

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
шпаргалка

СОДЕРЖАНИЕ	
1. Основные понятия и определения	1аб
2. Элементы математической статистики	2аб
3. Вероятность события, операции над вероятностями	3аб
4. Условная и полная вероятности	4аб
5. Распределение случайных величин	5аб
6. Статистика распределения случайных величин	6аб
7. Выборочное среднее квадратичное отклонение	7аб
8. Теоремы о средних значениях и дисперсиях	8аб
9. Законы распределения Пуассона и Гаусса	9аб
10. Биноминальный и полиномиальный законы распределения. Равновероятное распределение. Закон распределения эксцентриситета	10аб
11. Другие законы распределения	11аб
12. Взаимозаменяемость как важнейший конструкторский принцип в приборостроении	12аб
13. Классификация взаимозаменяемости	13аб
14. Взаимозаменяемость по геометрическим и механическим параметрам	14аб
15. Допуски и посадки типовых узлов и деталей в приборостроении	15аб
16. Основные понятия. Теории точности механизмов. Причины ошибок	16аб
17. Факторы, порождающие ошибки в приборостроении	17аб
18. Первичные ошибки механизмов	18аб
19. Методы определения первичных ошибок	19аб
20. Исследование точности механизмов	20аб
21. Метод плеч и линия действия	21аб
22. Расчет точности механизмов. Обеспечение заданной точности	22аб
23. Расчет точности электрических цепей приборов. Методы расчета	23аб
24. Другие методы расчета точности электрических цепей приборов	24аб
25. Расчет точности пневматических КИП	25аб
26. Расчет точности шкальных приборов	26аб
27. Динамическая точность	27аб
28. Контакты: материалы, расчет и конструирование	28аб
29. Срок службы контактов	29аб
30. Электромагниты: расчет и конструирование. Теория подобия магнитных систем	30аб
31. Трансформаторы и дроссели	31аб
32. Герметизация, амортизация, экранирование	32аб
33. Электровакуумные и полупроводниковые компоненты в приборостроении	33аб
34. Вопросы миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры	34аб
35. Элементы электронных цепей ИП	35аб
36. Транзисторные переключающие устройства	36аб
37. Выбор фильтров: расчет необходимых параметров	37аб
38. Электрические цепи измерительных схем и приборов. Вопросы дистанционной передачи результатов измерений	38аб
39. Приборы для измерения механических величин	39аб
40. Способы преобразования сигнала	40аб
41. Передаточное число для рычажно-зубчатых индикаторов	41аб
42. Приборы времени	42аб
43. Приборы времени специального назначения	43аб
44. Приборы для измерения параметров движения	44аб
45. Измерение сил, моментов и напряжения	45аб
46. Определение механических свойств материалов	46аб
47. Контактные методы измерения температуры	47аб
48. Бесконтактные методы измерения температуры	48аб
49. Приборы для измерения давления	49аб
50. Причины начальных погрешностей	50аб
51. Разновидности манометров	51аб
52. Средства измерения гидравлических параметров жидкости	52аб
53. Ядерно-магнитный резонанс	53аб
54. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования	54аб
55. Проектная документация	55аб
56. Предпосылки успешного развития современного отечественного приборостроения. Основные тенденции в развитии приборостроения	56аб

1а 1. Основные понятия и определения

Невозможно представить себе современную жизнь, идет ли речь о промышленности, других секторах экономики или просто о быте населения, без применения или использования технических приборов.

За каждым техническим изделием стоит кропотливый труд конструкторских коллективов, отдельных конструкторов.

Если говорить кратко, то **прибор** — это механико-техническое устройство для измерения неизвестной величины. Ее нужно сравнивать с неким эталоном. Результаты сравнения и есть измерение неизвестной величины.

Приборы — это не только технические предметы повседневности, но также и станки с ЧПУ.

В качестве эталонов имеются в виду измерительные приборы: от гирь, весов, линеек до измерительных приборов с использованием радиоэлектронных компонентов.

Самыми первыми приборами в истории человечества принято считать гири и часы. Именно им стало возможно дальнейшее совершенствование приборостроения.

В настоящей книге вниманию читателя предлагают основы теории вероятности и их прикладное применение в приборостроении, рассматриваются вопросы взаимозаменяемости деталей приборов, их конструкции и расчеты, кратко излагаются вопросы технологии в приборостроении, рассказывается о средствах автоматизации.

Специфика технологии в приборостроении такова, что одни и те же механические, радиоэлектронные части могут применяться в производстве изделий не

2а

2. Элементы математической статистики

Наука, которая, изучая и описывая совокупность явлений, составляющих одно целое, но по одному (или нескольким) видам признаков (или свойств) разбивающая эти явления на группы, подгруппы, даже на единицы, называется **математической статистикой**. Математическая статистика является важнейшим инструментом в теории вероятности. Пример: изделия, составляющие одно целое по длине, весу, плотности, могут быть разбиты на подгруппы, например, по радиусу.

Количественная оценка колебания признака в совокупности называется **случайной величиной**.

Обнаруженное значение случайной величины называют статистической переменной (или вариантой). Наблюдаемые явления выделяют в разные разряды или классы, то есть группы. Количество таких групп называется частотой. Частоту выражают, как правило, в процентах от общего числа явлений. Частота в таком конкретизированном виде называется **частотостью**.

Принято говорить о частоте и частости типичного представителя разряда (класса группы) x , параметры которого находятся на границах $[x', x'']$, то есть

$$x' \leq x \leq x''.$$

Обычно говорят о среднем значении переменной x , которое определяется формулой:

$$x_i = \frac{x' + x''}{2}.$$

Параметр x_i определяется, как и частота, и частость, эмпирически либо опытным путем. Для того, чтобы

3а 3. Вероятность события, операции над вероятностями

Вероятностью P события A при этих условиях будем считать отношение числа случаев m , в пределах которого происходит событие A , к числу N равновероятных событий.

$$P(A) = \frac{m}{N}$$

Рассмотрим следующие случаи.

1. $m = N$, тогда $P(A) = 1$. В таком случае событие считают достоверным.

2. $m = 0$, то есть $P(A) = 0$. Не произошло ни одного события, оно является невозможным.

Очевидно, что

$$0 < P(A) < 1,$$

где $P(A)$ — вероятность появления события A . По мере увеличения количества испытаний (или количества событий)

$$P(A) \rightarrow 1,$$

то есть вероятность появления событий A возрастает и наоборот.

Над вероятностью можно производить сложение и умножение, как и над числами. Например, для того, чтобы определить вероятность появления одного из трех событий, складывают вероятность каждого из них. Пусть этими событиями будут события A , B и C . Тогда вероят-

4а

4. Условная и полная вероятности

Условная вероятность — такая вероятность события A , которая вычислена при предположении, что событие D произошло: при этом события A и B являются зависимыми, они обозначаются как $P(A/B)$ или $P(A)B$.

Совместное (одновременное или последовательное) появление нескольких независимых событий A , B , C , ..., F называется **сложным событием**. Вероятность сложного события определяется путем умножения вероятностей составляющих его событий.

$$P(AиВиСи...иF) = P(A) \times P(B)_A \times P(C)_{AB} \times \dots \times P(F)_{ABC}.$$

В случае независимости событий (B) выглядит следующим образом.

$$P(AиВиСи...иF) = P(A) \times P(B) \times P(C) \times \dots \times P(F).$$

Формула, которую привели выше, справедлива, если события A или B или C несовместимы. В случае их совместимости формула выглядит следующим образом:

$$P(A \vee B \vee C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(AиВиC)$$

$$P(AиВиC) = P(A) \times P(B) \times P(C)$$

26 получить сведения о всей массе или партии изделий, требуется отобрать их часть; эту отображенную часть называют **выборкой**.

Объемом выборки называют количество изделий в выборке (или число испытаний). Выборку деталей осуществляют в разных целях, чтобы определить соответствие требованиям взаимозаменяемости, оценить точность изготовления и т. д.

Пусть имеем случайные события в количестве N , которые по определенному признаку формируют определенный класс. И пусть эти события отвечают следующим требованиям:

- 1) все они равновероятны;
- 2) несовместимы, то есть если произошло одно событие, то исключено появление любого другого;
- 3) единственно возможны, то есть могут произойти события только из числа N событий, никакое другое произойти не может.

16 только одной, но и других серий. Поэтому эти части разрабатываются и выпускаются унифицированно, то есть не в расчете на какое-нибудь конкретное изделие; остальное зависит уже от конструктора, конструкторского коллектива, от каждого специалиста, принимавшего участие в проектировании создаваемых на основе этих частей изделий. Какой узел (серийный) и в каких целях использовать — этот вопрос решается еще в процессе проектирования изделий. Потому фактор взаимозаменяемости имеет чрезвычайно важное значение. Но взаимозаменяемость предполагает наличие определенных границ допуска параметров в изготовлении прибора: длина, высота, радиус, угол и т. п. Для наиболее точной реализации этих требований — взаимозаменяемость и допуск — без прикладного применения теории вероятности не обойтись. С ознакомления с этой дисциплиной и начинается данная книга. Роль теории вероятности в истории, науке и производстве велика. Наиболее важные закономерности в тех или других прерывных и непрерывных процессах удается выделить благодаря этой теории. Теория вероятности — наука, которая, изучая массовые случайные события (явления), описывает их, выявляя закономерности в этих процессах.

Случайное событие может произойти при наличии определенных условий, но может не произойти, если даже эти условия налицо. В приборостроении, например, если при изготовлении одних и тех же деталей в пределах допустимых параметров все же происходит появление в одной из деталей серии других параметров, которые не входят в предельно допустимые границы (ПДГ), то это случайное событие: такое случайное событие в производстве разрешается.

46 С учетом этого получим

$$P(A \vee B \vee C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A) \times P(B) \times P(C).$$

Теперь, после некоторого ознакомления с арифметическими операциями над вероятностями, можно привести формулу полной вероятности

$$P(A)_{\text{полн}} = \sum_{i=1}^{l+n} P(B_i)P(A|B_i).$$

В формуле предполагается, что событие A может произойти только с одним из l несовместимых событий B_1, \dots, B_l , то есть группа событий A и B_1 , или A и B_2 и т. д. Любая группа из этого ряда равносильна появлению события A .

Пример 2. Пусть события D, E, F независимые. Какова будет вероятность событий трех извлечений подряд бракованных деталей при условии, что выборка повторная.

Решение. При данном условии после извлечения каждый раз бракованной детали, а больше одной детали нельзя извлечь, количество бракованных деталей с каждым разом уменьшается на единицу. В третий раз будет извлечена последняя бракованная деталь. Поэтому по формуле

36 ность того, что произойдет событие A или B , или C , определяется следующей формулой:

$$P(A \vee B \vee C) = P(A) + P(B) + P(C),$$

где \vee — логический знак «или», $P(A), P(B), P(C)$ — вероятность каждого из событий A, B или C .

Различают события противоположные: если некоторое событие D может произойти при непоявлении события A , то события A и D являются противоположными. Если сложить их вероятности P_A и P_D , то

$$P_A + P_D = 1,$$

то есть в любом случае произойдет событие A или событие D .

Событие называется независимым, если его появление не зависит от появления любого другого события. Иначе событие называется зависимым.

5а

5. Распределение случайных величин

Затрагивая вопрос о вероятности некоторого события, нельзя не говорить о закономерностях появления случайных величин.

Чтобы упростить ситуацию, эти величины делят на:

- 1) прерывные (дискретные) — например, количество некоторой продукции, не отвечающее установленным стандартам;
- 2) непрерывные — например, единицы той же продукции, которые имеют неодинаковые параметры, но эти параметры находятся в пределах границ предельно допустимого.

Зависимость между возможными значениями случайных величин и их вероятностями, выраженными конкретным способом, называется законом распределения случайных величин.

Для того, чтобы установить математическую форму этого закона, предположим, что дискретная случайная величина x может принимать значения $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots, x_k$, и пусть каждому из этих значений соответствует вероятность P_x . Тогда ряд вероятностей, соответствующих значениям случайной величины x , будет иметь следующий вид $P_{x_1}, P_{x_2}, P_{x_3}, \dots, P_{x_n}, \dots, P_{x_k}$.

Очевидно, что вероятность P_x является некоторой функцией от переменной x и имеет вид: $P_x = f(x)$, где $x = x_i, i = 1, 2, \dots, k$.

Рассмотрим поведение этой функции для вышеприведенных двух видов случайных величин.

1. Случайная величина — дискретная (прерывная).

Случайная величина $x < x'$, где $x < x'$ задано, может выражаться следующим образом:

$$F(x') = P(x < x') = \sum_{x < x'} f(x).$$

6а

6. Статистика распределения случайных величин

Основные характеристики случайных величин.

1. Меры положения.

Таковыми называют (считают) точки, вокруг которых происходит колебание характеристики величин.

Сумма произведений эмпирических значений случайной величины x_i на соответствующие частности называется выборочным средним \bar{x} : \bar{x} — это статистическая характеристика, соответствующая параметрам, т. е. теоретическому анализу, называемая средним значением случайной величины или математическим ожиданием случайной величины.

Математическое ожидание обозначается как $\bar{x}_0, F(x)$ или м. о. (x) , и определяется по уже известному теоретическому распределению.

При прерывности случайной величины

$$\bar{x}_0 = \sum x \times p(x)$$

где $p(x)$ — функция, которая определяет вероятности $p(x_i)$ для всех x_i случайной величины.

При непрерывности случайной величины

$$\bar{x}_0 = \int_{-\infty}^{\infty} x dF(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx.$$

где $f(x)$ — плотность вероятности,

$F(x)$ — функция распределения случайной величины.

7а

7. Выборочное среднеквадратичное отклонение

Эта характеристика пользуется наибольшей популярностью:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum n_i (x_i - \bar{x})^2}.$$

При $n_1 = n_2 = \dots = n_k = 1$, т. е. в случае несведения в разряды наблюдаемых значений x_i ,

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}.$$

Дисперсией δ^2 теоретического распределения прерывной случайной переменной является математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины x от ее определенного значения x_0 , т. е.

$$(x_n - \bar{x}_0)^2.$$

Это математическое ожидание представляет собой: если случайная величина прерывная, то

$$\delta^2 = \sum_k p(x_k) (x_k - \bar{x}_0)^2,$$

где $p(x_k)$ — вероятность случайной величины x_k .

Роль в теории вероятности среднего квадратического отклонения наглядно показывает неравенство Чебышева, которое имеет вид:

$$p(x - \bar{x}_0 \leq t\delta) \geq 1 - \frac{1}{t^2},$$

где x — случайная величина;

\bar{x}_0 — ее математическое ожидание;

$t > 0$ — некоторый численный коэффициент.

8а

8. Теоремы о средних значениях и дисперсиях

Теоремы о средних значениях и дисперсиях дают представление о том, как себя поведут средние значения и дисперсии при объединении нескольких выборок, у каждой из которых есть свое средневзвешенное значение случайной величины.

Пусть объемы N_1, N_2, \dots, N_k , которые имеют соответствующие средневзвешенные x_1, x_2, \dots, x_k , объединены в одно.

Теорема 1. Математическое ожидание (среднее значение) суммы случайных величин равно сумме их математических ожиданий (средних значений).

То есть математическое ожидание суммы

$$\bar{x} = \frac{N_1 x_1 + N_2 x_2 + \dots + N_k x_k}{N_1 + N_2 + \dots + N_k},$$

точно так же себя ведет дисперсия.

Теорема 2. Дисперсия объединенной выборки S^2 равна средневзвешенной из дисперсий отдельной выборки, сложенной с дисперсией средних x_i частных выборок, т. е. если дисперсии $S_1^2, S_2^2, \dots, S_k^2$ принадлежат выборкам N_1, N_2, \dots, N_k , то в случае объединения этих выборок общая дисперсия

$$S^2 = \frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2 + \dots + N_k S_k^2}{N} + \frac{N_1 (\bar{x}_1 - \bar{x})^2 + N_2 (\bar{x}_2 - \bar{x})^2 + \dots + N_k (\bar{x}_k - \bar{x})^2}{N}.$$

66 Кроме вышеприведенных оперируют следующими мерами положения:

- 1) среднее гармоническое;
- 2) среднее логарифмическое;
- 3) скользящее среднее;
- 4) накопленное среднее.

Но эти меры используются не очень часто.

2. Меры рассеяния.

Если меры положения характеризовали точки, вокруг которых происходило колебание значений случайных величин, то меры рассеяния характеризуют группировку самих значений колеблющейся величины x или x_i .

Подхарактеристика мер рассеяния:

1. Выборочное среднее абсолютное отклонение Θ

$$\Theta = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N} (x_i - \bar{x}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n n_i (x_i - \bar{x}),$$

где выражение $(x_i - \bar{x})$ (читается: модуль разности x_i и \bar{x}) — абсолютное отклонение наблюдаемого значения x_i случайной величины от выборочного среднего.

2. Выборочная дисперсия S^2 ; она характеризует рассеяние или однородность случайной величины x_i

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n n_i (x_i - \bar{x})^2.$$

86 Очевидно, что объемы N_1, N_2, \dots, N_k объединены в одну выборку с соответствующими дисперсиями

$$S_1^2, S_2^2, \dots, S_k^2.$$

Вторым слагаемым является дисперсия средних \bar{x}_i частных выборок около среднего объединенной выборки \bar{x} . Поэтому очевидно, что

$$S^2 > \bar{S}^2.$$

Если бы $\bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \dots = \bar{x}_k = \bar{x}$, то второе слагаемое тоже равнялось бы нулю.

В таком случае

$$S^2 = \bar{S}^2 = \frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2 + \dots + N_k S_k^2}{N} + 0,$$

где \bar{S}^2 — средневзвешенная из дисперсий исходных выборок.

Таким образом, дисперсия суммы (или разности) независимых случайных величин равна сумме дисперсий этих величин.

В общем случае,

$$\sum \delta^2 = \sum \delta_i^2.$$

56 Функция $F(x) = F(x')$ называется функцией распределения случайной прерывной величины x .

2. Случайная величина — непрерывна.

Плотностью вероятности P_x в точке $X = x$ называется предел вида

$$\frac{P(x < X < x + dx)}{dx}$$

Следовательно, функцию $F(x')$ можно дифференцировать, тогда

$$F'(x) = f(x)$$

Основные свойства функции распределения следующие:

- 1) $x = \infty; F(\infty) = 1;$
- 2) $x = -\infty; F(-\infty) = 0;$
- 3) если аргумент x возрастает, т. е. если рассмотреть случай $x_2 > x_1$, то $F(x_2) > F(x_1)$.

Если рассмотреть $\Delta F(x) = F(x_2) - F(x_1)$, то

$$P(x_1 < x < x_2) = F(x_2) - F(x_1) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx.$$

76 Если взять $t = 3$, то из (40) следует:

$$P((x - \bar{x}_0) \leq 3\delta) > 1 - \frac{1}{9} > 0,88,$$

что означает вероятность отклонения случайной величины x от своего среднего значения x_0 , на величину большую, чем 3δ . Причем полученный результат справедлив при любом теоретическом распределении.

Как разновидностью меры рассеяния в приборостроении, пользуются коэффициентом изменчивости — вариации.

3. Еще одной важной разновидностью меры рассеяния в приборостроении для статистического анализа и контроля является размах выборки W , его также называют шириной эмпирического распределения.

$$W = x_{rmax} - x_{rmin}$$

Как видно из формулы, размах выборки характеризует однородность наблюдаемых значений случайной величины x_i . В зависимости от знака W , можно заключить об отношении случайной величины к мере положения (конкретно, выборочной медиане), что и видно из следующей системы:

$$\begin{cases} W^+ = x_{rmax} - Me \\ W^- = Me - x_{rmin} \end{cases}$$

9a

9. Закон распределения Пуассона и Гаусса

Закон Пуассона. Другое название его — закон распределения редких событий. Закон Пуассона (З. П.) применяется в тех случаях, когда маловероятно, и поэтому применение Б/З/Р нецелесообразно.

Достоинствами закона являются: удобство при вычислении, возможность вычислить вероятность в заданном промежутке времени, возможность замены времени другой непрерывной величиной, например, линейными размерами.

Закон Пуассона имеет следующий вид:

$$p_{r,l} = \frac{a^r e^{-a}}{r!},$$

и читается следующим образом: вероятность появления события A в m раз при n независимых испытаниях выражается формулой вида (59), где $a = np$ — среднее значение $p(A)$, причем a является единственным параметром в законе Пуассона.

Закон нормального распределения (закон Гаусса). Практика неуклонно подтверждает, что закону Гаусса с достаточным приближением подчиняются законы распределения ошибок при измерениях самых различных параметров: от линейных и угловых размеров до характеристик основных механических свойств стали.

Плотность вероятности закона нормального распределения (в дальнейшем Н. Р.) имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2t^2}},$$

10a

10. Биноминальный и полиномиальный законы распределения.

Равновероятное распределение. Закон распределения эксцентриситета

1. Биноминальный закон распределения. Этот закон математически выражается формулой разложения бинома $(q + p)^2$ в следующем виде

$$\begin{cases} P_{m,n} = \frac{n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m} \\ P_{m,n} = C_n^m p^m q^{n-m} \end{cases}$$

где $n!$ — читается как n -факториал,

C_n^m — биномиальный коэффициент, выражающий количество сочетаний из n элементов по m , причем, n — положительное целое число.

2. Полиномиальный закон распределения (П/З/Р). В предыдущем случае рассмотрено два исхода появления случайного события A : или оно появится с вероятностью p , или не появится с вероятностью $q = 1 - p$.

Когда количество независимых испытаний равно n , то велика вероятность того, что каждое событие V_i произойдет n раз, где $i = 1, 2, \dots, k$. Причем $\sum_{i=1}^k n_i = n$ определяется формулой

$$p(n_i) = \frac{n!}{n_1! n_2! \dots n_k!} p_i^{n_i}.$$

11a

11. Другие законы распределения

В технической промышленности, в том числе приборостроении, применяются некоторые другие виды законов распределения, кроме выше рассмотренных. При этом распределение случайных величин идет уже по самым разнообразным их параметрам. Приведем краткое изложение еще трех законов распределения случайной величины.

1. Композиция законов распределения, так называют закон распределения суммы случайных величин, причем слагаемые суммы заданы предварительно.

Если рассмотреть случайную переменную $Z = X + Y$, где X и Y имеют соответствующие плотности вероятности и независимы, то плотность вероятности Z

$$\varphi(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1(t) \varphi_2(t) - (t) dt,$$

где t выступает как переменная интеграции. Замечено: какому закону распределения следуют X и Y , тому же следует Z .

2. Экспоненциальный закон распределения. Этому закону распределения следуют случайные величины, удовлетворяющие условию. Его плотность вероятности

$$f(x) = \frac{1}{\bar{x}_0} e^{-\frac{x}{\bar{x}_0}}.$$

Функция распределения

$$\Psi(x) = \frac{1}{\bar{x}_0} \int_0^x e^{-\frac{x}{\bar{x}_0}} dx = 1 - e^{-\frac{x}{\bar{x}_0}}.$$

12a

12. Взаимозаменяемость как важнейший конструкторский принцип в приборостроении

Современное приборостроение развивается в направлении все большего вторжения радиоэлектронной аппаратуры в машиностроение. Удобно объяснить роль взаимозаменяемости на примере электронного приборостроения. Ясно, что совокупно различные радиоэлектронные аппараты состоят практически из одних и тех же радиоэлектронных деталей, как и различные слова, предложения, текст самой этой книги состоят из одних и тех же букв.

В радиоэлектронике радиодетали характеризуются максимальным и минимальным напряжениями, токами, мощностью, входными и выходными параметрами и, разумеется, геометрическими размерами радиодеталей. Радиоэлектронное приборостроение является частным случаем приборостроения.

В радиоэлектронике производство самих радиодеталей и радиоэлектронные аппараты носят унифицированный характер.

В других секторах приборостроения эта унификация достигается с соблюдением определенной погрешности (допуска) других параметров: гидравлических, оптических, механических и т. д.

В итоге одни и те же, например, подшипники находят применение в производстве, казалось бы, совсем отдаленных друг от друга изделий.

Таких взаимозаменяемых узлов и деталей, которые позволяют сборку самых разнообразных приборов, механизмов без предварительной обработки этих узлов, в машиностроении очень много: такое свойство узлов (деталей) называют взаимозаменяемостью.

106 В виде формулы (58) получен искомый полиномиальный **полиномиальный закон распределения**.

3. Равновероятное распределение. Рассматривая вышеприведенные законы распределения случайной величины, пришлось подчеркнуть различия в их проявлении при условиях: прерывно ли распределение случайных величин или непрерывно?

Другое название этого закона — равномерное, или прямоугольное распределение, несет в себе больше информации о кривой этого закона. Вероятность наступления случайного события A на рассматриваемом промежутке одинакова в любой точке из промежутка $[b; c]$. Для P/P плотность

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } -x < b \\ \frac{1}{c-b}, & \text{при } -b < x < c \\ 0, & \text{при } -x > c \end{cases}$$

где b, c — параметры $З/P/P$.

Функция распределения для $З/P/P$ имеет вид:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{c-b} \int_b^x dx = \frac{x-b}{c-b}$$

126 Взаимозаменяемость — это важнейший принцип проектирования, производства и эксплуатации, который обеспечивает сборку (ремонт) независимо изготовленных деталей в узел (узлы) механизмов (приборов). Взаимозаменяемость как принцип предъявляет к узлам (деталям) следующие требования к точности их параметров: геометрическая, механическая, электрическая, и т. п.

При соблюдении точности по вышеуказанным параметрам, технические характеристики узлов (изделий) окажутся в заданных (допустимых) пределах, а их производство — рентабельным.

Достижение вышеуказанных требований в немалой степени зависит от качества материала, из которого изготавливаются узлы изделий. Качеством материала (а это его химические и физические свойства) задается долговечность узлов изделий в приборостроении.

В современном машиностроении целые заводы, полностью работающие в автоматизированном режиме, — привычное явление. Такая степень автоматизации, кооперации, специализации современного производства невозможна без взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемость узлов и деталей следует из требований к их точности, а также из необходимости унификации, нормализации, стандартизации.

Требование к точности унифицированных узлов предполагает:

- 1) наличие определенного стандарта для каждого вида изделий, выражается в нормализации допуска к этой самой точности;
- 2) соблюдение специфической технологии для каждого вида серийно выпускаемого изделий;
- 3) соблюдение единства мер (последнее обеспечивает непрерывная проверка измерительных средств).

96 где \bar{x}_0 — среднее значение случайной величины;
 τ — среднее квадратическое отклонение той же случайной величины;
 $e = 2,7183...$ — основание натурального логарифма;
 \mathcal{J} — параметр, который удовлетворяет условию.

Причина широкого применения закона нормального распределения теоретически определяется теоремой Ляпунова.

При известных \bar{x}_0 и δ ординаты кривой функции $f(x)$ можно вычислить по формуле

$$n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2},$$

где t — нормированная переменная, $t = \frac{x - x_0}{\delta}$ (t) плотность вероятности z . Если подставить z и (t) в формулу, то следует:

$$y = f(x) = \frac{n(t)}{\delta}$$

Кривую $З.Н.Р.$ часто называют кривой Гаусса, этот закон описывает очень многие явления в природе.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\delta^2}} dx$$

116 В формулах \bar{x}_0 — среднее значение случайной величины.

Этот закон находит применение при исследовании самых разнообразных вопросов в средствах автоматизации, в производстве радиоэлектронной аппаратуры. Например, для определения вероятности безотказной работы в течение времени $X > x$.

3. Закон распределения Стьюдента. Этот закон представляет интерес, если число выборов $n < 30$, при $n > 30$ он переходит в нормальный закон распределения. Закон имеет следующий вид:

$$t = \frac{\sqrt{n}(\bar{x} - \bar{x}_0)}{S}$$

где n — объем выборки,

t — случайная переменная.

Из-за ее сложного вида не приводим формулу для плотности вероятности (f), отметим только, что функция (f) является четной и ее кривая симметрична относительно оси ординат. Функция распределения этого закона имеет следующий вид:

$$F(t_0) = \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt.$$

Формула читается так: вероятность того, что случайная переменная t примет значение меньше заданного t_0 , есть интеграл от плотности этой вероятности (f).

13а

13. Классификация взаимозаменяемости

По степени сопряжения различается:

1. **Полная взаимозаменяемость** (когда степень сопрягаемости очень высокая) — прочие физические параметры узлов точно соответствуют заданному, а это диктует их соответствие определенной заданности, которая ограничена минимальными и максимальными значениями, а последние следуют из эксплуатационных требований, сама граница допуска рассчитывается по теоретико-вероятностному методу, который изложен в предыдущей главе.

Когда взаимозаменяемость полная, то упрощается сборка, растет масштабность кооперации, повышается степень специализации и обеспечения запчастями, а также эффективность производства, в силу более рационального расхода времени, высокого темпа работы.

В итоге становятся возможными конвейерное производство, организация цехов автоматизированных заводов. Все вышеуказанные достоинства этого вида взаимозаменяемости были бы невозможны без соблюдения довольно жестких требований к точности параметров.

2. Исходя из геометрических параметров и учитывая, насколько присоединяемые узлы различают **внешнюю взаимозаменяемость**, когда речь идет о сравнении наружных и внутренних размеров, и **внутреннюю взаимозаменяемость**, когда речь идет о том же самом, однако рассматриваются внутренние части узлов и деталей.

3. **Функциональная взаимозаменяемость**. Имеется в виду взаимозаменяемость узлов, когда, несмотря на различие между ними по некоторым параметрам,

14а

14. Взаимозаменяемость по геометрическим и механическим параметрам

Применительно к практике геометрические параметры называют номинальными. Действительные результаты отличаются от номинальных. В достижении заданной шероховатости поверхности или длины, ширины, высоты, радиуса, может получиться деталь формы совсем другого геометрического тела: в последнем случае называют **макроотклонениями поверхности**. Эти отклонения характеризуются волнистостью, при этом расстояния между соседними возвышениями, впадинами оказываются больше, чем высота или глубина.

Если эти расстояния меньше, чем высота или глубина, то дефект называют **микроотклонениями**.

Необходимость повышения качества в производстве предполагает уменьшение отклонения всех порядков. Исходя из этого, требования к обеспечению взаимозаменяемости устанавливают обязательность соблюдения точности по линейным и угловым размерам, геометрической форме поверхности, взаимному расположению поверхностей друг к другу или к осям, волнистости и шероховатости поверхности.

Директивными документами для достижения уменьшения отклонений служат рабочие чертежи, ГОСТы, рекомендации ПСО (международная организация по стандартизации).

Взаимозаменяемость характеризуется и по многим другим параметрам, кроме геометрических, например, по механическим, физическим, пневматическим, гидравлическим, электрическим и другим. Эти виды взаимозаменяемости объединяет то, что они функцио-

15а

15. Допуски и посадки: их классификация. Допуски и посадки типовых узлов и деталей в приборостроении

Характеристики допуска и посадки — понятия, характеризующие процесс соединения узлов (деталей), т. е. степень приемлемости рассматриваемых узлов для сборки определенного механизма (прибора).

«Посадка»: это разность между линейными размерами отверстия и вала. Когда соединяют два узла цилиндрической формы, то внутренняя поверхность «одеваемого» цилиндра называют охватывающей поверхностью, внешнюю поверхность другого называют охватываемой поверхностью, если поверхность охватывающая, то ее называют отверстием, в противоположном случае — валом. Если, диаметр отверстия больше, чем диаметр вала, то разность диаметров называют зазором. Если же диаметр вала больше — натягом.

В каких пределах возможен зазор и натяг — это определяет допуск, который и обеспечивает требуемую посадку. Допуск — это разность между отклонениями зазора или натяга. Номинальное, то есть расчетное (или заданное) значение зазора находится между этими пограничными значениями. Разность между верхним пределом и номинальным значением называют **верхним предельным отклонением**, разность с нижним пределом — **нижним предельным отклонением**. Если взять разность между отклонениями, то получим допуск размера. Именно системой допуска и посадки определяется (устанавливается) класс точности узлов.

Если в расчетах или графически совместить соответствующие границы отверстия и вала, то между верхним и нижним пределами обнаруживается зона, которую называют полем допуска.

16а

16. Основные понятия. Теории точности механизмов. Причины ошибок

Движущийся узел некоторого механизма, который приводит в движение другой узел, называют ведущим звеном. Тот узел, который ведущий приводит в движение, называют **ведомым звеном**.

Точность любого механизма определяется тем, насколько точно соответствуют параметры узлов заданным (или расчетным). Этими и другими вопросами, такими как выявление погрешностей звеньев, влияющих на точность механизмов в целом, занимается **теория точности механизмов**.

Современная теория точности механизмов состоит из теории механизмов и машин, технологии, метрологии, теории ошибок.

Здесь излагается теория ошибок, ее задачей является: определить пути повышения точности механизмов, суммируя частные погрешности (т. е. погрешности узлов). Теория точности механизмов занята решением двух задач.

1. **Прямая задача** — трудно решаемая задача. Ее суть состоит в определении соответствия параметров каждого узла техническим требованиям. Эта работа требует согласования большого числа параметров.

2. **Обратная задача**. При решении этой задачи, главным является соответствие механизма конечному результату.

Характерные ошибки:

1) ошибка положения механизмов. Имеется в виду следующее: если взять два механизма, которые должны совершить некоторое согласованное дей-

146 нальны. Следовательно, требуется однородность изделий, которая предполагает однородность самих исходных материалов и полуфабрикатов. **Механические параметры взаимозаменяемости** — это характеристики упругости элементов, которые, в свою очередь, зависят от физико-механических свойств исходного материала, а также от технологии производства этих элементов.

В качестве упругих свойств элементов рассматривается реакция этих элементов на прогиб и раскрутку, последние, как известно из теоретической механики, характеризуются модулем упругости E и коэффициентом Пуассона M . Допуск на них определяется количеством уравнений, характеризующих систему.

В общем же случае для достижения полной взаимозаменяемости требуется обеспечение наименьшего разброса: любой плавности прогиба или раскрутки упругого элемента к приложенным усилиям; любых приемлемых значений этой плавности; любой остаточной деформации после снятия усилий; гистерезиса: любое несоответствие характеристик при погружении и разгрузке упругого элемента и др.

При рассмотрении взаимозаменяемости по другим параметрам, требования примерно такие же.

Небольшим характерным отличием обладает взаимозаменяемость по магнитно-электрическим параметрам. Специфика этих элементов такова, что требуемой величины можно достичь путем различного сочетания тех же магнитно-электрических элементов.

166 ствие, то несмотря на полное соответствие параметров ведущих звеньев, обнаруживается разница; эта разница и есть искомая ошибка. Эти механизмы можно себе представить как механизм действительный и его теоретический прототип, то есть под ошибкой имеется в виду несоответствие образца теоретическому прототипу;

- 2) ошибка перемещения механизмов: речь идет о несоответствии параметров ведомых узлов при тех же параметрах ведущих. Только теперь разница в перемещении, а не в положении ведомых узлов;
- 3) ошибка положения ведомого звена — имеется в виду та же ошибка, что и в (1), только теперь ее причина в неточности ведущих звеньев, последние часто являются следствиями неправильных входных данных;
- 4) ошибка перемещения ведомого звена: то же самое, что и ошибка (2), только теперь причина в ведущих звеньях, но по той же причине, что и в (3);
- 5) ошибка передаточного отношения (имеется в виду разность между действительным i_g (у образца) и теоретическим i_m передаточными отношениями):

$$\Delta i = i_g - i_m;$$

- 6) ошибка линейного передаточного отношения. Аналогично предыдущей ошибке, речь идет о разности между действительным i'_g и теоретическим i'_m линейными передаточными отношениями

$$\Delta i' = i'_g - i'_m.$$

136 это различие не сказывается на выполнении функций, для которых они предназначены.

Само собой разумеется, что задать теоретически границы допуска при функциональной взаимозаменяемости невозможно, это делается эмпирически.

После анализа полученных результатов (степени их влияния на работу установок и механизмов, на эксплуатационные методы) устанавливают оптимальные допуски на исследуемые параметры. Сами параметры называют функциональными параметрами. Насколько высока роль принципа взаимозаменяемости в производстве изделий машиностроения (приборостроения), говорит срок их службы, т. е. повышая степень взаимозаменяемости, можно увеличить срок службы механизмов и приборов.

Конструктивные требования больше опираются на функциональные параметры, поскольку при этом расходы, а следовательно, и стоимость изделий наименьшие.

Уровень взаимозаменяемости в производстве тех или других узлов зависит от того, насколько трудоёмки:

- 1) изготовление узлов и деталей;
- 2) изготовление механизмов из этих узлов.

Если взять отношение характеристик трудоёмкости и ввести коэффициент взаимозаменяемости KB , равный этому отношению, $KB < 1$, поскольку производство узлов и деталей менее трудоёмки, чем сборка из них механизмов.

$K_B \rightarrow 1$ говорит о высокой рентабельности и эффективности производства, о наименьших потерях в производстве узлов и деталей, а значит, и самих приборов.

156 Линия, соответствующая номинальному значению зазора, будет находиться в поле допуска, она называется нулевой линией.

Основные типы допусков и посадок:

1. Посадки с полем допуска отверстия находятся над полем допуска вала, может случиться, что нижняя граница поля допуска отверстия совмещается с верхней (скользящие посадки). В этом случае говорят о посадках с зазором, причем зазор обеспечен в режиме соединения.

2. Поле допуска вала находится над полем допуска отверстия. В таком случае говорят о посадке с натягом в соединении.

3. Когда поля допусков отверстия и вала чередуются, то есть имеют место ситуации (1) и (2). В этом случае говорят о переходных посадках.

Допуски и посадки характеризуются предельными зазорами (натягами), когда зазоры (или натяги) в соединяемых деталях не одинаковы, имеет место их разброс между предельными зазорами (натягами). Существуют понятия — **наибольший зазор (натяг)**. Соответственно, наименьший — **наименьший зазор (натяг)**. Разница между предельными значениями зазоров (или натягов) называется допуском посадки.

Не входящие в рассматриваемую систему системы отверстий принимаются равными нулю. Эти нулевые отверстия называются основными отверстиями. Совокупность изменений предельных отклонений при некотором номинальном значении размеров вала составляют содержание класса точности. Причем верхние отклонения валов нулевые, они называются **основными валами**.

Следует отметить, что все стандарты устанавливаются для эксплуатации КИП при комнатной температуре, то есть при 20 °С.

17а

17. Факторы, порождающие ошибки в приборостроении

Классификация факторов:

- 1) причины, связанные со схемой погрешностей, которые появляются при изготовлении механизмов (т. е. при применении схемы);
- 2) технологические причины, которые по линейным, т. е. геометрическим размерам разделяются на:
 - а) ошибки размера — отклонения размеров элементов у образца и теоретического прототипа от номинальной величины, а также ошибки между элементами, которые появляются при перемещении узлов, составляющих пару (кинематические пары);
 - б) ошибки формы у рабочих поверхностей тех же пар;
 - в) ошибки во взаимном расположении рабочих поверхностей узлов;
 - г) отклонения в шероховатости и волнистости от номинальных;
- 3) ошибки, вызванные силами в самом механизме (это силы деформации, трения, вибрации и прочие, а также воздействие динамических факторов (например, ударно-колебательное движение));
- 4) ошибки, связанные с нарушением температурного режима эксплуатации механизма, из-за изменения сопротивлений и линейных размеров в узлах;
- 5) ошибки, связанные с износом механизмов, в этом случае могут появиться любая из предыдущих ошибок или все вместе.

Передаточное отношение — это отношение мгновенных угловых скоростей, что одно и то же с мгновенными угловыми перемещениями звеньев ведомого

18а

18. Первичные ошибки механизмов

После разработки конструкторских чертежей начинается реализация этих чертежей. Производитель очень часто отклоняется от чертежа: для него становится важным получение функционального результата.

На проверку «появляется» несоответствие механизма конструкторскому замыслу («теоретическая» ошибка): это несоответствие («теоретическую» ошибку) называют ошибкой схемы.

Методы обнаружения ошибок.

1. **Аналитический метод** — самый общий и распространенный метод обнаружения ошибок.

Сопоставляются уравнения движения уже имеющегося механизма и его теоретического прототипа. Цель: получить зависимость, которая выражала бы разность движений ведомых узлов в этих механизмах, в зависимости от движения ведущего звена уже произведенного механизма.

Полученная зависимость, являясь функцией от движения ведущего звена, как правило, соответствует искомой ошибке схемы $\Delta S_{\text{сх}}$:

$$\Delta S_{\text{сх}} = S_{\text{в}} - S_{\text{м}},$$

где $S_{\text{в}}$, $S_{\text{м}}$ — параметры движения ведомых узлов механизма (теоретического и действующего).

В итоге получается функция от ошибок схемы. Значение погрешности получают, разделив линейное перемещение нарушенного $\Delta S_{\text{в}}$ ведомого звена на чувствительность измерительного устройства R , и находят ошибку схемы, выраженную в:

$$\Delta S_{\text{м.изм}} = \frac{\Delta S_{\text{в}}}{R}.$$

19а

19. Методы определения первичных ошибок

Первичной ошибкой является неточность геометрической формы рабочих поверхностей узлов (звеньев). Подобными ошибками могут считаться отклонения разного рода: геометрические параметры, связанные с формой и поверхностью узлов, а также с их взаимным расположением.

Кинематическая пара или звено механизма — это два или более элементов механизма, например, ведущий и ведомый узлы. Для их согласованной работы выбираются конкретные параметры, число которых известно из чертежа. При изготовлении узла каждый из этих параметров может получиться несоответствующим данному чертежу, поэтому число первичных ошибок целесообразно взять равным количеству параметров. Учитываются только рабочие, т. е. взаимодействующие поверхности узлов.

Число скалярных первичных ошибок должно быть столько, сколько количество координат.

Рассмотрим примеры.

1. Элемент кинематической пары, оформлен как точка. В системе координат XYZ положение точки характеризуется тремя координатами, по каждой из которых может быть допущено отклонение. Следовательно, число первичных ошибок три уже в скалярной форме.

2. Элемент кинематической пары имеет форму линии, это значит, что число координат в системе XYZ четыре. Число первичных ошибок четыре.

3. Элемент кинематической пары имеет форму плоскости: в этом случае число первичных ошибок не растет и равно трем.

20а

20. Исследование точности механизмов

В процессе исследования механизмов анализируются: причины возникновения ошибок, предполагаемые (ожидаемые) величины этих ошибок, методы контроля ошибок и проверки приборов. Все эти вопросы принадлежат метрологии, как неотъемлемой части производства и эксплуатации изделий в «Приборостроении».

Метрология. Основные понятия.

1. **Действующая ошибка кинематической пары** — так называют результирующая ошибка в формах, размерах элемента кинематической пары, которая проявляется непосредственно в процессе работы, ее невозможно фиксировать как постоянную величину, поскольку механизм работает непрерывно. Например, соприкасающиеся поверхности узлов заменяются другими, имеющими свои возможные отклонения от заданных, перемещение ведущего звена $f(\varphi)$ является аргументом для функций закона распределения ошибок.

$$\Delta F = f(\varphi).$$

2. **Линия действия** — так называют линию, которая является общей нормалью к соприкасающимся рабочим поверхностям, нормаль проходит через точку касания поверхностей. Из-за отклонения параметров у элемента кинематической пары практическая линия действия отличается от теоретической (заданной), что является нередким явлением.

186 2. **Экспериментальный метод** применяют в том случае, когда использование предыдущего метода становится проблематичным из-за ряда причин, например, из-за плохого знания прибора, или же когда в приборах имеются упругие узлы, не позволяющие установить линейную зависимость между искомыми величинами. В случае обнаружения дефектов подвергают исследованию группы одинаковых приборов (механизмов).

После определения ряда одинаковых параметров, для которых характерны общие по роду отклонения (для этого каждая единица прибора (механизма) исследуется многократно; в одних и тех же точках, где наблюдались отклонения, определяются средние значения параметров для каждой единицы) находят среднее значение для всей исследуемой партии.

После обработки полученных данных удается определить функцию от ошибки схемы прибора (механизма). Достоинством этого метода является следующее: функцию от ошибок схемы находят, например, методом наименьших квадратов, что значит уменьшение влияния ошибок каждого механизма на общую ошибку для всей группы. Если построить кривую для рядов найденных ошибок, то она будет отражать не только искомые ошибки схемы, но и систематические, которые были допущены при изготовлении или сборке приборов.

206 Взаимодействуя друг с другом в процессе эксплуатации, отдельные ошибки порождают комплексную ошибку, которая не подчиняется закону простого суммирования. Первичные ошибки рассматривают как частные случаи комплексной: при анализе комплексной (функциональной) ошибки ее раскладывают в ряд, состоящий из первичных ошибок. Этот метод помогает увидеть ошибки, допущенные в самом технологическом процессе, в разных его стадиях.

Производимые расчеты исходят от функциональной (т. е. практически существующей) ошибки узлов.

Методы анализа ошибок:

- 1) дифференциальный метод;
- 2) метод преобразованного механизма;
- 3) геометрический метод;
- 4) метод планов малых перемещений;
- 5) метод относительных ошибок;
- 6) метод плеча и линии действия.

Первые пять методов служат для анализа первичных ошибок.

Последний метод применяется для исследования функциональных действующих (т. е. комплексных) ошибок, причем является достаточно надежным.

Для перехода от комплексных ошибок к частным и наоборот существует специальная функция, которую называют **передаточным отношением ошибок** (ее нередко называют еще **коэффициентом влияния**).

176 и ведущего. Пусть угол поворота ведомого звена есть φ_1 , причем φ_2 зависит от угла поворота ведущего звена φ_1 . Тогда передаточное отношение:

$$i = \frac{w_2}{w_1} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$$

Линейное передаточное отношение: речь идет об отношении мгновенных линейных скоростей (что одно и то же с мгновенными линейными перемещениями) ведомого и ведущего звеньев в механизме. Если эти перемещения соответственно обозначить как v_2 , v_1 , то эти отношения:

$$i' = \frac{v_2}{v_1} = \frac{dS_2}{dS_1}$$

$$i' = i = \frac{r_2}{r_1}$$

r_1, r_2 — радиусы ведущего и ведомого звеньев.

Получили уравнение, связывающее угловое и линейное передаточные отношения.

196 В этом случае в числе параметров могут быть и направляющие углы, но общее число первичных ошибок остается неизменным.

Если плоскостей несколько, то число первичных ошибок будет кратно трем: $3l$, где l — количество плоскостей.

4. В случае, когда элемент кинематической пары имеет форму сферы, отклонения могут иметь радиус сферы по трем координатам в декартовой (XYZ) системе координат плюс радиус сферы по длине. Число первичных ошибок равно четырем, т. е. равно количеству параметров с возможными отклонениями.

5. Число первичных ошибок может дойти до 11, например элемент кинематической пары, состоящий из цилиндра и двух плоскостей. Поскольку для цилиндра (кругового) число первичных ошибок равно пяти.

6. Если цилиндр не круговой, то число первичных ошибок — шесть.

7. Если взять круговой конус, то число первичных ошибок — семь, для некругового — восемь. В случае усеченного кругового конуса также восемь.

Числа первичных ошибок элемента кинематической пары, суммируясь для каждого звена, в итоге составляют суммарное число первичных ошибок для всего механизма.

21а 21. Метод плеч и линия действия

Метод плеч и линий действия позволяет выявить все погрешности, приводящие к кинематической не- точности прибора.

Погрешности делят на следующие группы:

1. ΔF_T — так выделяют те избыточные приращения в общем плече, которые возникают из-за отклонений в подвижных звеньях механизма.

2. $\Delta F_{л.д.}$ — так обозначают погрешности, которые возникают из-за ошибок на линии действий или на параллельных ей линиях.

3. $\Delta F_{н.э.}$ — приращения (погрешности), являющие- ся следствием ошибок у неподвижных звеньев меха- низма.

Общее приращение ΔF_{Σ} , как нетрудно себе пред- ставить, является суммой вышеперечисленных групп, то есть

$$\Delta F_{\Sigma} = \Delta F_T + \Delta F_{л.д.} + \Delta F_{н.э.}$$

Формула для расчета передачи ошибок:

$$\Delta F_2 = \Delta F_1 \frac{r_2}{r_1}$$

где $\Delta F_2, \Delta F_1$ — действия соответственно ведомого и ведущего звеньев,

i — линейное передаточное отношение между уз- лами,

r_2, r_1 — соответственно, радиусы точек, находя- щихся на рассматриваемых узлах.

Не всегда совпадают линии движения ведомого зве- на и действия: они могут образовать некоторый угол α . В таком случае приращение на линии движения

$$\Delta S = \frac{\Delta F_{\Sigma}}{\cos \alpha}$$

22а 22. Расчет точности механизмов. Обеспечение заданной точности

Цель вопроса — определить методику обеспечения заданной точности в партии из однородных механиз- мов. В пределах допусков требуется обеспечить за- данную точность. Возможен разброс самых различ- ных типов ошибок. Сложность ситуации в том что одни и те же ошибки могут влиять на точность механизма в конкретном случае, но те же ошибки в других слу- чаях могут не сказаться на их точности. Такие ошибки называют случайными, а закон их распределения — случайными функциями.

При определении суммарной точности прибора складывают крайние данные в пределах допуска, сум- мированию подвергаются все ошибки по правилам теории вероятности. Несмотря на большое мно- жество случайных величин, среди них все же есть та- кие, которые остаются постоянными при разных поло- жениях или перемещениях механизма.

Поиск и определение характеристик случайной ве- личины (ошибок) подводится к нахождению.

Для определения значений существует много мето- дов, вплоть до табличных.

Краткий алгоритм расчета заданной точности для партии однородных механизмов (приборов):

- 1) уточняем, каковы ошибки выбранной схемы меха- низма (прибора);
- 2) распределяем ошибки по составным частям устройства, определив их как частные сортируем, отбросив незначительные;
- 3) для каждой частной (первичной) ошибки нужно определить границы допуска (характеристики $\Delta_0, \delta, \alpha, \lambda$);

23а 23. Расчет точности электрических цепей приборов. Методы расчета

В электрических цепях механизмов в основном ис- пользуют следующие элементы: сопротивления R ; ем- кости C ; индуктивности L ; взаимные индуктивности M .

Параметры этих элементов не обязательно зави- сят от токов, которые протекают через них. В та- ком случае эти элементы называют **линейными элементами**. **Ведущими** в этих цепях являются элементы, величина которых может быть регулирова- на. Систематическая погрешность схемы называется **структурной ошибкой**, которая является аналогом ошибки схемы.

Разность между практическим и идеальным вы- ходными напряжениями называют ошибкой цепи. Из-за ошибки цепи и выходных параметров возникает погрешность, которую называют ошибкой выходного напряжения.

Если при изменении выходных параметров на по- стоянную величину между U_n и U_T образуется разность, то ее называют ошибкой изменения цепи по напряже- нию (или по току), где U_n — выходное напряжение реаль- ной цепи, U_T — выходное напряжение идеальной цепи.

Если же $(U_n - U_T)$ возникает из-за ошибок цепи и входных параметров, то такую разность называют **ошибкой изменения выходного напряжения**.

Ошибку выходного напряжения ΔU , которая воз- никла из-за первичных ошибок, можно выразить че- рез изменение параметра

$$\Delta U = E \times T \Delta q_i,$$

$$\text{где } \left(\frac{\partial \varphi}{\partial q_i} \right)_0 = T.$$

24а 24. Другие методы расчета точности электрических цепей приборов

1. **Аналитический метод.** В цепях, где есть реак- тивные элементы, рассматриваются реальные (не идеальные) цепи. Разница между ними — наличие по- грешностей в реальных и отсутствие их в идеальных — приводит к осложнению уравнений для описания реальных цепей.

Метод Лапласа. Используется преобразованная цепь, и все параметры, входящие в формулу, подвер- гаются S-преобразованию. Для параметра q_i , коэф- фициент влияния для погрешности:

$$T(S) = \Delta U_{\text{вх}}(S) \frac{1}{q_i(S)} \varphi_{\text{аб.эф}}(S) \times \varphi_{\text{от.сд}}(S).$$

В формуле $\varphi_{\text{аб.эф}}(S), \varphi_{\text{от.сд}}(S)$ φ — функции передачи первичных ошибок в $U_{\text{вх}}$ в расчетной и преобразован- ной цепях, соответственно. $\Delta U_{\text{вх}}(S)$ — входное на- пряжение, $q_i(S)$ — сопротивление элемента q_i .

Все параметры элементов q_i расчетной цепи преобразованы в соответствующие для $q_i(S)$ элементы. Например, реактивные сопротивления:

$$L \rightarrow SL,$$

$$C \rightarrow \frac{1}{SC}.$$

Поскольку все сводится к преобразованию в линей- ный вид, то омическое сопротивление не преобра- зуется.

226 4) находим передаточные числа для каждой частной (первичной) ошибки и, если они случайные, определяем статистические характеристики $\bar{i}_s, \lambda_{is}, \delta_{is}$, составляем сводную таблицу: для любого положения достаточно трех-пяти значений i_n , где $n = 1, 2, \dots, 5$;

5) определив по таблице статистических характеристик ошибки положения механизма для нескольких положений ведущего звена, строим график (если приборы предназначены для абсолютного измерения).

Краткий алгоритм последовательности действий по обеспечению заданной точности:

- 1) выбираем схему (принципиальную);
 - 2) по схеме определяем номинальные величины, при которых заданная точность содержит погрешность схемы, т. е. погрешности не превышают заданную точность;
 - 3) выясняем место ошибок звеньев у механизма, выбираем число компенсаторов (регуляторов) и их местоположение, устанавливаем системы регулирования при сборке;
 - 4) устанавливаем допуски на размеры звеньев механизма;
 - 5) рассчитываем суммарную ошибку.
- Последний пункт является решением уже обратной задачи теории точности.

246 Находят коэффициент влияния в виде S-преобразования $T(s)$. Затем, согласно существующим таблицам, проводят обратные преобразования и получают коэффициент влияния как функцию от времени — $T(t)$.

2. **Экспериментальный метод.** В этом случае после цепей расчетной и преобразованной, соединенных последовательно, следует еще одна, так называемая операторная цепь. Изменяя входное напряжение и наблюдая за входными и выходными параметрами, составляют таблицу, строят график и оценивают точность в расчетной цепи. При необходимости вносят коррективы.

3. **Вероятностный метод.** Параметры выбранных цепей случайны. Как случайные величины, первичные ошибки состоят из случайных параметров и случайных функций.

Случайные параметры (первичные ошибки) во времени не изменяются. В противном случае, эти параметры называют случайными функциями. Разница в том, что в отдельно взятом механизме, случайный параметр изменяется только при переходе от одного к другому образцу.

216 где ΔF_{Σ} — общее избыточное приращение по линии действия;

$\frac{\Delta F_{\Sigma}}{\cos \alpha}$ — антипроекция ΔF на линии действия.

Ошибка для линейного углового положения звена:

$$\Delta \varphi_2 = \frac{\Delta F_{\Sigma}}{r_{02}}$$

где ΔF_{Σ} — общее избыточное давление;

$\Delta \varphi_2, r_{02}$ — изменение угла между двумя положениями и радиус точки у ведомого звена.

Ошибка линейного перемещения

$$\Delta S_{\text{пер}} = \Delta S_k - \Delta S_p.$$

Для скорости:

$$\Delta v^2 = \frac{d(\Delta S_2)}{dt}.$$

236 В нашем случае погрешность Δq_i может возникнуть из-за первичных ошибок, перечисленных выше.

Для вычисления ΔU требуется знать коэффициент влияния $\frac{\partial \varphi}{\partial q_i}$, который выражает, в какой степени первичные ошибки передались на выход через параметр Δq_i и вызвали ошибку ΔU_i . Для этого пользуются методом преобразованных цепей (другие методы громоздки по вычислению): выделив изучаемую ошибку, на ее месте образуют новую пару полюсов (закорачивают источник питания).

Только следует учесть, что ошибка ΔU_i может быть внесена в результате, например, ошибки в монтаже схемы в виде утечки тока ΔA_i . В этом случае определение коэффициента влияния T_i проводится также по формуле, путем простой замены R_i на A_i , где ΔA_i — омическая проводимость.

Коэффициента влияния работы электрической цепи в переходном режиме: здесь цепь содержит, кроме сопротивлений R , еще и реактивные элементы: емкость C , индуктивность L , взаимная индуктивность M .

Погрешности из статистических превращаются в динамические. Тем не менее, эти дифференциальные уравнения легко сводить к простым алгебраическим уравнениям: следовательно, для расчета коэффициента влияния в рассматриваемом режиме формулы остаются в силе.

25а

25. Расчет точности пневматических КИП

Источники ошибок при измерениях могут быть следующего происхождения:

- 1) погрешности установочных калибров, температурные погрешности и другие, которые характерны для всех КИП;
- 2) нелинейность физических зависимостей в пневматических КИП (основной источник);
- 3) отсутствие жесткой фиксации положения в процессе измерения самого изделия, которое подвергается измерению;
- 4) особенности динамики измерения.

Различают пневматические КИП двух основных типов: **датчики давления и датчики расхода воздуха**.

Номинальное передаточное (т. е. чувствительность прибора)

$$J_0 \sim \frac{a}{c}$$

где a — интервал шкалы измерений; c — цена деления шкалы.

Чувствительность прибора для текущего момента (измерений),

$$J = \frac{dL}{dS}$$

При линейности $L(S)$, текущее передаточное отношение

$$J = J_0.$$

26а

26. Расчет точности шкальных приборов

Вопросы расчета в проектировании пневматических КИП, и наладивании при заданных условиях, решаются при условии:

1. ΔS_1 — максимальна.
2. $\Delta S_1 = \Delta S_2$.

1. **Расчет по заданной ΔS_1 .** Заданы:

- 1) предельно допустимое ΔS_1 (в действительности ΔS_1 — всего лишь часть суммарной ошибки измерений);
- 2) границы измерений δ_i ;
- 3) номинальные значения c и a .

При этих условиях необходимо рассчитать:

- 1) давление $H = \text{const}$ в распределительной камере;
- 2) диаметры сопел;
- 3) величины зазоров перед соплами.

Задачей предварительного этапа является определение:

- 1) номинального передаточного отношения

$$J_0 = 10^3 \frac{a}{c}$$

- 2) длины шкалы $L_s = \frac{a}{c} \delta_i$;

- 3) количества делений m этой длины

$$m = \frac{\delta_i}{c}$$

27а

27. Динамическая точность

Часто случается так, что одни и те же приборы при измерении одних и тех же величин показывают разные результаты при проведении измерений в разных режимах работы (режим переходный, установившийся); режим статистический.

Такие ошибки называются **динамическими ошибками**. Когда говорят о классе приборов для динамических измерений, то имеют в виду динамическую точность этих КИП.

Кроме динамической точности, пневматические, как и другие КИП, характеризуются временем срабатывания, которое зависит от динамических свойств датчика. Последние, в конечном счете, определяют, например, время установления: стрелки; рычажного контакта; уровня столба ртути.

Как правило, для характеристики динамической точности оперируют переходной функцией. Если рассматривать круговое движение, то для случая $\lambda < \omega_0$, где λ — коэффициент затухания колебаний, ω_0 — круговая частота этих колебаний, то переходная функция имеет следующий вид:

$$L = \frac{P}{M\omega_0^2} \left[1 - \frac{\omega_0}{\Omega} e^{-\lambda t} \times \sin(\Omega t + \varphi) \right]$$

где φ — начальная фаза, причем $\text{tg} \varphi = \frac{\Omega}{\lambda}$;

P — сила, приложенная для вращения, измеряется в кГ;

M — приведенная масса $\frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{см}}$;

ω_0 — собственная частота вращения, рад/с;

28а

28. Контакты: материалы, расчет и конструирование

Различают контакты следующих типов.

1. **Разрывные**, которые служат для применения при резком изменении параметров (включить или отключить, переключить). В свою очередь, этот тип контактов делится на **нормальные**, состоящие из разных по форме (точечных, линейных и плоскостных) геометрических исполнений, и **специальные**, состоящие из разных (ртутных (свинца), вакуумных и спусковых) технологических исполнений.

Контакты I типа, рассчитаны на 4–30 А при напряжении 220 В. Их срок службы составляет до 2 млн замыканий высокого порядка: $\sim 10^5$ мм рт. ст. Такой вакуум позволяет при включении — размыкании избежать образования дуги и выдержать до 5 млн замыканий.

2. **Скользящие (неразрывные) контакты**. Технология производства разных изделий нередко требует:

- 1) не резкого замыкания-размыкания, но плавного изменения параметров цепи;
- 2) связи подвижных элементов с неподвижными, но так, чтобы между ними не разрывалась гальваническая связь.

Для этих целей и служат скользящие контакты: они миниатюрны, но дороги из-за покрытия поверхности контактов сравнительно дорогими металлами.

3. В производстве радиоэлектронных узлов в приборостроении применяют также **разъемные (или штепсельные) контакты**: они используются для гальванического соединения съемных узлов и элементов обесточенных цепей.

266 S — диаметр сопла трубы при номинальной чувствительности определяют по формуле:

$$S = \frac{1}{\sqrt{3B}}$$

2. **Расчет по равенству ошибок.** Только давление в распределительной камере считается по формуле:

$$H = \theta_1 \times i_s + \delta_{s_1}$$

все остальные параметры считаются, как и в предыдущем методе.

3. **Расчет по калибрам.** Особенность этого метода — проведение расчета по номограммам: при этом предельные или оптимальные значения установочных калибров задаются.

На номограммах приводятся кривые $h(S)$.

Давление H считают по формуле:

$$H = \frac{i_{HS}(1 + BS_H^2)}{2BS_H}$$

Величину S_H находят по графику из номограммы, но для этого требуется определить B и ΔS_2 .

Остальные параметры определяются, как и в случае 1.

286 Требования, предъявляемые при изготовлении контактов, определяются их спецификой.

Эти требования следующие:

Размеры контактов, в зависимости от условий их температурной выносливости.

Сила контактного нажатия. Чем выше чувствительность контакта, тем меньше эта сила, измеряемая в Г, в вибрационных регуляторах она доходит до 500 Г.

Падение напряжения. Правильно ли выбрана сила нажатия? Характеристикой этого служит падение напряжения. Критерием правильности является выполнение условия:

$$U_k < (0,3 / 0,5) U_{k\max}$$

причем при $U_{k\max}$ начинается размягчение контактов. Для его определения существуют таблицы.

Ход контактов (например, в реле). Имеется в виду максимальное расстояние между разомкнутыми контактами. Это расстояние должно быть таким, чтобы обеспечить надежное обесточивание и невозможность случайного пробоя.

Для выполнения этого требования руководствуются электрическими данными. Это расстояние может изменяться в пределах (0,01—20 мм). Чем больше значение тока, тем больше должно быть это расстояние.

256 Ошибку перемещения стрелки

$$\Delta L = L_2 - L$$

называют систематической ошибкой показаний Δ .

Ошибка в показаниях Δ рассматриваемого КИП зависит от других параметров того же прибора, например, от таких, по которым определяют его чувствительность J ; от способа установки нуля.

Этот нуль достигим только в том случае, если $S_2 = S_1 + \delta S$ или $S_2 = S_1$.

Существует три варианта (способа) наладки пневматических КИП, причем каждый следующий способ приводит к большей точности измерений.

По **первому способу**, наложение прибора сводится к точной установке калибровки, которая зависит от значения величин зазоров S_1, S_2 ; эти величины, как правило, близки к некоторому значению S . — точка, которая находится в примерной середине линии $h(S)$, в точке перегиба этой прямой.

Второй способ наладки пневматических КИП дает возможность уменьшить ошибки ΔS около 4-х раз; на этот раз проводится двойная калибровка.

При этом i_{SO} — то же, что и средняя текущая чувствительность.

Третий способ: проводится 4-кратная калибровка, приводящая к уменьшению ошибок примерно в 6 раз. При этом $i_{Scp} < i_{SO} < i_s$. Чтобы не запутать чувствительности прибора, вместо i_{SO} в равенстве пишут $V_{Cн}$. Причем это выражает сокращение ошибок и в нижней δS_1 , и в верхней δ_2 диапазона.

276 λ — коэффициент трения, рад/с;

Ω — частота затухающих колебаний, рад/с.

Величину $\frac{P}{Mw_0^2}$ показывает степень установившейся статичности колеблющегося узла датчика, например, пружины.

Если определить разницу переходных функций при двух положениях, то разность $L - L_{CT}$ есть ошибка перемещения

$$\delta L(t) = L - L_{CT} = -\frac{P}{Mw_0^2} e^{-\lambda t} \sin(\Omega t + 4)$$

Определив экстремизм $\Delta L(t)$, увидим, что

$$\Delta L(t)_{\max} = \frac{P}{Mw_0^2} e^{-\lambda t},$$

то есть

$$\sin(\Omega t + 4) = -1$$

При определении самой переходной функции исходим из того, что $\lambda < w_0$. При $\lambda = w_0$, формула превращается в

$$\Delta L(t) = -\frac{P}{K} e^{-\lambda t} (1 - \lambda t)$$

Если же $\lambda > w_0$, то затухание замедляется, согласно закону

$$\Delta L(t) = -\frac{P}{K} e^{-\lambda t} (1 - \lambda t)$$

29а

29. Срок службы контактов

Срок службы контактов, определяется количеством переключений. Последнее зависит от материала поверхности контактов. В зависимости от того, из какого материала изготовлена поверхность контакта, число переключений варьируется в пределах от 9 до 100 млн.

При выполнении мероприятий по устранению гашения искр и дуг исходят из формул:

$$U_k = U \frac{R_w}{R_n}$$

где U_k — максимальное напряжение на контактах при размыкании.

$$U_{ny} = U \frac{R_w}{R_w + R_n}$$

Где U — напряжение сети; R_w — сопротивление шунта, R_n — сопротивление нагрузки.

Разность $U_k - U$ — перенапряжение, как правило

$$R_w = (5 / 10) R_n$$

Проблему лишнего расхода энергии можно устранить, подключив емкость или лампу тлеющего разряда последовательно с шунтирующим сопротивлением.

30а

30. Электромагниты: расчет и конструирование. Теория подобия магнитных систем

Что касается электромагнитов как приборов, то их применяют в качестве коммутирующих устройств, в виде реле и удерживающих устройств.

Электромагнит-реле — устройство, которое состоит из постоянного электромагнита, из контактов для замыкания—размыкания, а также из обмотки возбуждения. Электромагнит срабатывает, замыкает или размыкает, в зависимости от появления тока в возбуждающей обмотке.

Для того, чтобы приводить в действие более мощные реле, для формирования выдержки времени, кодов и в других целях, целесообразно использовать только одно реле, для этого применяют как бы каскад из электромагнитных реле с различной мощностью.

Первичное реле — это то, которое срабатывает от первичного управляющего сигнала.

Вторичное реле служит для усиления сигнала первичного реле, для других целей. Можно использовать и следующие по порядку электромагнитные реле.

В конце каскада находится исполнительное реле, которое и управляет объектом, его выходной сигнал достаточен для этого. Реле, которое находится между исполнительным устройством и первичным реле, называется промежуточным: оно усиливает слабый выходной сигнал от первого реле до величины, достаточной для возбуждения обмотки исполнительного реле.

Если реле возбуждается при большем токе, чем задан, то его называют максимальным реле. Если наоборот, то минимальным. Если реле срабатывает по знаку или фазе управляющего сигнала, то его называют реле направленного действия.

31а

31. Трансформаторы и дроссели

Составные части трансформатора.

Сердечник, который имеет очень много разновидностей. **Магнитопровод** высокого качества, если сердечники замкнутого типа, но тогда затрудняется наматывание катушек. Из-за этого предпочитают разъемные сердечники.

Катушки: они характеризуются тем, как расположены и размещены обмотки, каким способом реализована укладка.

В зависимости от поставленной задачи существуют различные виды укладки: **многослойная, секционная, галет** и др.

По расположению обмотки (катушки) делятся на **чередующиеся** и **концентрические**, второй тип сложнее, но с меньшим рассеянием. Следовательно, их лучше применять в выходных и импульсных трансформаторах.

Каркасы — следующий элемент трансформатора. В зависимости от исполнения каркасы делят на **цельные** и **сборные**, первые — надежнее и дешевле. Бывают и бескаркасные катушки.

Пользуются следующими способами **намотки**:

- 1) рядовая — витки в одном ряду плотно расположены один к другому;
- 2) шахматная — витки вышележащего ряда лежат над промежутками нижестоящего;
- 3) дикая — витки расположены рядом, как и в рядовом способе намотки, но нет той точности.

В производстве трансформаторов и катушек, кроме всех прочих электрических параметров, важнейшим параметром является коэффициент заполнения.

Этот коэффициент характеризует, сколько витков разместится в катушке.

32а

32. Герметизация, амортизация, экранирование

Герметизация служит для защиты радиоэлектронных узлов (или оборудования) от избыточного или недостаточного давления, от агрессивных сред, влажности, температуры.

Принцип герметизации реализуется следующими способами.

1. **Плотная вакуумная герметизация**: с заполнением и без заполнения инертными газами.
2. **Уплотнение различных частей кожуха**.
3. **Заливка компаундами и специальными заливками**.

Для пропитки кожуха используются специальные масла, смолы, битум, воск или поверхность покрывают специальными лаками, компаундами.

Для того, чтобы впитывать избыточную влагу внутри радиоэлектронных узлов, используют силикагель.

Особенность системы охлаждения в том, что она должна работать непрерывно (метод воздушного охлаждения).

Вопрос охлаждения — это вопрос срока службы радиоэлектронной аппаратуры, и во многом определяется не только свойствами среды, но и самой потребляемой мощностью радиоэлектронного узла.

Амортизация служит для защиты от ударов и вибрации. Надежная амортизация достигается, если

$$f = (2,5 / 5) f_0$$

где f — частота внешней вибрации; f_0 — собственная частота механизма.

Совпадение $f \sim f_0$ — опасное явление. Возникновение совместного резонанса с внешним воздействием раз-

306 Как достичь коммутации для требуемых мощностей, объяснено выше: путем усиления слабого сигнала через промежуточное реле.

Кроме вопроса коммутации мощности, существует вопрос о времени срабатывания электромагнитных устройств. Время срабатывания бывает на отключение и включение и обозначает.

$$t_c = t_{\text{пр}} + t_{\text{дв}}$$

Основные теоремы теории подобия магнитных систем.

Эти теоремы следующие.

1. Если две и более магнитные системы одинаковы по геометрии, то они имеют одинаковые конфигурации магнитных полей.

2. Если изменить конфигурацию магнитной системы в n раз, то, во-первых магнитный поток изменится в n^2 раз, но напряженность магнитного поля и магнитная индукция не изменятся; во-вторых, изменение тока в n раз приводит к увеличению плотности тока во столько же раз и к уменьшению во столько же раз выделения тепла, теплоотдачи, условий охлаждения. В третьих, увеличение тока в n раз вызывает уменьшение плотности тока в магнитной системе во столько же раз, увеличение тех же параметров, которые перечислены выше (тепло и теплоотдача) во столько же раз.

3. Если увеличить геометрические размеры электромагнита в n раз, оставив неизменным условие охлаждения и число витков в обмотке, то при увеличении тока в $\sqrt{n^2}$ раз напряженность поля H и магнитная индукция B возрастут в n^2 раз, потребляемая мощность — в n^2 раз, а насыщение магнитного поля не наступит.

326 рушительно даже для построек, не говоря уже о радиоэлектронной аппаратуре. По этой причине возрастает роль способа крепления аппаратуры на шасси, часто используются приведенные ниже способы: антиударные амортизаторы: твердые опоры; антивибрационные амортизаторы: мягкие опоры; цельные крепления — защиту обеспечивает жесткость самой конструкции.

Экранирование в производстве, а еще в большей степени в эксплуатации, решает задачу защиты от внешних помех, наводок.

Как известно, чем больше точность в радиоэлектронной аппаратуре, тем меньше ток. Следовательно, меньше и его собственное электромагнитное «тело» (поле), которое бы противостояло внешним.

Для сравнения: высоковольтные линии ЛЭП не нуждаются в экранировании. А вот в осциллографах без экранирования не обойтись. Другими словами, вопрос об экранировании в приборостроении — прежде всего и в первую очередь вопрос о точности измерений. Следовательно, требует к себе пристального внимания.

Одним из требований к экранированию является правило не устанавливать вблизи силовых узлов слабых цепей, даже внутри одного изделия; провода, питающие их, не могут быть объединены в общий жгут, они должны быть в отдельных жгутах. Кроме того, необходимо избегать пересечения силовых и слабых цепей жгутов, если невозможно, то пересечение должно быть под углом в 90° .

Эти меры, как правило, само собой разумеющиеся и не всегда исключают внешние поля. Выходом из ситуации может быть двойное экранирование.

296 Если $U_k < 300$ В, значения C и R_d (дополнительное сопротивление) определяют по следующим формулам:

$$C = L_n \left[\frac{2U}{R_n (300 + U)} \right]^2,$$

$$R_d = \frac{300}{U} R_n.$$

При этом процесс получается аperiodическим, зато нет лишнего расхода энергии.

Условием аperiodичности является:

$$\left(\frac{R_n + R_d}{2L_n} \right)^2 > \frac{1}{L_n C}.$$

Приемлемым считают $C < 2 \text{ мкФ}$.

Если C подобрана правильно, то находят

$$R_d = \frac{U_c^2}{a} \text{ Ом},$$

эту формулу часто называют **формулой Крюгера**.

В формуле U_c — напряжение на C перед замыканием, a — константа, зависит от материала.

При подключении в шунт лампы, она не должна гореть. Должен быть установлен порог, при превышении которого лампа пропускает импульс шунтирующего тока.

316 Если взять шахматный способ намотки, то расстояние между серединами двух соседних слоев можно определить по формуле:

$$x = \sqrt{d_1^2 - \frac{d_1^2}{4}} = 0,86d_1,$$

где d_1 — диаметр проволоки с изоляцией.

С учетом x число витков при шахматной намотке

$$w_1 = \frac{h_n l_n}{0,86d_1^2},$$

где h_n, l_n — линейные размеры пространства катушек, которое заполняется витками.

Для рядовой намотки число витков:

$$w_2 = \frac{h_n l_n}{d_1^2}.$$

Если взять отношение двух способов намотки, то

$$\frac{w_1}{w_2} = 1,16.$$

33а

33. Электровакуумные и полупроводниковые компоненты в приборостроении

Требования при конструировании радиоэлектронной аппаратуры электровакуумных приборов.

1. Во избежание паразитных связей, что очень вероятно для электровакуумных приборов, вывод анода первой лампы располагают против вывода сетки второй лампы.

2. Центр тяжести радиоэлектронного узла должен совпадать с его геометрическим центром.

3. Предпринимают меры, исключающие или сводящие к минимуму паразитные связи, как в отдельных деталях, так и в функциональных узлах.

Для прикрепления электрических ламп к шасси используют ламповые панели, которые должны обеспечить высокие сопротивления между штырьками лампы и шасси. Лампы должны быть помещены в металлические колпачки в целях статистической экранировки. Используются трансформаторы, дроссели, резисторы, бумажные (керамические, пленочные, электролитические) конденсаторы, переменные и постоянные сопротивления, их крепят на шасси.

Элементы управления не крепят на передней панели. На самих панелях (на лепестках вакуумных ламп), колодках прикрепляют мельчайшие радиодетали. Требования по монтажу — общие. Длины материалов, используемых в монтаже, должны быть наименьшими; провода, идущие в одну сторону, должны быть соединены в жгут.

Совершенствование радиоэлектронной аппаратуры привело к появлению полупроводниковых приборов, однако процесс миниатюризации шел дав-

34а

34. Вопросы миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры

Вопросы миниатюризации относятся к наиглавнейшим в современном приборостроении не только потому, что и в развитии радиоэлектронной аппаратуры в целом, и в радиоэлектронных узлах в частности это является главным направлением, но также и из-за вопросов повышения конкурентоспособности.

Этот вопрос также является вопросом точности измерения. Выше, в процессе изложения вопросов передачи ошибки из одного узла в другой, было видно, что меньшая ошибка и передается в меньшей степени.

У миниатюрных приборов потребляемая мощность меньше, следовательно, отклонение параметров не так уж и велико; отсюда и незначительность отклонений в других узлах.

В настоящее время в приборостроении наблюдаются следующие тенденции: продолжают поиски в направлении микромодульной техники; в приборостроении проникают достижения нанотехнологий; развивается технология изготовления радиоэлектронных компонентов на тончайших пленках; осуществляется реализация криотронных схем (речь идет о сверхпроводимости при низких температурах).

Изготовление одного и того же прибора на разном сочетании этих и других технологий — сегодня не исключение. Принцип взаимозаменяемости требует производства таких микромодулей, на базе которых в любом случае можно было бы собрать новый функциональный узел с помощью небольшого присоединения других радиоэлектронных компонентов (подстроечные и постоянные конденсаторы, резисторы). Например, множество плат с БИС (большие интегральные схемы), ОУ (операционные усилители) и прочее могли бы быть примером сказанному.

35а

35. Элементы электронных цепей ИП

Зачем нужны электронные устройства в ИП (измерительных приборах)? Для самых различных целей: от усиления слабых сигналов датчиков до преобразования или генерирования сигналов самых различных форм и частоты.

При их изготовлении используют электровакуумные лампы и полупроводниковые приборы, такие, как диоды, триоды и прочие. Эти РЭУ (радиоэлектронные устройства) работают в основном в двух режимах:

- 1) в режиме большого сигнала, когда при изменении электрических параметров в диапазоне их изменения могут оказаться и нелинейные участки ВАХ (вольтамперная характеристика) приборов;
- 2) в режиме малого сигнала, когда в диапазоне изменения оказываются в основном линейные участки ВАХ.

Усилители. Основным критерием выбора являются классы усиления, а для этого исходят из энергетического баланса (КПД — коэффициент полезного действия), последний характеризуется коэффициентом использования прибора по мощности

$$K_v = \frac{P_{\text{кmax}}}{P_{\text{рmax}}}$$

где $P_{\text{кmax}}$ — максимальная мощность нагрузки; $P_{\text{рmax}}$ — мощность, рассеиваемая во всех усилительных приборах каскада.

Сами классы усиления характеризуются длительностью протекания тока в выходной цепи. Величину этой длительности называют углом отсечки. Если исходить из качественных характеристик классов усилителей, то они различаются в основном величиной нелинейных искажений. По мере перехода от класса А к классам В, С, D искажения увеличиваются.

36а

36. Транзисторные переключающие устройства

Транзисторные переключающие устройства представляют собой усилители постоянного тока. Для их устойчивой работы и убыстрения переключений существует положительная обратная связь. Кроме того, эта устойчивость зависит от условий насыщения и запираания транзистора.

При насыщении транзистора (p - n - p — переход) $U_k > U_\delta$. Наряду с этим

$$J_\delta > \frac{J_k}{B},$$

$$J_k \approx \frac{U_H}{R_H},$$

где J_δ, J_k — ток базы и коллектора; R_H, U_H — сопротивление и напряжение нагрузки; B — параметр.

При запираании транзистора (p - n - p)

$$U_\delta < U_\delta$$

$$J_\delta \approx -J_{\text{к0}},$$

$$J_k \approx J_{\text{к0}}$$

где $J_{\text{к0}}$ — обратный ток коллекторного перехода.

На переходе коллектор-эмиттер для запертого транзистора:

$$U_{\text{кэ, доп}} = U_{\text{кэ, доп}} - U_{\text{бэ}},$$

где индекс «доп» — допустимое.

346 Но может случиться так, что все эти подстроечные элементы в них уже содержатся.

Достоинством технологий тонких пленок является то, что из-за плоской формы радиодеталей улучшается степень охлаждения, которая позволяет увеличить мощности потребления. Однако такое достоинство осложняется компоновкой миниатюрных радиоэлектронных устройств. Компоненты становятся недоступными. В конечном счете достоинства оказываются большими, чем издержки в миниатюризации. Следовательно, тенденция остается перспективной.

Современное название этой технологии — наноэлектроника, нанотехнология.

Сперва нанотехнология (н/т) привлекала к себе внимание конструкторов из-за лучшей возможности рассеяния изменной мощности; затем открылись совсем другие, неожиданные формы ее применения.

Сложилась так, что в РЭА подстроечные компоненты (резисторы, конденсаторы) устанавливают на краях (в конце) модулей; в микроэлектронике конденсаторы с емкостью >60 пф не применяются. Остальные части микромодуля присоединяются к подстроечным. После, весь модуль экранируют и заливают эпоксидом, оставляя доступы к подстроечным.

На плате микромодули устанавливают, исходя из конкретных потребностей. Тонкие покрытия (порядка размеров молекул) получают путем вакуумного испарения. Этот метод (метод вакуумного испарения) позволяет «выращивать», — по атомам и молекулам, — не только сопротивлений, конденсаторов, но и индуктивности, селеповые выпрямители и прочих наноэлектронных деталей.

Однако, компонок таких деталей сложнее, чем установка на плате других деталей.

366 Режим $J_\delta = 0$ является недопустимым, поскольку из-за $J_k = (B + 1)J_{к0}$, напряжение $U_{кз}$ резко уменьшается и может произойти пробой транзистора.

Сглаживающие фильтры и стабилизаторы напряжения. Фильтры служат:

- 1) для приведения выпрямленного напряжения в непрерывный вид;
- 2) для нейтрализации дуг и искр, возникших в цепи при эксплуатации, например, при замыкании (размыкании) контактов;
- 3) для других целей, по замыслу конструктора.

Фильтры, которые служат в источниках питания, характеризуются коэффициентом сглаживания:

$$K_c = \frac{K_{n_1}}{K_{n_2}},$$

где индексы n_1, n_2 указывают на величину пульсаций, соответственно, на входе и выходе.

Чтобы определить коэффициент пульсации, определяют отношение амплитуды 1 гармоника пульсации к амплитуде постоянного компонента входного напряжения.

Различают фильтры следующих типов: емкостные; индуктивно-емкостные (их называют также П-фильтрами); реостатно-емкостные (Г-фильтры).

336 но. Решения этой проблемы привели к сборке радиоэлектронной аппаратуры из отдельных функциональных узлов. Каждый функциональный узел может служить как отдельный прибор. Персональные компьютеры, без которых не обходится сегодня ни одна уважающая себя организация, своим появлением обязаны процессу миниатюризации, именно этот процесс значительно сократил срок разработки новой аппаратуры, одновременно резко повысив надежность.

Функциональный узел выступает как запасная часть, тем самым значительно сокращая срок ремонта. Миниатюризация привела к автоматизации производства и к широкому применению средств автоматизации.

Если для конструирования радиоэлектронной аппаратуры используются полупроводниковые приборы, то обостряются вопросы герметизации и теплоотвода, зато повышается быстротечность и надежность. Все это, в конечном счете, обуславливает повышение точности приборов, снижение многих издержек производства, в том числе себестоимости.

Обострившиеся с появлением и применением полупроводниковых приборов проблемы легко решаются. Для теплоотвода используют как радиаторы, так и вентиляторы. Методы кассетных и двухмерных модулей значительно облегчают сборку и ремонт механизмов: к общей схеме модули присоединяются с помощью разъемов.

356 Модуляторы служат для преобразования сигналов, независимо от скорости их изменения, в переменные, но такое преобразование требует наличия ряда условий:

- 1) амплитуда переменного напряжения $\tilde{U} \sim U_{мгн}$ — мгновенное значение напряжения сигнала;
- 2) частота \tilde{U} определяется модулятором, причём она равна частоте напряжения коммутации $U_{ком}$;
- 3) угол сдвига по фазе между \tilde{U} на выходе модулятора и $U_{ком}$ изменяется, если изменить полярность напряжения сигнала.

В зависимости от величины и полярности $U_{ком}$, сопротивление в цепи, являющееся ключевым моментом модулятора, изменяется, и модулятор срабатывает. Эту цепь называют **синхронным прерывателем**. В зависимости от характера усиления по мощности, различают модуляторы пассивные, если происходит только модуляция без усиления мощности, и активные, если происходят оба процесса.

Демодуляторы, как видно из названия, служат для демодуляции (дешифрации) модулированного сигнала. При этом происходит преобразование переменного сигнала в форму, которая не является синусоидальной, поскольку содержит постоянную составляющую; мы ведем речь только о выходном сигнале.

Для работы модулятора без искажения требуется выполнение следующих условий:

- 1) постоянная составляющая выходного напряжения $\bar{U}_{вых} \sim \bar{U}_{сп}$, где $\bar{U}_{сп}$ — среднее выпрямленное напряжение;
- 2) частоты сигнала и коммутированного напряжения равны;
- 3) модуль $|U_{вых}|$ и знак $\pm \bar{U}_{вых}$ зависят от угла сдвига фаз между \tilde{U} и $U_{ком}$.

37а

37. Выбор фильтров: расчет необходимых параметров

Выбор фильтров зависит от замысла разработчика радиоэлектронного узла, а также от типа выпрямителей, которые различают от однополупериодных до мостовых. Если выбрать П-фильтр, то его элементы рассчитывают следующим образом:

$$C_1 = C_2 = C = \frac{10^6}{4fR_n K_{\eta_1}} \text{ мкФ}$$

$$L_{до} = 68 \times 10^3 \frac{R_c + 1}{Cf^2} \text{ Гн},$$

где f — частота питающей сети; R_n — сопротивление нагрузки; C — емкость (конденсатор); $L_{до}$ — индуктивность дросселя в цепи; мкФ (микрофарад) и Гн (генри) — единицы измерения для емкости и индуктивности.

$K_{\eta_1} = (1 - 0,4)$ для двухполупериодного выпрямителя.

Для Г-фильтра элементы реостатоместной цепи рассчитываются, как

$$R_{\phi} = \frac{U_1 - U_2}{J_n} = R_n \frac{U_1 - U_2}{U_2} \Omega,$$

$$C_{\phi} = 8 \times 10^4 \frac{K_c}{fR_{\phi}} \text{ мкФ},$$

где U_1, U_2 — напряжения на входе и выходе фильтра; R_n, J_n — сопротивление нагрузки и ток через него; R_{ϕ}, C_{ϕ} — сопротивление и емкость Г-фильтра.

39а

39. Приборы для измерения механических величин

Измерение механических величин сводится к измерению параметров движения.

Для измерения перемещения требуется измерять длины пути. Для этого используются не только механические, но и оптоэлектронные и другие принципы измерений.

Для измерения величин v и a требуется измерение времени. Следовательно, для измерения всех указанных величин достаточно измерения перемещений S и времени t . Спецификой измерения первых трех величин является их изменение во времени.

1. Плоскопараллельные концевые меры длины — это такие меры длины, которые постоянны и имеют форму прямоугольного параллелепипеда. При измерении их помещают между двумя плоскостями у детали.

Основной проблемой механического и других видов преобразований измеряемых величин является преобразование больших по величине параметров в пригодные для передачи измерительному устройству, то есть малые.

«Бичом» всех измерительных устройств является температурное расширение материалов.

Эти приборы служат эталоном для длины и через них передают эти эталоны измерительным приборам. Их применяют при поверке (настройке) измерительных устройств на необходимую шкалу (установка на нуль).

Что касается поверки, то в качестве номинальной длины концевой меры измеряют «срединную» длину концевой меры.

38а

38. Электрические цепи измерительных схем и приборов. Вопросы дистанционной передачи результатов измерений

При проектировании задачи она разлагается на следующие подзадачи.

1. Выбирают конкретную электрическую цепь и определяют точки, к которым надо будет подключить датчики, измерительные приборы и пр.

2. Уточняют значения сопротивлений в выбранной цепи.

3. Определяют другие характеристики этих измерительных приборов.

При решении, исходят из данных конкретных справочников.

Для решения задачи (т. е. для расчета сопротивлений в цепи) исходят из следующих требований:

1) необходимо обеспечить максимальную добротность участка цепи (узла, прибора) в самой уязвимой, т. е. опасной точке диапазона;

2) выбор сопротивлений должен обеспечить технические требования, предъявляемые к общей мощности, сопротивлению и мощности для датчиков, допустимым значениям температуры.

Вопросы дистанционной передачи результатов измерений.

Передаваемую информацию, можно разделить на следующие классы.

1. Системы механических и пневматических данных.

2. Системы передачи электрических данных.

3. Системы передачи результатов телеизмерений.

Во всех системах главными критериями являются скорость и качество передаваемой информации.

40а

40. Способы преобразования сигнала

Преобразование в измерительных головках реализуется тремя способами.

1. Механизм преобразования содержит только зубчатые механизмы.

2. Преобразование осуществляется рычажно-зубчато, т. е. используются оба способа прикрепления измерительных головок к ИП.

3. Преобразование с помощью пружинных прикреплений измерительной головки к измерительному устройству.

Поскольку речь идет о преобразовании одной величины в другую, другого масштаба, то само собой разумеется, что появляется такая характеристика, как передаточная, то есть передаточное число.

Особенностью первого типа преобразований является то, что в них преобразование перемещений может реализоваться в обоих направлениях: при двух других типах это преобразование невозможно.

С этой целью преобразование реализуется в механизм преобразования, так называемый индикатор часового типа.

В зубчатом механизме отношение чисел зубьев колеса, большего по диаметру, к числу зубьев шестерни, меньшей по диаметру, называется передаточным числом.

Если рассмотреть передаточное число, преобразующее малое перемещение в большое, т. е. когда передаточное число $u \geq 1$, то для общего случая

$$u = \frac{R\phi}{l},$$

386 Система дистанционной передачи информации включает в себя:

- 1) датчик, который преобразует снимаемую информацию для следующей дистанционной передачи;
- 2) линию связи (проводная, кабельная, оптическая или радиочастотная связь);
- 3) приемник передаваемого сигнала для дальнейшего практического применения.

Существует много разновидностей систем передач сигналов.

К системам дистанционной передачи результатов измерений, предъявляются обычные требования: точность, чувствительность и пр.

Существуют специфические требования.

1. Дистанционность, которая характеризует степень самой возможности передачи данных. Например, в преобразованном в электрический сигнал информации могут произойти искажения из-за угла тока, межпроводной емкости. В численном отношении этот параметр показывает длину кабеля (или жгута) с конкретными параметрами.

2. Реактивное воздействие. Во время работы системы дистанционной передачи преобразователь сигнала от датчика может оказать на сам датчик некоторое реактивное воздействие: помехи, наводки, случайно проскакивающие в цепь датчика. Сама возможность этого дефекта исключается в ходе производства и отладки регулировкой чувствительности датчика.

3. Взаимозаменяемость. Речь идет о допуске, в пределах которого один прибор можно заменить на другой из такого же класса.

406 где R — длина стрелки от оси поворота до ее свободного конца; φ — величина угла поворота стрелки, градус или радиус; R — перемещение свободного конца стрелки индикатора, градус, мм; l — величина перемещения измерительного наконечника (рейки).

Имеется в виду узел индикатора, перемещение которого при измерениях передается путем преобразования через колесо и шестерни к шкале со стрелкой.

У входного звена, т. е. у гриба, число зубьев обозначим, как z_3 . Тогда, выразив r как

$$r = \frac{mz_3}{2},$$

где m — цена делений, мм; z_3 — количество (число) зубьев у входного колеса, у которого радиус равен r , получим:

$$u = \frac{2R}{mz_3} z_4.$$

376 После фильтрации выпрямленного напряжения в радиоэлектронных узлах, для их еще более качественного питания устанавливают параметрические стабилизаторы напряжения.

Для выбора и расчета стабилизатора требуется: $U_{n\max}, U_{n\min}$ — граничные значения напряжения питания; $J_{c\max}, J_{c\min}$ — граничные значения тока стабилизатора; U_c, J_H — стабилизированное напряжение на нагрузке и ток через нее.

После выводят еще несколько параметров и выбирают по справочным данным соответствующие радиоэлектронные компоненты.

$$J_{n\max} = \frac{J_{c\max}(U_{n\min} - U_c) - J_{c\min}(U_{n\max} - U_c)}{U_{n\max} - U_{n\min}}$$

Находят при заданном J_H

$$J_c = \frac{J_n(U_{n\max} - U_{n\min}) + J_{c\min}(U_{n\max} - U_c)}{U_{n\min} - U_c}$$

При сильных флуктуациях J_H находят граничные значения J_c и выбирают подходящее. После всего прочего необходимо определить ограничительное сопротивление.

$$R_0 = \frac{U_{n\max} - U_{n\min}}{J_c - J_{c\min}}$$

коэффициент сглаживания самого стабилизатора:

$$K_c = \frac{U_c}{U_n} \times \frac{R_0}{r_g}$$

здесь r_g — дифференциальное сопротивление самого параметрического стабилизатора.

396 2. Измерительная металлическая линейка — это металлическая полоса, которая заштрихована делениями.

Измерение линейкой производится методом прямого прикладывания ее к измеряемому объекту, такой метод называют **непосредственным методом измерений**. Погрешность измерений линейкой обычно 0,5—1 мм. Проверка линейек проводится с помощью штриховых метров: штриховый метр — это такая линейка, на которой имеются деления через 0,2—0,05 мм.

3. Штангенциркуль — это общее название целой группы измерительных средств длины: штангенциркуль; штангенглубиномер; штангенрейсмасс и др.

Особенностью штангенциркуля является то, что у него имеется не только шкала линейки измерения, штанга с точностью до 1 мм, но и вспомогательная шкала — нониус, которая позволяет снять еще и подробную часть длины в пределах 1 мм.

У нониуса число делений 10—20, с ценой 0,9 мм = 1 мм — 0,1 мм.

Нулевые штрихи основной шкалы и нониуса совпадают, однако у нониуса первый штрих нанесен слева от нулевой отметки, в итоге там, где у нониуса кончается, например, деление 1 мм, у основной шкалы только — 0,9 мм.

Показанию основной шкалы в 1 мм соответствует показатель нониуса уже в 1,1 мм. Поэтому возникает впечатление, что у нониуса шкала растянута.

41а

41. Передаточное число для рычажно-зубчатых индикаторов

Передаточное число для рычажно-зубчатых индикаторов можно вычислить двумя способами:

$$1) u = \frac{l z_3 z_5}{R z_4 z_6},$$

где l — длина плеча последнего рычага; R — длина плеча первого рычага; $\frac{z_3 \times z_5}{z_4 \times z_6}$ — произведение передаточного числа зубчатых пар;

$$2) u = \frac{l d_3 \times d_5}{R d_4 \times d_6},$$

где l, R — длина плеча последнего и первого рычага соответственно; $d_3 - d_6$ — диаметры соответствующих колес в механизме.

Погрешность измерений для рассматриваемого типа преобразования — (0,005—0,015) мм при цене делений 0,01 мм.

Проверка рычажно-зубчатых индикаторов проводится по конечным мерам длины или другим способом.

Передаточное число для рычажно-зубчатых головок определяют по формулам: если головки однооборотные (две рычажные и одна зубчатая пары), то

$$u = \frac{R_{\text{смп}}}{\rho} \frac{l - r}{r} \frac{z_1}{z_2},$$

для многооборотных (также две рычажных и одна зубчатая пары)

$$u = \frac{R_{\text{смп}}}{\rho} u_{k1} u_{k2} \frac{z_1}{z_2}.$$

42а

42. Приборы времени

Эти приборы в виде различных часов, как и весы, являются первыми известными приборами в истории человечества с незапамятных времен.

Сегодня перечисление только их разновидностей в быту заняло бы не одну страницу.

Приборы времени различают по принципу действия и по назначению.

Их разделяют на следующие классификационные группировки: механические; электромеханические; электронномеханические; атомно-молекулярные; синхронные; часы с непериодическим процессом.

Как видно из вышеприведенного списка, измерение времени проводится маятником в механических часах и временем разрядки или зарядки конденсатора до заданной емкости в электронных. В этом промежутке есть приборы, измеряющие время, которые используют импульсы электрического тока; квантовые свойства вещества; роторы электродвигателей и многое другое.

В каждом случае вопросы точности и погрешности измерений имеют свою специфику. Во всех случаях измерение времени сводится (или исходит) к установлению соответствия между двумя или более системами колебаний.

Поэтому, говоря о метрологических характеристиках часов в первую очередь имеют в виду постоянство частоты колебаний (или автоколебаний), с которым связано измерение: точность измерений задается именно этим постоянством.

Кроме этого, внешнего источника сигнала времени, немаловажна точность колебаний собственной колебательной системы: а это — вопросы проектирования и производства.

43а

43. Приборы времени специального назначения

Для оперирования в быту и решения технических вопросов параметры U, w оказываются достаточными. Но там, где требуется наибольшая точность (астрономия, авиация, ВМФ, мореходство и др.) используются и другими параметрами.

В их основе — вариация.

$$V = w_2 - w_1,$$

где w_2, w_1 — суточные ходы для следующих один за другими суток; V — отклонение.

$$I_k = w_k - w_{\text{ср}},$$

где I_k — отклонения суточного хода за K -ые сутки; $K = 1, 2, \dots, n$; $w_{\text{ср}}$ — средний суточный ход за n суток.

$$w_{\text{ср}} = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{n}.$$

Поправка U определяется по эталонным часам: без этого параметра рассчитать величины w, I_k невозможно.

На точность часов также влияет температура среды, которая характеризуется коэффициентом C ; из-за этого явления возникает вторичная ошибка S .

Коэффициент C и его последствие — ошибка S — вычисляются по формулам:

$$C = \frac{w_{36} - w_1}{32},$$

44а

44. Приборы для измерения параметров движения

Рассмотрим такие параметры движения, как скорость, ускорение, угловые скорость и ускорение.

Для измерения скорости поступательного перемещения достаточно знать длины пути и времени. Тогда средняя скорость:

$$V_{\text{ср}} = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

где ΔS — длина пути; Δt — промежуток времени.

Погрешность измерений, само собой разумеется, складывается из погрешностей измерений перемещений и времени

$$\frac{\delta V_{\text{ср}}}{V} = \frac{\delta(\Delta S)}{\Delta S} + \frac{\delta(\Delta t)}{\Delta t}.$$

Измерение ускорения при поступательном перемещении измеряется точно так же:

$$a = \frac{d}{dt}[f(t)],$$

где $f(t) = V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$.

Погрешность измерения ускорений также определяется погрешностями, допущенными при измерении величины перемещения и времени, затраченного на это перемещение.

Для измерения скорости перемещения поступательного движения часто пользуются приборами, которые преобразуют угловую скорость в линейную.

426 Для приборов, предназначенных для показания текущего времени, введен параметр поправки показаний прибора:

$$U = T_1 - T_{пр},$$

в которой T_1 — точное время; $T_{пр}$ — показания прибора. Это измерение называют суточным ходом прибора.

$$w = U_2 - U_1,$$

для разных часов $180 > w > 10^{-7}$ с, где U_1, U_2 — поправки, соответствующие началу первых и следующих суток.

Но суточный ход может отклоняться от правильного (отстать или спешить) или зависеть от вариации (от специфических свойств системы измерения времени (часы: кварцевые, маятниковые, карманные, наручные и прочие)). У каждого прибора имеется своя специфика, следовательно, свой суточный ход.

Для учета роли случайных факторов в отклонении суточного хода l пользуются формулой:

$$L_k = W_k - w_{cp},$$

где $w_{cp} = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{n}$ — средний суточный ход за n — суток; L_k — отклонение суточного хода за K -ные сутки.

Если $w < 0$ — часы спешат; $w > 0$ — часы отстают.

446 Сперва разберемся с угловой скоростью: это измерение угла поворота x за время Δt ; эту величину называют средней угловой скоростью.

$$w_{cp} = \frac{x}{\Delta t}$$

Если взять производную по времени, то получим угловое ускорение.

Для измерения линейной скорости применяются различные приборы с электрическими датчиками. Наиболее надежными из них являются приборы с индукционными датчиками: чувствительность — 0,07 мА/мм; погрешность — 12 мм при 1 см/с.

Для измерения угловых скоростей применяются различные тахометры: механические, гидравлические, магнитные, электрические (обоих типов тока), импульсные и др.

Для измерения линейных ускорений при поступательном движении применяют акселерометры; наибольшей точностью из них обладают те, у которых имеются индуктивные датчики.

Для измерения угловых ускорений используют инерционные приборы с упругим стержнем, с инерционным диском и пружиной.

Перемещения в виде смещений и все другие параметры движения имеют место также при вибрации. Измеряются также частота и амплитуда вибраций, а также фаза, с этой целью применяются виброметры.

416 Величины передаточных чисел кулисных передач.

$$u_{k1} = \frac{r}{r-l},$$

$$u_{k2} = \frac{L+R}{R}.$$

Наконец, о третьем способе механических преобразований, о преобразовании с пружинным механизмом.

Характерной особенностью этих механизмов является то, что передаточным механизмом измеряемой величины является полоска металлической ленты.

Следовательно, в расчетах используются упругие свойства скрученной пружинной ленты.

Передаточное число измеряется в единицах угловых градусов: град/мкм.

Передаточное число может быть определено двумя способами:

- 1) теоретически;
- 2) эмпирически

$$u_m = \frac{0,0175 R u_p}{\frac{0,001}{u_n} + \eta \frac{\Delta Q I^2}{3 E J}}$$

J — момент инерции поперечного сечения ленты, мм; l — свободная длина свернутой ленты, мм.

436

$$S = \frac{w_{36} + w_{\epsilon} - w_{20}}{2}$$

В этих формулах цифры в индексах показывают сутки, для которых определены коды приборов.

Коэффициент температурного расширения зависит от технических свойств материала, от самой конструкции прибора и находится в границах

$$0,0005 \leq C \leq 0,5,$$

измеряется в с/град.

Следующая характеристика приборов времени — это барометрический коэффициент.

$$R = \frac{w_2 - w_1}{p_2 - p_1}$$

где w_1, w_2 — суточные ходы часов при соответствующих давлениях p_1, p_2 .

Обычно $0,01 < K < 0,25$ (с) на изменение давлений 1 мм рт. ст.

Причина в том, что как выше было отмечено, для работы приборов времени источником первичного толчка служит внешний сигнал: колебательные системы этого источника и своя собственная, определяют разрешительную способность прибора.

45а

45. Измерение сил, моментов и напряжений

Общие методы измерения этих величин следующие.
1. Измерение проводится непосредственно путем обеспечения прямого контакта прибора с измеряемой величиной.

2. Измеряют деформации (в детали или в ее модели), после пересчитывают напряжение, исходя из значения деформации.

Остановимся подробнее на измерениях механических параметров косвенным методом — **методом измерения деформаций**.

Назовем несколько наиболее часто применяемых методов измерений деформаций в деталях (эти методы универсальны).

Тензометрия. Тензометром называется прибор, которым измеряют параметры деформации, он устанавливается прямо на детали. Тензометр — прибор с системой разветвленных датчиков.

Структурная схема тензометра следующая: датчик > усилитель-преобразователь > регистратор.

Тензодатчик, у которого много ножек с острием, может быть приклеен на поверхность. Назовем длины участка между ножками тензометра, где определяется измеряемый параметр, длиной тензочувствительной части со средней длиной S .

Относительная линейная деформация

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta}{mS},$$

где ΔS — изменение длины тензочувствительной части; Δ — приращение показаний регистратора; m — масштаб тензометра.



46а

46. Определение механических свойств материалов

Важное значение для точности измерений, для срока службы имеет выбор материала.

Но, чтобы выбрать материал, требуется знать его свойства при испытаниях на прочность, выносливость, вязкость, твердость и т. п.

В устройствах имеют место самовозбудительные механизмы, которые являются одним из основных факторов внесения неточностей в измерениях.

Рассмотрим наиболее распространенные из них:

1) самовозбудительные механизмы рычажно-маянкового типа. Эти механизмы служат для испытаний металлических и полимерных материалов на растяжение, но если их дополнить специальными узлами, то можно применять и для статистических испытаний и других свойств, например, сжатие, изгиб и прочее;

2) испытатель с рычажным силоизмерителем. Выполняются в виде одно-, двух- и трехрычажных. Обладают высокой точностью в пределах 1—105 кг. Для однорычажных машин шкала силоизмерителя считается по формуле:

$$x = \frac{P_s}{Q},$$

Для многорычажных:

$$x = \frac{Pacl}{Qdb},$$

3) Маятниковый силоизмеритель. У этих машин шкала не линейна и применяются они с пределом измерения до 150 кг.

47а

47. Контактные методы измерения температуры

Для измерения температуры используются следующие методы.

1. **Контактные методы** — предполагают наличие надежного контакта с предметом, у которого снимается температура. При таком контакте пределы измерения измеряемой температуры определяются механическими (жаропрочность) и химическими свойствами материала, из которого изготовлен чувствительный элемент термометра.

Верхний предел измеряемых температур ограничен из-за ограничения вышеназванных свойств материала датчика с показателем 2500—3000 °С.

Чувствительность термометра (на 1 °С)

$$\frac{dh}{dt} = \frac{V_w \beta}{\pi r^2},$$

измеряется в миллиметрах.

Их основная характеристика — температурный коэффициент сопротивления:

$$x = -\frac{B}{T^2},$$

где B — некоторая постоянная, определяется по таблице и измеряется в кельвинах, T — температура, К.

Чувствительный элемент у термометров сопротивления — это проволока, намотанная на жесткий изоляционный каркас.



48а

48. Бесконтактные методы измерения температуры

Бесконтактные методы измерения температуры. Методы также называют **пирометрами**. Их преимущества перед предыдущими в том, что из-за их малоинерционности, которая повышает точность измерений, становится возможной регистрация температуры быстро изменяющихся объектов.

У пирометров вероятный предел измерения не ограничен: однако это не значит, что их нельзя применять для измерения температур в других диапазонах.

Погрешности в показаниях пирометров, к тому же немалые, вызваны необходимостью введения различных поправок при градуировании шкалы прибора.

Пирометры работают по следующему принципу. Из курса атомной и ядерной физики известно, что если имеется абсолютно черное тело с температурой T , то полная энергия его излучения связана с температурой уравнением:

$$E_r = \delta \times T^4,$$

в котором $\delta = 5,75 \times 10^{-12} \text{ вт} \times \text{см}^2 \times \text{град}^{-4}$ — постоянная. При этом имеется такая энергия, которая излучается с площади 1 см² черного тела за 1 с.

Однако ни одно физическое тело в действительности не является абсолютным черным телом.

Поэтому температуру нагретого тела определяют по формуле

$$T = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{E_r}},$$



466 Уравнение шкалы для этих машин имеет вид:

$$P = \frac{QR}{r} \sin \alpha,$$

в этой формуле R — длина маятника до центра тяжести груза; r — радиус сектора подвеса верхнего зажима; Q — вес маятника; α — угол поворота маятника, зависит от веса маятника.

Как любому прибору, силоизмерителям также свойственна случайная погрешность, которая зависит от самых разнообразных факторов.

Если требуется испытание материалов на большую прочность ($150 < P < 500$ кГ), то пользуются силоизмерителями с равномерной шкалой. Как правило, такие машины имеют корректуру; расчет этих машин проводится по формуле:

$$P = \frac{QR}{r} \times \frac{\sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)},$$

где R — длина маятника до центра тяжести; r — длина плеча подвеса; Q — вес маятника; p — измеряемое усилие; β — угол между горизонтальной прямой, соединяющей оси подвеса маятника и точку подвеса верхнего зажима перед нагружением образца; α — угол поворота маятника.

Равномерность шкалы обеспечена, если углы $\alpha = \beta$. Силоизмерители гидравлично-маятникового типа, применяются для испытаний материалов на изгиб, растяжение, сжатие и т. д.

Предел измерений — 20—1500 т.

Расчет для этих силоизмерителей производится по формуле:

$$P = \frac{QL \cos \alpha_0}{hl} \chi,$$

486 в которой E_γ определяется эмпирически или из таблицы, является коэффициентом черноты полного излучения.

В пирометрах для компенсации изменений в окружающей среде применяются компенсаторы в виде катушек из никелевой проволоки с конструктивным оформлением в виде термобатарей.

Визирование на расстоянии 1 м от излучателя — это номинальное визирование. Определение погрешности параметра сводится к определению

$$\Delta \varepsilon = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1),$$

где ε_2 — практическая термическая электродвижущая сила черного тела (излучателя); ε_1 — табличные данные термической электродвижущей силы пирометра с соответствующим телескопом (устройство, которое служит для концентрации излучения источника (черного тела) на термоприемник (датчик), состоит из многослойной термобатареи и оптической системы).

Инерционность пирометра — это время, требуемое для установления термической электродвижущей силы, равной 99% от табличных данных термической электродвижущей силы при комнатной температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

456 Длину тензочувствительного участка часто называют базой прибора; эта длина может дойти до 25 мм.

Чувствительность, а также точность тензометров зависит от того, какую погрешность можно считать приемлемой.

Погрешность определяется по формуле:

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta \delta}{E},$$

где $\Delta \varepsilon$ — величина погрешности базы тензометра; $\Delta \delta$ — линейное напряжение поверхности; E — модуль упругости.

Возникает вопрос: показания (данные) датчика для визуального восприятия ничтожны; как обеспечить увеличение?

Решение этой проблемы зависит от следующих факторов: значений относительной деформации; шкалы регистратора; базы тензометра.

Определяют его по следующей величине:

$$V = \frac{En}{\delta_{\max} S},$$

где V — показатель увеличения тензометра; δ_{\max} — максимальное значение линейного напряжения по длине S (база тензометра); n — число делений шкалы регистратора; E — модуль упругости.

476 Поскольку сопротивление металлов изменяется по закону (в зависимости от температуры)

$$R = r_0(1 + \alpha t),$$

где R_0 — сопротивление до начала измерения; t — измеряемая температура, то, какими бы точными ни были изготовлены термометры, со временем даже золото и платина окисляются (например, окисью углерода CO), и в результате нарушается точность показаний прибора (термометра).

Для повышения устойчивости работы термометров, например, с платиновым датчиком, изготавливают проволоку с диаметром больше 1 мкм и регистрируют показания датчика с помощью моста из сопротивлений.

Широкое применение нашли термодатчики из сплавов двух металлов, которые могут быть использованы в разных сочетаниях.

Термическая электродвижущая сила меняется по закону:

$$\varepsilon = \chi (T_1 - T_2),$$

где T_1, T_2 — начальная и конечная (рабочая) температуры датчика при измерении; χ — коэффициент термической электродвижущей силы, Мв/градус.

49а

49. Приборы для измерения давления

Давление — это напряженность жидкостей и газов, а также паров, которую формирует некоторое внешнее воздействие на них.

Как измерять эту напряженность?

С этой целью измеряют данные, приходящие на единичную площадь той поверхности, на которую приложено это усилие: причем усилие распределено нормально и равномерно по этой поверхности.

Это усилие определяется с помощью датчика. После данные датчика (датчиков) преобразуются в сигналы упругости, электричества и т. п.

Может случиться, что усилие на поверхности, т. е. напряженность среды, настолько мала, что чувствительность датчиков не может «замечать» это: тогда пользуются другими свойствами среды: теплопроводимостью, степенью ионизации и другими свойствами, связанными с давлением.

Когда измеряется давление газов, то в определенных пределах его изменение с повышением высоты не учитывается.

С жидкостью же, наоборот: из курса «Гидравлика» известно, что увеличение глубины и давления имеют отношение прямой пропорциональности.

$$P = \rho_0 + \gamma z;$$

где: P — искомое или измеряемое давление; ρ_0 — давление, которое воздействует на поверхность жидкости; γ — удельный вес поверхности, на которую действует давление ρ_0 ; z — высота столба жидкости или глубина жидкости относительно поверхности.

51а

51. Разновидности манометров

Жидкостные манометры: они не позволяют измерять значительных давлений: максимальные показания манометра зависят от самих линейных параметров манометра.

Особенностью этого манометра является то, что середина змееобразной трубки, которая получается после объединения нескольких однотрубных манометров V-образной формы, заполняется более легкой жидкостью, чем в рабочих концах.

При определении значений давления показания всех однотрубных или чашечных соединяются в одно.

$$\rho = \gamma h_1 + (\gamma - \gamma_1)(h_2 + h_3 + \dots + h_n).$$

Погрешность, в основном, вносится в измеряемое значение ρ параметрами γ и h .

Следовательно, нижняя граница измерений задается ценой деления шкалы, например, манометра. Измерения можно и нужно проводить до тех пор, пока величина погрешности не сопоставима, точнее, меньше либо равно цене деления.

Для получения более точной высоты столба, пользуются оптическими фото- и электронными следящими системами.

Применение металлических труб в этих случаях имеет свои преимущества: можно применять **индуктивные следящие системы**. При изменении положения манометра по вертикали увеличивается погрешность: но это происходит при $\alpha < 15^\circ\text{C}$.

Точность при наклонных трубках больше при $\alpha > 15^\circ\text{C}$. Более того, повышается **чувствительность** прибора

50а

50. Причины начальных погрешностей

Начальные погрешности в измерение могут вноситься по следующим причинам.

1. Удельный вес:

1) степень однородности среды нарушена вследствие нахождения в ней примесей (в том числе и растворимых газов; такие жидкостные среды в гидравлике называются **вязкими жидкостями**. Из-за нарушения этой вязкости и изменяется удельный вес рабочей жидкости);

2) может измениться ускорение силы тяжести: оно не всегда равно $9,8 H$, например, на уровне моря, где напор на поверхности $H = 0$, ускорение $g = 6,65$. С учетом этого измерения g , относительная погрешность, вносимая в измерение давления, выражается формулой:

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = -0,00259 \cos^2 \varphi - 2 \times 10^{-7} H$$

где φ — значение географической широты.

К изменению плотности приводит изменение не только вязкости, но и температуры, а это требует изменения длины самой шкалы для отсчета высоты столба. Изменение температуры на величину Δt вызывает **температурную погрешность**.

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = (\beta - 3x_v - x_w) \Delta t,$$

где β — коэффициент температурного расширения по объему; x_v, x_w — то же самое, но для линейного расширения узлов прибора (трубы и шкалы).

52а

52. Средства измерения гидравлических параметров жидкости

В зависимости от принципа действия, приборов для измерения гидравлических параметров можно выделить много. В качестве работы в них применяются принципы, начиная от перепада давлений до самых современных, например, ядерно-магнитного резонанса (ЯМР).

Наиболее популярны следующие приборы.

Приборы с принципом работы на перепаде давления.

Перепад (разность) давлений измеряется дифференциальным манометром, который называют **дифманометром-расходомером**.

Перепад давлений можно рассчитать по формулам:

$$Q = xEF \sqrt{\frac{2g\Delta\rho}{\gamma}} \text{ м}^3/\text{сек},$$

$$G = xEF \sqrt{2g\gamma\Delta\rho} \text{ кг/сек},$$

где x — коэффициент расхода сужающего устройства; E — поправочный множитель на расширение измеряемой среды (для жидкостной среды $E = 1$); F — площадь отверстия сужающего устройства; γ — удельный вес измеряемой среды в рабочем процессе; g — ускорение свободного падения; $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$ — перепад давления в сужающем устройстве.

506 2. Высоты столбца:

- погрешность введена при изготовлении шкалы, принято показания погрешности считать на $\pm 0,5$ мм; при использовании оптических устройств удается снизить эту погрешность до $\pm 0,01$ мм и даже больше;
- изменение силы поверхностного натяжения также вносит погрешности, поскольку, по законам гидравлики, смачивается поверхность трубки и подъем жидкости увеличивается. Но в зависимости от этой силы, жидкость может не подниматься.

$$\Delta h_x = \frac{A}{d},$$

Уменьшение диаметра до величины < 4 мм тоже вносит погрешность.

3. Положение манометра.

Если отклонение трубки от вертикали составит угол X , то погрешность увеличивается на:

$$\Delta h = h \left(\frac{1}{\cos x} - 1 \right);$$

если угол очень небольшой, то согласно законам тригонометрии:

$$\Delta h = \frac{1}{2} h x^2;$$

Если манометр изготовлен в 2-трубном исполнении (V-образный), то:

$$\rho = \gamma h = \gamma (h_1 + h_2),$$

где h_1, h_2 — уровни жидкостей в соответствующих трубках.

526 На практике применяют упрощенные виды:

$$Q_0 = 0,01252 \times E d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$G = 0,01252 \times E d^2 \sqrt{\gamma \Delta p} \text{ кг/ч},$$

в этих формулах: d — диаметр сужающего отверстия, мм; Δp — искомый перепад давлений, кг/м²; γ — удельный вес вещества, кг/ч.

Если выразить диаметр через внутренний диаметр D трубопровода:

$$m = \frac{d^2}{D},$$

где m — модуль сужающего устройства, то:

$$Q_0 = 0,01252 \times E m d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$G = 0,01252 \times E m D^2 \sqrt{\gamma \Delta p} \text{ кг/ч}.$$

Часто в вышеприведенных формулах удельный вес γ заменяют на плотность среды ρ , с учетом того, что единицы измерения заменяемых γ и ρ те же — кг/м³.

Метод измерений гидравлических параметров на перепадах давлений — самый распространенный из-за ряда достоинств: универсальность, широкая номенклатура сред, большой диапазон измерения температуры и многие другие.

496 Зависимость является одним из основных принципов, по которым измеряется давление не только жидкостей, но и других сред: кстати, уравнение можно применить для создания заданных давлений.

Основным, т. е. наиболее распространенным прибором для измерения давления является **манометр**: он имеет много разновидностей, вплоть до работающих на разности давлений.

Единицы измерения давления: как правило, оно измеряется в 1 кг/см².

Однако основной единицей является Н/м².

Между ними существуют следующие соответствия:

1) 1 мм вод. ст. = 9,8 Па;

2) 1 мм рт. ст. = 133,3 Па;

3) 1 атм = 760 мм рт. ст.

Для измерения очень сильных давлений пользуются **килобаррами (кбар)**, 1 кбар = 1000 атм.

Формула для относительной погрешности.

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta \gamma}{\gamma} + \frac{\Delta h}{h}.$$

516 (в этом случае, его называют **микроманометром**):

$$\delta = \frac{x}{p} = \frac{1}{\gamma \left(\frac{f}{F} + \sin x \right)},$$

где p — измеряемое давление; x — перемещение уровня жидкости в трубке.

Чувствительность может быть повышена еще значительнее, если воспользоваться двухжидкостным манометром: в манометре V-образная трубка переходит в концах в чашечки и заполнена разными жидкостями, близкими по удельному весу.

Для такого манометра, чувствительность

$$\delta = \frac{x}{p} = \frac{1}{\frac{f}{F} (\gamma_1 + \gamma_2) + (\gamma_1 - \gamma_2)},$$

где f, F — площади сечений и расширительных камер (чашек).

Среди наиболее распространенных манометров следует выделить следующие типы манометров: **поршневые, пружинные**, у которых, в свою очередь, целый ряд разновидностей.

Для измерения **давления в газах** пользуются их свойствами, связанными с плотностью ρ , поскольку $p \sim \rho$.

Такие манометры называют **компрессионными**.

53а 53. Ядерно-магнитный резонанс

Корнеизвлекающие устройства могут быть как механическими, так и электронными, работающие на принципе ЯМР.

Если расходомер работает на перепаде давлений, то датчиком искомого давления является поплавок, который помещен в поток измеряемой среды: на поплавок снизу действует выталкивающая его сила и открывает проходное отверстие. В результате устанавливается перепад давлений. Поскольку этот перепад давлений не зависит от самого расхода, то его переменение принимается за меру расхода.

Такие расходомеры называют **ротаметрами**.

Существуют еще **электромагнитные, ультразвуковые, ионизационные, тепловые, массовые** и другие виды расходомеров, работающие по разным принципам. Среди них особо следует выделить расходомеры с **ядерно-магнитным резонансом**: малая инерционность, отсутствие других устройств в трубопроводе, линейность шкалы, широкий диапазон (20 : 1) измерений.

Однако ядерно-магнитный резонанс требует наличия сильного магнитного поля. Поэтому их невозможно применять для измерения расходов в трубопроводах с малым диапазоном. С этой точки зрения их можно отнести к той же группе, что и дифманометры — расходомеры.

Поверх всех расходомеров, проводят относительные погрешности, сравнивая и настраивая их с эталонными.

$$\delta = \frac{V_0}{V_n} \left(1 - \frac{q}{Q} \right) - 1$$

54а 54. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования

Системы контроля и автоматического регулирования, конечным результатом которых являются сегодня орбитальные космические станции, межпланетные орбитальные станции, годами находящиеся на расстоянии сотни тысяч километров, являются высшим полетом современной инженерной мысли. Все это всего лишь каких-то 40—50 лет назад было мечтой всего человечества. Чтобы реализовать эти достижения, пришлось разработать, спроектировать более сложные средства, используя уже имеющиеся. В нашей последней заключительной лекции попробуем разобраться с вопросами проектирования средств автоматического регулирования и контроля. Из выше изложенного уже ясно, что основной задачей проектирования является:

- 1) разработка схемы;
- 2) обеспечение выбора аппаратуры для технологического контроля при производстве;
- 3) оформление принятых решений в виде технической документации, соответствующей ГОСТ.

В задачу проектирования входят вопросы, которые должны обеспечить проектные материалы; выяснить, каким методом произвести монтаж САР и контроля промышленным способом; каков ожидаемый эффект от выбранного способа выполнения заказа.

Если за советом и примером обращаться к природе, то увидим: жизнеспособны и долговечны только те материальные, в том числе биологические, системы, которые расходуют наименьшее количество энергии. Другими словами, чем менее энергоемка система, тем она более долговечна и живуча.

55а 55. Проектная документация

Проектная документация, которая является итогом проектирования САР и контроля, как правило, состоит из двух частей.

1. На стадии «задание на проектирование» изучаются вопросы, связанные с самим объектом; вопросы основных характеристик технологии и технологических установок; изучаются коммуникационные схемы; чертежи необходимого оборудования, требуемых помещений и т. д.

Должны быть исчерпывающе выяснены вопросы, связанные с качественными показателями, такие, как допуск, точность, другие вопросы, связанные с разбросом необходимых параметров.

Кроме вышеперечисленных, самым сложным и ответственным вопросом являются проблемы оперативного управления производством с применением САР. Для успешного выбора схемы производства при выполнении задания на проектирование должны быть привлечены специалисты непосредственно из технологического процесса.

2. Следующая стадия — проектное задание. На этой стадии проектируются и оформляются в специальной технологической документации следующие вопросы: структурные схемы управления автоматизируемым объектом; принципиальная схема контроля и автоматизации; заявочные ведомости (на регуляторы, электрооборудование, кабели, провода, трубы и пр.).

Рабочие чертежи — это вторая часть проектной документации. После завершения первой части все принятые решения переносятся на бумагу в виде чертежей, после чего оформляется техническая документация. Какие требования предъявляются к рабо-

56а 56. Предпосылки успешного развития современного отечественного приборостроения. Основные тенденции в развитии приборостроения

Всего 20 лет назад о современном уровне компьютеризации страны можно было только мечтать, сегодня все это реальность. В связи со всеми этими новшествами сам собой возникает вопрос: в каком направлении развивается приборостроение? Что за горизонтом? В каком направлении будет развиваться отечественное приборостроение? Во-первых, придется отметить, что отечественное приборостроение как составная часть машиностроения до сих пор занимает одну из первых позиций в мире. Наши студенты продолжают побеждать на самых престижных международных олимпиадах. Получение в 2000-м году академиком Алферовым Нобелевской премии явилось признанием российской науки международным научным сообществом. В настоящее время наука поддерживается государством на самом высоком уровне, лично Президентом страны. Наряду с прежними направлениями (космос, медицина, фундаментальная атомная и ядерная физика), российские ученые вышли вперед в области высоких технологий, нанотехнологий. Сегодня, достигнут предел: погрешности в приборах стали сравнимыми с размерами атомов — это 1 Å, то есть 10⁻⁸ см. Что будет следующим наилучшим эталоном погрешности? Может быть, период полураспада какого-то только что открытого химического элемента? Очень даже может быть. Сегодня науке известно уже более ста элементов. Долгожителями из новых элементов являются «тяжелые», но даже они

546 Мы изложили универсальный закон природы, который проявляется себя во всех сферах жизни как один из основных. Применительно к рассматриваемому нами вопросу, из этого закона следует, что производство изделий должно обойтись предприятию с наименьшими затратами. Для этого количество приборов должно быть, как можно, меньше: нестандартные средства для данного проекта могут быть допущены только после тщательной проработки (как теоретически, так и экспериментально). Даже в этом случае предпочтение должно быть отдано тем специальным элементам и узлам, которые уже выпускаются или выпускались серийно на данном предприятии. Необходимо думать не только о наименьшем количестве затрат при производстве, но и о надежности последующей эксплуатации, вопрос гарантийного обслуживания и ремонта выпускаемых изделий также является вопросом себестоимости, а самое главное, вопросом престижа предприятия; монтаж электропроводных линий и родственных конструкций, как правило, составляет 80% объема всех монтажных работ. Поэтому удачный выбор монтажа имеет большое значение. Обеспечение реализации выбранного проекта наиболее рациональными, простыми и дешевыми способами является не только производственной, но и общегосударственной задачей, с точки зрения обеспечения произведенными САР и контроля не только технологических процессов, но и систем обеспечения в структурах безопасности.

566 живут в течение доли секунды. Но уже начиная со 105-го элемента, вещества делятся с такой скоростью, которую ни один современный прибор измерять не может: не существует приборов с такой точностью. Вот куда, во-первых, идет приборостроение. Этот фактор настоятельно требует — уже сегодня нужно начинать преподавать в средних школах, специальных учебных заведениях, вузах основы микро- и наноэлектроники, как и основы ВТ. И естественно, зададимся вопросом: что дальше? То есть вычислительная техника на наших глазах внесла значительный вклад в эволюцию человечества. К чему приведет, с этой точки зрения, бурное развитие нанотехнологий? Это во-вторых. В-третьих, проблемы передачи сигнала на расстояние без искажений и без потерь все же остаются актуальными. Четвертое направление — проблема источников питания, связи с дальнейшей миниатюризацией РЭА. Требуются новые адекватные источники питания. Пятое. Сегодня скорость света является базовой для точности измерения многих параметров. Остается ли она такой же? На свете вышеуказанных проблем приборостроения, не исключено, что появится новый эталон в измерениях: может быть, им станет какой-то параметр одной из элементарных частиц. Шестое. Это проблема самой электроники, проблемы сверхпроводимости. А это вопросы управления и эксплуатации низкотемпературной плазмы. Отрадно, что отечественное приборостроение уже сегодня является флагманом не только в отрасли приборостроения. Задача сегодняшнего студенчества — продолжать славные традиции советской науки и техники.

536 где $\delta \leq 0,1-1$; V — измерительный объем жидкости; V_0 — объем жидкости, соответствующее одному обороту стрелки; h — количество V_0 в объеме V ; столько же движется стрелка, отсчитывая V_0 ; Q — количество расхода расходомеров; q — потери расхода.

Работа с этими расходомерами требует установки предварительного фильтра.

Из-за разных динамических вязкостей μ_1 и μ_2 жидкостей, их погрешности по измерению объема δ_1 и δ_2 , связаны между собой как:

$$\delta_2 = C + (\delta_1 - C) \frac{\Delta p_2 \mu_1}{\Delta p_1 \mu_2},$$

где C — постоянная счетчика; Δp — перепад давления, где

$$\Delta p = f \left(\frac{Q}{v d^4}, \frac{Q \mu}{d G}, \frac{\mu C_p}{\lambda} \right)$$

все параметры в скобке безразмерны; d , G — диаметр и вес рабочего органа счетчика; v — кинематическая вязкость жидкости; C_p — теплоемкость жидкости; λ — теплопроводность жидкости.

556 чим чертежам? В них должен быть исчерпывающий ответ на вопросы, связанные с производством данного изделия. Кроме всего прочего, они служат основой для заявочных ведомостей.

Пояснительная записка. Этим документом завершается проектирование САР. Она должна быть составлена как можно более кратко, но должна содержать самую конкретную информацию: никаких второстепенностей, повторений и ненужных подробностей. Пояснительная записка содержит перечень материалов, информацию о технологии производства и основных характеристиках объекта, другие основные требования, но ни в коем случае не математические выкладки. В пояснительную записку могут быть включены различные приложения, содержащие самую разнообразную информацию, например, о перечне необходимых исследовательских и экспериментальных работ. Проектная документация включает в себя документы о спецификации и о сметно-финансовых расчетах. Рассмотрим еще один вопрос, вопрос о методике выбора аппаратуры; хотя этот вопрос не входит в проектирование, но играет чрезвычайно важную роль для реализации требований, вытекающих из задания на проектирование. Очевидно, что речь идет о критерии, на основе которого делается выбор.