, ибо последний может оказаться правым [3].

5.6. Изложение и аргументация выводов научной работы

Выводы, выражающие основное содержание полученного знания, должны быть сформулированы в соответствии с целями и задачами исследования и содержать решение поставленной проблемы. Это ответ на совокупность вопросов, заложенных в названных элементах научного исследования. Вывод должен быть изложен в тех понятиях и выражениях, посредством которых ставились вопросы, а также посредством понятий и выражений, чья связь с исходными может быть установлена в процессе аргументации выводов.

Аргументация – это процесс обоснования определенной точки зрения с целью их смысловой идентификации с исследуемой реальностью и принятия научным сообществом.

В ходе аргументации нужно показать, во-первых, что действительно существуют исследуемые объекты, которые обладают зафиксированными свойствами, интенсивность и динамика которых зависит от

структуры объекта, определенной совокупности воздействующих на него факторов, то есть показать, что содержащееся в выводах знание отражает реальное положение вещей.

Во-вторых, предстоит в такой мере повлиять на коллег, работающих по данной проблеме, а также на более широкий круг представителей научного сообщества, практиков, чтобы они приняли предлагаемую точку зрения как собственное убеждение, в определенной мере изменив свои прежние взгляды. Первый процесс составляет логико-гносеологический аспект аргументации, второй – ее логико-коммуникативный аспект.

В качестве синонимов выражения «аргументация» иногда употребляют слова «обоснование» и «доказательство». Наиболее тесную связь отмечают между доказательством и обоснованием, которые являются способами осуществления аргументации. Однако это не вполне корректно, поскольку при некотором совпадении содержания данных процедур в каждой из них доминируют различные установки. В аргументации – это установка на принятие определенной точки зрения научным сообществом, в обосновании – на смысловую идентификацию данной точки зрения с реальностью, в доказательстве – на установление логической связи между выдвигаемым положением и совокупностью положений, которые считаются истинными и приняты научным сообществом.

Аргументация включает три элемента:

тезис – положение или совокупность положений, которые требуется обосновать;

аргументы (основания) – совокупность оснований, приводимых для подтверждения тезиса;

демонстрация (доказательство) – способ связи аргументов между собой и тезисом.

Специфику тезиса часто характеризуют посредством вопроса «что аргументируется?». В реальном научном исследовании аргументации подлежит всё полученное знание. Аргументации или обоснованию подлежат формулируемые законы, гипотезы, теории.

Главную особенность аргументов выражают вопросом «Чем аргументируется тезис?». Данными о действительном положении вещей, которые фиксируются органами чувств человека, или совокупностью знаний, опосредованных чувственными данными? В первом случае аргументами выступают данные наблюдений и экспериментов, во втором – совокупность понятий, законов, теорий. Демонстрацию характеризуют вопросом: «Каким способом аргументируется тезис?». Это может быть прямое указание на данные непосредственных наблюдений и экспери-

ментов, а также построение логичного доказательства, в рамках которого истинность (приемлемость) тезиса обосновывается положениями, истинность которых была доказана ранее.

Специфика каждого из элементов аргументации существенно влияет на общий характер процесса аргументации, в связи с чем выделяют ее типы и виды. Особенно важна в этом плане специфика аргументов. Ими могут быть действительные события, процессы, явления, т.е. реальное положение вещей, с одной стороны. С другой стороны – знания о реальном положении вещей, фиксируемые в виде законов, понятий, принципов, теорий.

Выделяют непосредственное и опосредованное подтверждение, доказательство и опровержение как особые типы аргументации, практикуемой не только в науке, а также эмпирическую и теоретическую аргументацию, интерпретацию и объяснение как виды научной аргументации.

Непосредственное подтверждение – это аргументация приобретенного знания путем прямого наблюдения объектов, существование и параметры которых составляют предмет исследования. Например, непосредственно можно наблюдать все открытые космические объекты и биологические виды, большинство экономических и социальных процессов.

Опосредованное подтверждение – это процесс аргументации приобретенного знания путем установления ею связей с совокупностью знаний, истинность которых была установлена ранее независимо от содержания аргументируемого знания. Обычно такого рода аргументация осуществляется путем выведения следствий из тезиса и их подтверждения.

Доказательство – это тип аргументации, представляющий собой логический процесс, направленный на обоснование истинности определенного положения с помощью других положений, истинность которых установлена ранее.

Опровержение – это тип аргументации, в процессе которого устанавливается ложность тезиса или средств его обоснования.

Эмпирическая аргументация – это обоснование приобретенного знания, непременно включающее ссылку на данные наблюдений и экспериментов. Например, о наличии нового биологического вида, повышении социальной и экономической стабильности.

Теоретическая аргументация – это обоснование приобретенного знания путем установления его связи с элементами знаний теоретического и метатеоретического уровней без непосредственного обращения к данным наблюдений и экспериментов. Это прежде всего интерпретация и объяснение знания, которые выделяют в качестве самостоятельных видов аргументации.

Интерпретация представляет собой процесс экстраполяции исходных положений формальной или математической системы на какую-либо содержательную систему, исходные положения которой определяются независимо от формальной системы. Она осуществляется в науках, использующих формально-математические методы. В более широком смысле интерпретация – это предписывание определенных значений исследуемому объекту или процессу.

Объяснение – это вид научной аргументации, ориентированный на выяснение сущности исследуемого объекта.

В современных исследованиях показано, что процесс творческого поиска неизбежно включает в себя процессы обоснования, которые корректируют творческие усилия, закрепляют промежуточные результаты, обеспечивают содержательную связь приращенного знания с исходным [1, 31].

Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды совокупности измерений вам известны?
2. Что такое доверительная вероятность измерения?
3. Как определить минимальное количество измерений?
4. Какие задачи у теории измерений?
5. Расскажите о методе проверки эксперимента на точность?
6. Расскажите о методе проверке эксперимента на достоверность?
7. В чем заключается проверка эксперимента на воспроизводимость результатов?
8. Как вычислить критерий Кохрена?
9. Какие методы графической обработки результатов измерений вы знаете?
10. Как оформляются результаты научного исследования?