

Т. Р. АСТАФЬЕВА, Г. Я. ЗВЕРЕВ
(Рязань)

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Целью контроля сложных систем является определение работоспособности системы, т. е. выяснение степени пригодности системы для использования ее по назначению. Степень пригодности определяется путем сличения изготовленной системы с системой, физически не существующей, заданной в ТУ. Условимся называть контролируемую систему «оригиналом», а систему, существующую в ТУ, «изображением». Степень приближения оригинала к изображению и определяет степень пригодности системы. Величина отличия должна лежать в пределах допуска на изображение. Таким образом, методы контроля основаны на узнавании образов, а теория контроля является частью более общей теории узнавания образов. Одним из методов узнавания (сличения) является сравнение интегрального параметра изображения с интегральным параметром оригинала. Этот метод, как нам представляется, является наиболее удобным методом сличения применительно к задачам контроля; назовем его интегральным методом контроля. Следовательно, цели контроля сложной системы предопределяют результат контроля не как сумму измерений, а как интегральную оценку технического состояния системы.

Существующий допусковый контроль не отвечает целям контроля, так как сумма измерений, которой располагает оператор в результате контроля, не дает представления о степени приближения оригинала к изображению. Решение задачи автоматического контроля сложной системы затрудняется еще и тем, что логическая обработка результатов допускового контроля выполняется вычислительной машиной. А это значит, что в результате отклонения любого параметра за допуск система получает оценку «не годна». С другой стороны, если большая часть ответственных параметров находится на границе допуска, система оценивается «годной». Опыт эксплуатации сложных систем различного назначения говорит о том, что такая оценка системы не отвечает действительному положению вещей, данный метод контроля является одновременно и слишком «жестким» и слишком «мягким».

Интегральный метод контроля основан на определении интегрального параметра, характеризующего техническое состояние оригинала в смысле выполнения его назначения. Таким интегральным параметром, характеризующим систему и с технической и с тактической стороны, является надежность. Под надежностью системы будем понимать веро-

ятность безотказной работы, т. е. вероятность выполнения назначения системы. Конечной целью контроля является определение надежности системы для выяснения возможности применения системы или принятия мер для повышения надежности. Результат контроля удобно получить в относительных единицах $\frac{P}{P_0} = D$, где P — надежность системы при данных отклонениях параметров; P_0 — надежность системы при номинальных значениях параметров; D — дееспособность системы (физически это ухудшение работоспособности системы относительно работоспособности ее при номинальных значениях параметров). Система может быть представлена как совокупность устройств и связей, выполняющих заданные и четко определенные функции. Для общности назовем их «районами» системы. Важно отметить, что районами могут быть не только устройства, но и «нематериальные» связи, например контур управления. Район характеризуется одним выходным параметром. Надежность системы определяется надежностью ее составных районов:

$$P_0 = P_1 P_2 P_3 \dots P_i.$$

При этом нет необходимости знать функциональные зависимости выходных параметров системы от выходных параметров районов, что радикально упрощает задачу нахождения интегрального критерия. Приведенное уравнение справедливо при независимости выходных параметров районов. Критерий независимости определяется на основе теории уравнивания. Опыт говорит о том, что при малых изменениях параметров районов их взаимное влияние ничтожно. Работоспособность района изменяется с отклонением параметра от номинального значения. Номинальному значению параметра соответствует наибольшая возможная вероятность безотказной работы района. С отклонением параметра в пределах допуска вероятность безотказной работы снижается, достигая на границе допуска того наименьшего допустимого значения, которое обеспечивает безотказную работу всей системы.

В основу допускового контроля положено предположение, что вероятность безотказной работы района не изменяется с изменением параметра в пределах допуска, а на границе допуска падает до нуля (рис. 1). Такое предположение приводит к замене реально существующей зависимости 2 аппроксимированной зависимостью 3. Аппроксимация кривой 1 ведет к потере части информации о системе, в результате чего возрастает риск поставщика и риск заказчика. Важно отметить, что риск поставщика и заказчика возрастает одновременно, а не один за счет другого. (Риск поставщика обозначает возможность забраковать пригодное изделие, а риск заказчика — возможность пропустить изделие, не удовлетворяющее требованиям ТУ.)

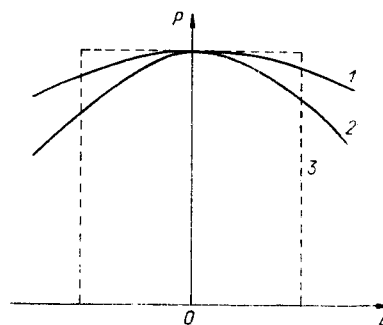


Рис. 1. Функции надежности $P=f(\Delta)$:

1, 2 — функции надежности, используемые в интегральном контроле; 3 — функция надежности, используемая в допусковом контроле.

Зависимость надежности района от величины отклонения параметра может быть использована при выборе допусков и определении перечня параметров. Для того чтобы выбрать допуски, необходимо задаться минимальной надежностью района и определить, используя зависи-

мость $P=f(\Delta)$, соответствующее ей отклонение. Необъективный выбор допусков приводит к увеличению риска поставщика и риска заказчика. Полезно отметить, что наибольшая надежность системы будет иметь место при равнонадежности районов.

Характер зависимости $P=f(\Delta)$ является общим для всех параметров систем. Различие их состоит в крутизне кривой. Это различие может быть положено в основу определения перечня контролируемых параметров. Очевидно, параметры, имеющие малую крутизну зависимости $P=f(\Delta)$, мало говорят о работоспособности системы, т. е. район, характеристикой которого они являются, не представляет интереса с точки зрения контроля (см. рис. 1). В результате контроля находим величину надежности системы, что по сути является предсказанием поведения системы. Говоря о предсказании, обычно имеют в виду коэффициент боевой готовности (КБГ) или коэффициент боевой работы (КБР). Так как предсказание объективно делается на основании опыта эксплуатации ранее проконтролированных экземпляров системы, то, естественно, во-первых, зависимость надежности района от отклонения параметра должна быть изучена достаточно точно, во-вторых, технологическая повторяемость образцов систем должна быть достаточно строгой. Оба требования определяются из заданных норм риска поставщика и риска заказчика. При отсутствии жестких норм на риск заказчика и поставщика схема контроля соответственно может быть упрощена вплоть до применения допускового контроля.

Конечная точность получения зависимости $P=f(\Delta)$ и технологической повторяемости приводит к «размыву» этой зависимости. Величина размыва является исходной для определения допустимой погрешности измерения параметра.

Для оценки эффективности интегрального контроля проведен сравнительный анализ оперативных характеристик интегрального и допускового контроля. Оперативная характеристика контроля представляет собой зависимость вероятности приемки системы от качества системы $P_{пр}=f(\sigma)$ (рис. 2). За оценку качества системы принято рассеяние параметров σ системы.

Характеристика допускового контроля не отражает действительной работоспособности системы, ибо не используется реальная зависимость

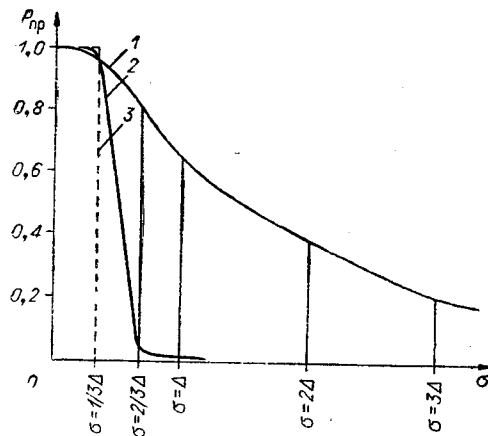


Рис. 2. Оперативная характеристика контроля $P_{пр}=f(\sigma)$:
1 — допусковый контроль; 2 — интегральный контроль; 3 — идеальная характеристика.

$P=f(\Delta)$, и, следовательно, вероятность «пройти контроль» в данном случае не тождественна вероятности безотказной работы системы. Аппроксимация зависимости $P=f(\Delta)$ приводит, с одной стороны, к увеличению риска заказчика (так как не используется зависимость в пределах допуска), а с другой — к увеличению риска поставщика (так как не учитывается значение P за допуском, что, в свою очередь, приводит к потере реально существующей статистической взаимопомощи параметров).

Характеристика интегрального контроля ближе к идеальной (кривая 3 на рис. 2), чем характеристика допускового контроля.

жение, что распределение параметров изделия подчинено нормальному закону. Это предположение справедливо для изделий, находящихся в эксплуатации. Изделия, выпускаемые с завода, нередко регулируются или отбраковываются, и поэтому закон распределения параметров изделия фактически является нормально-усеченным, что создает условия для эффективного использования и допускового контроля. Однако регулировки не совместимы с массовым производством, а появление интегральных электронных схем исключает регулировку. В этих условиях только интегральный контроль может значительно снизить количество отбракованных изделий без снижения их качества.

Зависимость $P=f(\Delta)$ всегда реально существует. Это следует из определения допуска. Допуск представляет собой то максимальное отклонение параметра, которое обеспечивает минимально допустимую вероятность безотказной работы района. Чтобы объективно выбрать допуск, естественно, надо знать зависимость надежности района от величины параметра. Это одинаково справедливо и для интегрального контроля и для допускового.

Зависимость $P=f(\Delta)$ можно назвать функцией надежности. Ее возможно найти следующими способами:

- 1) факторным анализом;
- 2) методом Монте-Карло;
- 3) граничными испытаниями;
- 4) исследованием статистических материалов эксплуатации;
- 5) моделированием условий работы оригинала.

Причем факторный анализ является наиболее общим, в то время как метод Монте-Карло и граничные испытания применимы для параметров, характеризующих легко моделируемые системы. Моделирование же дает наиболее достоверные результаты.

Приведенный анализ методов контроля говорит о том, что при малых значениях σ (до $\sigma = \frac{1}{3}$) применение интегрального метода контроля, возможно, не эффективно, так как на этом участке характеристики допускового контроля вероятность приемки будет соответствовать вероятности безотказной работы системы (это следует из сравнения характеристик допускового и интегрального контроля). Несмотря на это, выявление и использование зависимости $P=f(\Delta)$ являются настоятельной необходимостью. Во-первых, потому что обычно контролируемая система (особенно после хранения) имеет значение $\sigma > \frac{1}{3}$.

Во-вторых, использование зависимости $P=f(\Delta)$ позволяет решить следующие задачи:

- 1) при проектировании:
 - а) раскрыть непосредственную связь надежности системы с допусками на параметры; объективно выбрать допуск на параметр и предсказать работоспособность системы;
 - б) выявить районы с излишне большой крутизной зависимости $P=f(\Delta)$, что свидетельствует о необходимости задания жесткого допуска на параметр; определить районы, улучшение которых дает наибольший эффект в повышении надежности системы;
- 2) при эксплуатации:
 - а) повысить эффективность использования объектов, так как знание надежности каждого отдельного объекта позволяет определить количество и порядок использования их сообразно со сложившейся конкретной обстановкой;

б) повысить промышленный потенциал, так как увеличение достоверности оценки технического состояния объектов снизит обратный поток ложно забракованных объектов;

в) повысить эффективность группы объектов, приготовленных к работе, так как увеличение достоверности контроля снизит долю негодных объектов, признанных годными.

*Поступила в редакцию
19 июля 1967 г.,
окончательный вариант —
13 ноября 1967 г.*
