

ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРИЙНОПРИГОДНОСТИ АППАРАТУРЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В. А. Луцкий

Киевский институт автоматики

Ставится задача — определить необходимый объем исследований статистического характера, позволяющих получить с требуемой достоверностью оценку ненадежности оборудования телемеханики, обусловленной возможными отклонениями рабочих параметров его элементов. Из опыта следует, что такие неучтенные отклонения рабочих параметров — одна из основных причин, вызывающих трудности при внедрении систем телемеханики в производство. В работе намечаются пути решения задачи обеспечения серийно-пригодности аппаратуры телемеханики.

Сложная аппаратура автоматики на стадии «приработки», как правило, отказывает из-за ошибок конструирования, вызванных недостаточным объемом проведенных расчетов и статистических испытаний. Не совсем точное значение статистических характеристик рабочих параметров элементов устройства ведет к неправильному применению элементов и в конечном итоге — к недопустимо высокой вероятности отказов, обусловленных естественными отклонениями таких параметров. Если разрабатываемое устройство достаточно сложно и включает в себя много элементов, технологией изготовления обычно не предусматриваются какие-либо подстройки рабочих параметров элементов. Ошибки же конструирования вызывают необходимость коренной переработки оборудования, а значит обуславливают и соответствующие потери времени и средств (элемент системы в соответствии с принятой терминологией — часть системы, предназначенная для выполнения определенных функций, например — триггер, генератор, схема совпадения и т. д.).

Чтобы избежать таких потерь, о серийнопригодности разрабатываемого оборудования следует заботиться на стадии проектирования. В качестве характеристики серийнопригодности нас интересует вероятность работоспособности системы непосредственно после заводской сборки при условии отсутствия в ней элементов с явными дефектами, обусловленными повреждениями комплектующих деталей и ошибками монтажа. Говоря далее о надежности, мы будем иметь в виду именно этот показатель, определяя его вероятностью отклонения параметров элементов за допустимые пределы в момент включения системы и не учитывая для простоты зависимости этой вероятности от времени.

Чтобы гарантировать надежность системы автоматики, требуется провести как минимум работу по оценке надежности элементов и узлов системы. Зная показатели надежности, можно при надобности принять меры к ее повышению, например изменив режимы схем, введя избыточность или, наконец, признав исследуемый элемент непригодным, заменить его на

элемент иного типа. Все это потребует дополнительных затрат, которые требуются для оценки надежности.

Найдем минимально необходимые затраты, исходя из количества испытаний, требуемых для оценки надежности системы.

Из общих соображений понятно, что чем выше требования к надежности разрабатываемой автоматики и чем она сложнее, тем лучше нужно знать свойства применяемых элементов, т. е. в большем объеме иметь их статистические характеристики. С увеличением сложности системы объем данных может оказаться таким неприемлемо большим, что за установленное время разработки при ограниченных силах становится трудно или даже невозможно оценить, а следовательно и обеспечить надежность системы.

На трудности, возникающие, когда оцениваются интенсивности отказов элементов сложных систем и используется биномиальная модель отказов, обращалось внимание в литературе [1], [3].

В случаях нормальных законов распределения эффективность оценок показателей надежности значительно выше. Тем не менее при связанных показателях функционирования объем статистических экспериментов, необходимых для оценки надежности, очень велик. Это порой недооценивается, в результате чего не обеспечивается требуемая серийнопригодность проектируемой аппаратуры. Работа ставит задачу обратить внимание на эту сторону проектирования.

Допустимую вероятность отказов элементов системы, обусловленную возможными отклонениями их рабочих параметров, можно оценить в зависимости от сложности системы, задавая вероятностью R того, что система будет исправно функционировать после сборки с определенной доверительной вероятностью (достоверностью) α . Пусть система состоит из N элементов, отказы которых происходят взаимно независимо. Допустимая вероятность отказа i -го элемента p_{si} определяется из соотношения

$$\prod_{i=1}^N (1 - p_{si}) \geq R;$$

или

$$(1 - p_s)^N \geq R,$$

если положить допустимые вероятности отказов элементов одинаковыми и равными p_s . Поскольку p_s малы,

$$(1 - p_s)^N \approx 1 - Np_s \quad \text{и} \quad p_s \leq \frac{1 - R}{N}.$$

Аналогичным образом найдется достоверность α , вероятности p , [1]:

$$\alpha_s \geq 1 - \frac{1 - \alpha}{N}.$$

Для того чтобы пусковая наладка устройства автоматики сводилась к устранению действительно случайных ошибок изготовления, отысканию и замене дефектных элементов, требуется, чтобы вероятность отказа $1 - R$ была достаточно малой. Можно считать, что система обладает приемлемой серийнопригодностью, если величина R составляет не менее 0,9 с достоверностью $\alpha = 0,9$.

Тогда, например, для системы, содержащей 10^3 элементов, требуется обеспечить $p_s \leq \frac{1-0,9}{10^3} = 10^{-4}$ с доверительной вероятностью

$$\alpha_s = 1 - \frac{1-0,9}{10^3} = 1 - 10^{-4}.$$

Если работоспособность одного элемента характеризуется в среднем M взаимно независимыми параметрами, вероятность отказа элемента из-за отклонения одного такого параметра за пределы допусков должна составлять величину

$$p_n \leq \frac{p_s}{M} \approx \frac{1-R}{MN}$$

с доверительной вероятностью $\alpha_n \geq 1 - \frac{1-\alpha_s}{M}$.

Например, если число M независимых рабочих параметров одного элемента равно 10, $p_n \leq \frac{0,1}{10^4} = 10^{-5}$ с доверительной вероятностью $1 - 10^{-5}$.

Определим теперь необходимое число опытов, позволяющих оценить величину p_n с требуемой доверительной вероятностью.

Для оценки надежности элемента системы положим, что известны M рабочих параметров A_i , $i = 1, \dots, M$, характеризующих работоспособность исследуемого узла. Если допустимые значения каждого параметра сверху и снизу $= B_{1i}, B_{2i}$ и сами рабочие параметры — попарно независимые нормально распределенные случайные величины, надежность R_s элемента определяется произведением вероятностей сохранения каждого параметра в пределах допусков и, как известно, может быть найдена через композицию законов распределения параметров и допусков:

$$R_s = \prod_{i=1}^M R_i = \prod_{i=1}^M P\{B_{1i} \geq A_i \geq B_{2i}\} = \frac{1}{2} \prod_{i=1}^M [\Phi(x_{1i}) + \Phi(x_{2i})]. \quad (1)$$

Здесь $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-z^2} dz$ — известная функция Лапласа;

$$x_{1i} = \frac{\bar{B}_{1i} - \bar{A}_i}{\sqrt{2(\sigma^2[B_{1i}] + \sigma^2[A_i])}} = \frac{\bar{\Delta}_{1i}}{\sqrt{2}\sigma_{1i}}; \quad (2)$$

$$x_{2i} = \frac{\bar{A}_i - \bar{B}_{2i}}{\sqrt{2(\sigma^2[B_{2i}] + \sigma^2[A_i])}} = \frac{\bar{\Delta}_{2i}}{\sqrt{2}\sigma_{2i}}, \quad (3)$$

где $R_i = P\{B_{1i} \geq A_i \geq B_{2i}\}$, $\bar{A}_i$, $\bar{B}_{1i}$, $\bar{B}_{2i}$ — математические ожидания соответствующих случайных величин, а $\sigma^2[A_i]$, $\sigma^2[B_{1i}]$, $\sigma^2[B_{2i}]$ — их дисперсии.

$$\bar{\Delta}_{1i} = \bar{B}_{1i} - \bar{A}_i; \quad \bar{\Delta}_{2i} = \bar{A}_i - \bar{B}_{2i} \quad (\text{рис. 1});$$

$$\sigma_{1i}^2 = \sigma^2[B_{1i}] + \sigma^2[A_i]; \quad \sigma_{2i}^2 = \sigma^2[B_{2i}] + \sigma^2[A_i]. \quad (4)$$

Если параметры функционирования элемента взаимно зависимы, оценка (1) является оценкой действительной надежности сверху. Этим она удобна, учитывая, что определение коэффициентов корреляции между событиями выхода за допустимые пределы параметров элементов — весьма трудоемкое дело.

В частном случае, когда имеется односторонний допустимый предел B_i , для параметра A_i

$$R_i = P\{B_i \geq A_i\} = \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{\bar{A}_i - \bar{B}_i}{\sqrt{2(\sigma^2[A_i] + \sigma^2[B_i])}}\right) = \frac{1}{2} \Phi(x_i). \quad (5)$$

Часто удобнее определять вероятности отказов $P_i = 1 - R_i$. Тогда

$$P_i = 1 - R_i = V(x_{1i}) + V(x_{2i}) \quad (6)$$

или при одностороннем допустимом пределе

$$P_i = V(x_i), \quad (7)$$

где

$$V(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-z^2} dz = \frac{1}{2} [1 - \Phi(x)] - \text{функция Крампа.}$$

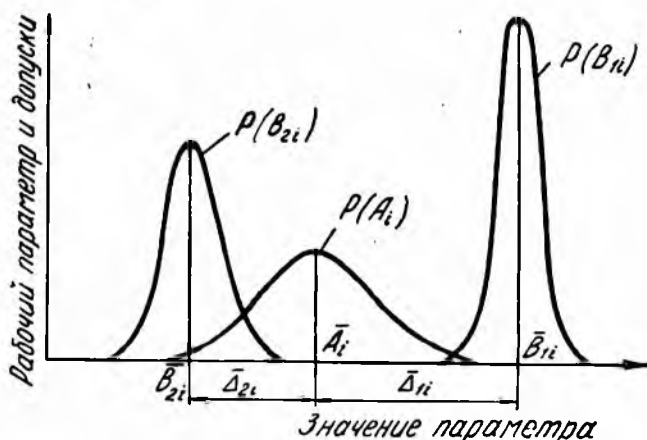


Рис. 1. К оценке вероятности сохранения параметра A_i в пределах допусков $B_{1i} + B_{2i}$. $P(A_i)$, $P(B_{1i})$, $P(B_{2i})$ — соответственно дифференциальные законы распределения рабочего параметра и допусков.

При этом, полагая $P_i \ll 1$, имеем

$$P_s = 1 - R_s \approx \sum_{i=1}^M [V(x_{1i}) + V(x_{2i})]. \quad (8)$$

Знание законов распределения случайных величин основывается на конечном числе экспериментов для оценки параметров распределений. При этом случайные выборки, естественно, дают значения таких параметров, отличные от истинных, — параметров генеральной совокупности. Степень доверия к статистическим величинам, полученным на основании конечных выборок, зависит от методики постановки опытов и объема выборочных испытаний.

Параметры нормального закона распределения на основании выборочных испытаний, как известно, наиболее эффективно находить, определяя выборочное среднее и выборочную дисперсию. Эти оценки обращают в максимум функцию максимального правдоподобия и требуют наименьшего

числа опытов при заданной достоверности результатов. Определим это минимально необходимое число опытов. Если на основании выборочных испытаний найдены величины x_{1i}^* , x_{2i}^* или x_{ti}^* , можно вычислить вероятности выхода за допустимые пределы доли генеральной совокупности случайной величины, используя так называемые толерантные множители.

Вероятность $R_{\Pi i}$ сохранения в допустимых пределах одного параметра A_i определится соотношениями

$$R_{\Pi i} = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{x_{1i}^*}{k_{Ti}} \right) + \Phi \left(\frac{x_{2i}^*}{k_{Ti}} \right) \right], \quad (9)$$

или для одностороннего толерантного предела

$$R_{\Pi i} = \frac{1}{2} \Phi \left(\frac{x_{ti}^*}{k_{Ti}} \right). \quad (10)$$

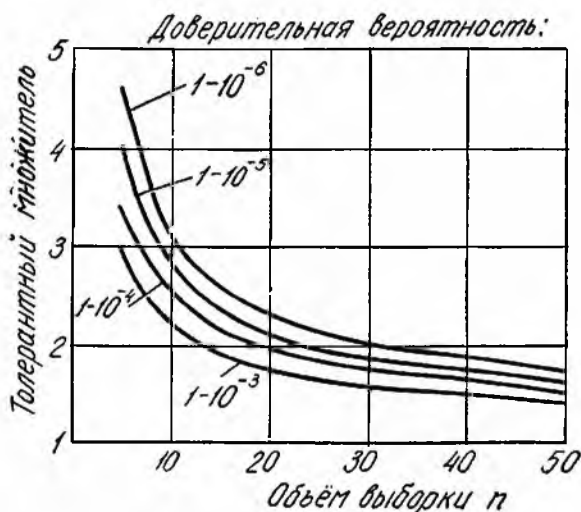


Рис. 2. Толерантный множитель в зависимости от объема выборки и доверительной вероятности.

Здесь k_{Ti} — толерантный множитель, зависящий от количества n_i опытов в выборке при исследовании надежности по параметру A_i , а также — от доверительной вероятности α_{Π} .

На рис. 2 приведены кривые k_T в функции n и α_{Π} . В обозначениях [2], (стр. 221) $k_T = \frac{k}{k_{\infty}}$.

Величина k_{Ti} определяет, во сколько раз должна быть завышена величина x_{ti}^* , найденная по конечной выборке, по отношению к величине x_i генеральной совокупности (или x_{ti}^* при $n \rightarrow \infty$), для того чтобы с заданной доверительной вероятностью гарантировалась требуемая надежность.

Если, например, при одностороннем допуске B_i на величину рабочего параметра требуется обеспечить вероятность отказа узла меньшую 10^{-5} ($x_i \geq 4,4$) с достоверностью $1-10^{-5}$, значение x_{ti}^* , определяемое на основании 10, 20 и 50 опытов, должно соответственно превышать величину 4,4 в 2,8; 2,1 и 1,6 раза.

Из рис. 2 следует, что значительное увеличение требуемого запаса наблюдается при $n = 20 \div 30$. Дальнейшее увеличение n ведет к сравнительно медленному уменьшению величины k_r , так что в области $n = 20 \div 30$ наблюдается нечто вроде порога. В качестве минимально необходимого объема выборки для оценки надежности по одному параметру причем это пороговое значение, составляющее приблизительно опытов 25.

Всякий другой путь оценки величин R_n будет менее экономичным в отношении необходимого числа экспериментов. Крайним случаем является при этом определение с заданной достоверностью частоты отказов. Это, вообще говоря, наиболее простой и универсальный путь, так как позволяет проводить оценку при произвольных законах распределений параметров, даже не зная самих параметров. Каждый опыт состоит в том, что в схему включается элемент и дается заключение вида (да — нет) о его работоспособности. Разумеется, если работоспособность элемента характеризуется несколькими параметрами, причем требуется определять надежность по каждому такому параметру, эксперимент усложняется. Однако при такой постановке выборочных испытаний значительно возрастает необходимое их число. Если, например, при n испытаниях элемента не наблюдается отказов (при этом число необходимых опытов для оценки надежности минимально), доверительные вероятности α_s , α_n связаны с p_s , p_n соответственно соотношениями

$$\alpha_s = 1 - (1 - p_s)^n; \quad \alpha_n = 1 - (1 - p_n)^n. \quad (11)$$

Отсюда, например, следует, что для подтверждения того, что вероятность отказа элемента не превышает величины 10^{-4} с достоверностью $1 - 10^{-4}$, требуется не менее $9 \cdot 10^4$ испытаний, в которых недопустимо ни одного отказа.

Для оценки надежности элемента такие испытания должны быть проведены по всем его рабочим параметрам. В табл. 1 дается перечень основных параметров некоторых элементов телемеханики. Как видно из таблицы, их число находится для различных элементов в пределах 5—20. Для реле — это напряжение и время срабатывания, отпускания, а также — сопротивление контакта.

Бесконтактные элементы телемеханики характеризуются гораздо большим числом таких параметров. Для триггера, например, — это величины входного и выходного сигналов нуля и единицы, входные и выходные импедансы (сопротивление и емкость), максимальная частота переключения, параметры импульсов, условия устойчивости открытого и закрытого триодов, чувствительность к помехам по питанию и условия отсутствия импульсной утечки триодов. Из них к импульсным параметрам отнесены характеристики запускаящего и выходного импульсов и параметры, существенные на высоких частотах.

Количество параметров, значительно влияющих на надежность элемента, зависит от условий его применения. Если элемент используется на пределе своих возможностей по быстродействию, должны учитываться как потенциальные, так и импульсные его характеристики. В промышленных устройствах телемеханики обычно не возникает такой необходимости, и число параметров, существенно влияющих на надежность бесконтактного элемента, составляет $\sim 8 \div 12$, определяясь в основном характеристиками работоспособности элемента в области низких частот.

Если рабочие параметры элемента некоррелированы, испытания могут проводиться независимо. Общее их число n_3 составит

$$n_3 = Mn_n \quad (12)$$

Например, для элемента на реле, считая время срабатывания и отпускания несущественными параметрами и полагая в первом приближении остальные три параметра независимыми, получим

$$n_{3p} = 3 \cdot 25 = 75 \text{ опытов.}$$

Для взаимно зависимых параметров требуется исследовать многомерный закон распределения комплексной характеристики. В общем случае, если зависимы все M существенных параметров функционирования, минимальное число статических экспериментов может быть оценено как

$$n_3 = n_{\Pi}^M. \quad (13)$$

Это позволяет набрать по каждой координате минимально необходимое число опытов.

Обычно все же не все параметры элемента взаимозависимы. В первом приближении можно разделить эти параметры на три группы: входные, выходные и внутренние параметры. При этом с известными основаниями можно считать параметры внутри каждой группы связанными, а параметры различных групп — независимыми, поскольку каждая группа таких характеристик определяется параметрами различных деталей элемента.

Полагая, что как минимум в каждой из таких групп содержится $m = 3$ связанных параметра, получим

$$n_{3 \min} \approx 3 \cdot n_{\Pi}^m \approx 45 \cdot 10^3. \quad (14)$$

Подобным образом должны быть исследованы все основные разновидности узлов в системе, поскольку элемент одного и того же типа в разных узлах обладает, вообще говоря, различной надежностью в зависимости от предъявляемых к нему требований. Под узлом мы понимаем исследуемый элемент совместно с окружающими его элементами, от которых зависят такие требования. Разумеется, в число C_n основных разновидностей узлов не должны входить узлы, отличающиеся величинами одинаковых по качеству нагрузок. В этом случае выбирается худший вариант включения элемента.

Надежность работы элемента в основных типах узлов должна быть оценена при всех возможных комбинациях C_{Φ} внешних эксплуатационных факторов, оказывающих существенное влияние на рабочие параметры элементов. (По условию мы исключаем из рассмотрения время как фактор, имеющий особое значение). Таким образом, минимальное число опытов, необходимых для оценки надежности системы бесконтактной телемеханики в указанном смысле, составит величину

$$n_{C \min} = C_N C_{\Phi} n_{3 \min} \approx 3 C_N C_{\Phi} n_{\Pi}^m \approx 45 \cdot 10^3 C_N C_{\Phi}. \quad (15)$$

Для устройства промышленной телемеханики основными внешними воздействиями являются обычно отклонения питающих напряжений

Основные параметры некоторых элементов телемеханических систем

Таблица 1

Параметры		Элементы и число параметров										
		Реле	Триггер	Каскад задержки	Инвертор	Усилитель	Схема совпадения	Феррит-диодная ячейка	Феррит-триодная ячейка	Мульти-вибратор	Генератор	Фильтр линейный
Входные	$u_{вх}$	2	2	2	2	1	4	2	2			1
	$z_{вх}$	—	2	2	2	2	2	2	2			2
	τ	2	2	2	1	—	—	1	1	—	—	—
	f	—	1	1	1	1	1	1	1			1
	Итого	4	7	7	6	4	7	6	6			4
Выходные	$u_{вых}$	—	2	1	2	1	2	2	2	1	1	—
	$z_{вых}$	1	2	2	2	2	2	—	2	2	2	2
	τ	—	2	3	3	—	3	3	3	2	1	—
	f	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—
	Итого	1	6	6	7	3	7	5	7	1	5	2
Уравнения функционирования и другие внутренние параметры		—	4	3	2	2	2	1	2	2	4	5—10
Всего		5	17	17	15	9	16	12	14	8	9	11—16
В том числе	Импульсные	2	10	16	8	3	11	12	12	4	2	3
	Потенциальные	3	8	2	7	5	5	—	2	4	7	8—13

Обозначения: $u_{вх}$, $u_{вых}$ — входные и выходные напряжения сигнала, помехи.

$z_{вх}$, $z_{вых}$ — входные и выходные полные сопротивления.

τ — длительности самого импульса и его фронтов.

f — частота повторения импульсов, частота генератора, верхняя частота усилителя.

Таблица 2

Число типов элементов и разновидностей узлов в некоторых системах телемеханики

№№ п/п	Тип системы	Назначение и класс системы	Число типов элементов			Количество разновид- ностей узлов
			основных	специальных	всего	
1	ВРТ	для энергетики релейно-контактная общепромышленного назначения;	2	2	4	5
2	РСТ	релейно-контактная с узлом запуска на полупроводниках общепромышленного назначения;	3	2	5	6
3	ТМЭ-1	время — распределительная	4	7	11	14
4	БТЦП	»	5	9	14	16
5	БТФ	»	4	4	8	11
6	ВРТФ	для энергетики время — распределительная	4	28	32	36
7	БУТОН-1*	ТУ, ТС общепромышленного назначения; частотная	8	16	24	35
8	БУТОН-2*	ТИ общепромышленного назначения; частотная	8	26	34	42
9	УТЭС*	для энергетики частотная	14	16	30	45
10	КТС*	для диспетчеризации магистральных газопроводов; кодо-импульсная	12	24	36	65

Примечания: К основным отнесены элементы, составляющие 80—90% аппаратуры
 * — разработки Института автоматики

и температуры внешней среды. Каждый из них обладает двумя степенями свободы [1]. Следовательно, испытания каждого типа узлов должны проводиться с учетом результатов испытаний при нормальных (лабораторных) условиях $C_\Phi = 5$ раз.

Что касается величины C_N , то она зависит от класса, назначения, а также степени обработанности системы. Значение этой величины в соответствии с данными табл. 2, полученными на основании [5] и разработок Института автоматики, изменяется в пределах 5—65.

В системах, построенных на электромеханических реле, число разновидностей узлов минимально и обычно составляет 2—5, по количеству типов используемых реле, поскольку разные комбинации замыкающих ток через обмотку реле контактов не дает существенного различия с точки зрения надежности. И действительно, из опыта известно, что при проектировании систем на реле основная задача состоит в экономном и правильном (отсутствие ошибок, ложных цепей и т. д.) построении контактных структур. Задачи же статистического характера, как правило, совершенно не принимаются во внимание. В объеме, необходимом для освоения реле, (~ 100 экспериментов) каждый инженер располагает опытом за счет предпрограммирования.

В системах, использующих бесконтактные элементы статическими задачами нельзя пренебрегать. Объем необходимых исследований здесь наименьший для систем с простой структурой (время — распределительных) составляет $15 \cdot 5 \cdot 45 \cdot 10^3$ испытаний, больше — для системы частотного типа, обладающих более сложной структурой и еще больше — для сложной кодовой системы (10^8).

Конечно, совершенно не обязательно решать вопросы серийно-пригодности, именно проводя статистические эксперименты — они могут быть заменены в нужном объеме расчетами на надежность, например, подобных расчетам [4]. Однако нужно помнить, что применение новых элементов в системе накладывает большие обязательства на разработчиков систем — появляется необходимость проводить исследования или громоздкие расчеты статистического характера.

Недооценка этой стороны дела привела к тому, что многие из разработанных систем телемеханики оказались несерийнопригодными и либо не пошли в производство, либо доводились многие годы с излишними потерями сил и средств. Телемеханики, привыкшие иметь дело с устройствами на реле, переходя на разработку бесконтактной аппаратуры, брались проектировать и изготовлять ее примерно в такие же короткие сроки — 3—5 месяцев и такими же малыми силами — группами 5—10 человек, не имея готовых элементов. Этим в некоторой степени можно объяснить неудачи в разработках систем телемеханики. Это не значит, конечно, что следует переходить на релейные устройства. При современных запросах техники требуемая сложность устройств автоматики такова, что реле не удовлетворяют ее по другим причинам, в частности, по надежности связанной с внешними отказами, а также — по быстродействию. Важно понять, что переход на бесконтактную технику требует значительно больших усилий, чем разработка схем на релейно-контактных элементах. Опыт разработки сложных электронных устройств, в частности, вычислительных машин, подтверждает вероятность такого вывода.

На основе проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы.

1. При проектировании сложных систем следует обращать внимание на серийнопригодность разрабатываемой аппаратуры, обеспечивая ее прове-

дением в необходимом объеме исследований статистического характера или расчетов.

2. В случае недостатка человеко-ресурсов и времени при разработке необходимо уменьшать статистическую неопределенность, применяя простые структуры, готовые элементы с известными нагрузочными характеристиками хотя бы за счет увеличения объема аппаратуры. Нужно помнить, что всякий новый примененный в схеме элемент даже в одном варианте включения требует проведения статистических испытаний или расчетов в объеме $\sim 5 \cdot 45 \cdot 10^3$ опытов.

3. Если время и силы, нужные для разработки системы, ограничены, следует применять элементы с малым числом существенно влияющих на их надежность параметров. В частности, переход на потенциальные схемы в устройствах телемеханики связан именно с уменьшением быстродействия и увеличением объема аппаратуры.

4. Целесообразно разрабатывать элементы, обладающие малой статистической неопределенностью, т. е. малым числом параметров функционирования с малыми дисперсиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Ллойд, М. Липов. Надежность. «Сов. радио», М., 1964.
 2. Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. Краткий курс математической статистики для технических приложений, Физматгиз, М., 1959.
 3. Е. Г. Пирושка. Категории отказов управляемых снарядов. «Труды 6-го симпозиума США по надежности и контролю качества», Нью-Йорк, 1961.
 4. С. М. Доманицкий, И. В. Прангишвили. Вероятный метод расчета полупроводниковых логических элементов, «Автоматика и телемеханика», 1964, № 6.
 5. В. А. Ильин, А. А. Левин. Система промышленной телемеханики ГОСИНТИ, М., 1964.
-