

УДК 32.973

А.И. Пятаков, Е.А. Шабынина

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РАСЧЕТУ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

**Пятаков Анатолий Иванович**, кандидат технических наук, окончил ВАС им. С.М. Буденного, адъюнктуру (там же). Главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области организации и построения систем передачи дискретных сообщений. Имеет публикации в области надежности комплексов средств АСУ и ПД. [E-mail.: uljanovsk-anatol@mail.ru].

**Шабынина Елена Александровна**, окончила Ульяновский государственный технический университет. Инженер-программист 2-й категории ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области тестирования программного обеспечения. [E-mail.: elena-shabynina@yandex.ru].

### Аннотация

Настоящая работа посвящена разработке методов оценки надежности программно-технических комплексов (ПТК). Проанализированы факторы, влияющие на надежность ПТК информационных систем. Сделан вывод, что рассматривать отдельно надежность аппаратных (АС) или программных средств (ПС) непродуктивно.

В основу оценки надежности ПТК положена модель, позволяющая представить надежность ПТК как результат работы взаимосвязанных элементов — аппаратных и программных средств.

Ключевые слова: надежность аппаратных средств, надежность программных средств, безотказность, ремонтпригодность, коэффициент готовности.

### Abstract

The present article is devoted to the development of reliability evaluation methods for software and hardware systems. It analyses factors influencing the reliability of software and hardware systems of information systems. The authors come to the conclusion that it is not fruitful to consider separately reliability of software and reliability of hardware.

The reliability evaluation of software and hardware systems is based on a model contributing to the presentation of software and hardware system reliability as a result of interrelated elements (software and hardware).

Key words: hardware reliability, software reliability, failure-resistance, repairability, availability.

### 1 ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Одним из важнейших требований, предъявляемых к любому техническому изделию, является надежность. Сегодня ни одно сложное изделие не проектируется без анализа его будущей надежности. Для обеспечения заданной надежности применяется широкий спектр методов и средств, позволяющих из относительно ненадежных компонентов создать высоконадежные изделия. Эти методы и средства используют различные виды избыточности с целью предотвращения отказов и минимизации их влияния на качество функционирования изделий.

При проектировании систем обработки информации все большее применение находит новый вид изделий — программно-технические комплексы. При эксплуатации таких комплексов наряду с отказами аппаратных средств наблюдаются отказы ПТК, обусловленные сбоями и отка-

зами программ и обрабатываемых ими данных. Анализ сбоев и отказов сложных комплексов программ [1, 2] позволил выявить аналогии со сбоями и отказами аппаратуры. Однако в отличие от аппаратных средств, для которых имеется развитый математический аппарат расчета надежности на всех этапах их жизненного цикла, оценка надежности программных средств до сих пор остается предметом споров и столкновений мнений. Вызвано это трудностью формализации описания потока отказов и отсутствием справочных данных о надежности ПС - аналогов.

Эти обстоятельства обусловили необходимость рассмотрения приближенных методов прогнозирования надежности ПТК с учетом статистических данных о надежности функционирования ПС. Наличие таких данных позволило бы выполнить на ранних стадиях разработки оценку ожидаемой надежности программно-технических комплексов.

## 2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ПТК

Надежность ПТК в общем случае является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения ПТК и условий его применения может включать безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость. В данной статье ограничимся рассмотрением методик расчета безотказности, ремонтпригодности и их комплексного показателя — коэффициента готовности.

Расчет показателей безотказности ПТК проводится исходя из понятия отказа изделия. Отказ ПТК наступает в следующих случаях:

- отказало аппаратное средство;
- отказало программное средство;
- одновременный отказ как аппаратных, так и программных средств.

Отказ АС обусловлен отказами электрорадиоизделий, входящих в его состав.

Для выделения факторов, приводящих к отказу ПС, введем ряд ограничений:

- а) операционная система, установленная на ПТК, является абсолютно надежной;
- б) отказ ПС происходит только в момент выполнения функциональной задачи (прикладной программы);
- в) если восстановление функционирования после проявления программной ошибки осуществляется ПС без вмешательства человека, то такое нарушение нормальной работы ПТК относят к сбоям и как отказ не учитывают.

С учетом ограничений условимся, что отказ ПС происходит в следующих случаях:

- проявления ошибки, имеющейся в программе, в момент выполнения функциональной задачи;
- сбоя в аппаратной базе, приводящего к нарушению (останову, закликиванию) вычислительного процесса и, как результат, отказу ПТК.

На основе понятия отказа строится схема расчета надежности (СРН) ПТК. Элементами СРН являются аппаратные и программные средства ПТК, используемые как единое целое при определении отказа ПТК. Программное средство соединяется с аппаратным средством последовательно в соответствии с рисунком 1, отказ любого из них приводит к отказу всего ПТК.

В основу расчета безотказности ПТК положена модель, позволяющая представить отказ ПТК как совокупность показателей безотказности взаимосвязанных элементов.

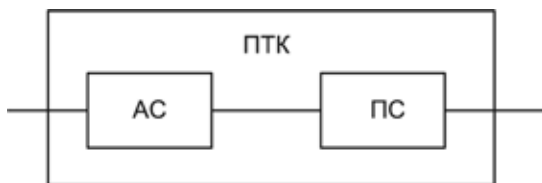


Рис. 1. Надежностная схема ПТК

Исходными данными для расчета безотказности ПТК являются:

- интенсивность отказов аппаратных средств  $\lambda_{АС}$ ;
- интенсивность отказов ПС из-за ошибок в программе выполняемой функциональной задачи  $\lambda_{ОШ}$ ;
- отношение числа сбоев к числу отказов АС для данной элементной базы  $B_0$ ;
- отношение числа сбоев АС, приводящих к нарушению вычислительного процесса (ВП) при выполнении функциональной задачи (ФЗ), к общему числу сбоев  $B_{1(ФЗ)}$ ;
- время выполнения функциональной задачи  $T_{ФЗ}$ ;
- интенсивность вызова на выполнение функциональной задачи  $\lambda_{ФЗ}$ ;
- время восстановления вычислительного процесса после отказа аппаратных средств  $T_{В.АС}$ ;
- время восстановления вычислительного процесса после отказа программных средств  $T_{В.ПС}$ .

Интенсивность отказов последовательно соединенных элементов ПТК вычисляется по формуле:

$$\lambda = \lambda_{АС} + \lambda_{ПС}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{АС}$  — интенсивность отказов аппаратного средства;

$\lambda_{ПС}$  — интенсивность отказов программного средства.

Интенсивность отказов АС определяется интенсивностью отказов входящих в него электрорадиоизделий, которая берется в качестве исходных данных из справочников или технических условий, и структурой АС.

Интенсивность отказов ПС, исходя их определения отказа, рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{ПС} = \lambda_{ФЗ} T_{ФЗ} (\lambda_{ОШ} + \lambda_{СБФЗ}), \quad (2)$$

где  $\lambda_{ОШ}$  — интенсивность отказов ПС из-за ошибок в программе выполняемой функциональной задачи;

$\lambda_{СБФЗ}$  — интенсивность сбоев АС, приводящих к нарушению ВП, при выполнении функциональной задачи;

$\lambda_{ФЗ} T_{ФЗ} = \bar{t}_{ФЗ}$  — среднее время занятости ПТК выполнением функциональной задачи;

$\lambda_{ФЗ}$  — интенсивность выполнения функциональной задачи;

$T_{ФЗ}$  — время выполнения функциональной задачи.

Интенсивность сбоев АС, приводящих к нарушению ВП, является интегрированным свойством ПТК и проявляется только при взаимодействии аппаратных и программных средств. Данный параметр вычисляется в долях от интенсивности отказов аппаратных средств:

$$\lambda_{СБФЗ} = B_O \cdot B_{1(\PhiЗ)} \cdot \lambda_{АС} \quad (3)$$

На рисунках 2, 3 представлены результаты моделирования интенсивностей отказов ПС и ПТК в зависимости от интенсивности выполнения функции  $\lambda_{\PhiЗ}$ . Из графика видно, что при равных исходных данных интенсивность отказов ПС и ПТК возрастает с ростом интенсивности использования программных средств. При этом ПС с большей длительностью выполнения отказывает чаще.

В основу расчета ремонтпригодности положена надежность схема, представленная на рисунке 1. Модель расчета, построенная по данной схеме, учитывает общую продолжительность восстановления ПТК, включая локализацию отказа и время на проверку функционирования после устранения отказа.

Время восстановления ПТК  $T_{В.ПТК}$ , как совокупности последовательно соединенных элементов, вычисляется по формуле:

$$T_{В.ПТК} = \frac{1}{\mu_{ПТК}} = \frac{\mu_{АС}^2 + \mu_{АС} \cdot \mu_{ПС} + \mu_{ПС}^2}{\mu_{АС} \cdot \mu_{ПС} \cdot (\mu_{АС} + \mu_{ПС})} \quad (4)$$

где  $\mu_{ПТК}$  — интенсивность восстановления ПТК;

$\mu_{АС} = \frac{1}{T_{В.АС}}$  — интенсивность восстановления аппаратных средств;

$\mu_{ПС} = \frac{1}{T_{В.ПС}}$  — интенсивность восстановления программных средств.

Особенностью восстановления отказов программных средств по сравнению с аппаратными средствами является отсутствие операции замены отказавшей программы. Восстановление ПС осуществляется путем повторного обращения к функциональной задаче или ее перезагрузки.

Коэффициент готовности является комплексным показателем надежности ПТК и вычисляется по формуле

$$K = K_{АС} \cdot K_{ПС} \quad (5)$$

где  $K_{АС}$  — коэффициент готовности аппаратных средств;

$K_{ПС}$  — коэффициент готовности ПС, содержащихся в данном ПТК.

Коэффициент готовности аппаратных средств вычисляется в соответствии с выражением:

$$K_{АС} = \frac{\mu_{АС}}{\lambda_{АС} + \mu_{АС}} \quad (6)$$

Коэффициент готовности программных средств  $K_{ПС}$  определяется вероятностью того, что во время выполнения функциональной задачи отказ ПС не произойдет [3]:

$$K_{Г.ПС} = \bar{t}_{\PhiЗ} \cdot P_{ПС} \quad (7)$$

где  $P_{ПС}$  — вероятность того, что во время выполнения функциональной задачи отказ ПС не произойдет;

$\bar{t}_{\PhiЗ} = \lambda_{\PhiЗ} \cdot T_{\PhiЗ}$  — среднее время занятости ПТК выполнением функциональной задачи.

Вероятность того, что во время выполнения функциональной задачи отказ ПС не произойдет, определяется вероятностью того, что ошибки, имеющиеся в ПС, а также сбои АС, не приведут к нарушению ВП:

$$P_{ПС} = P_{ОШФЗ} \cdot P_{СБФЗ} \quad (8)$$

где  $P_{ОШФЗ}$  — вероятность того, что ошибки, имеющиеся в программе функциональной задачи, не приведут к нарушению ВП;

$P_{СБФЗ}$  — вероятность того, что сбои АС не приведут к нарушению ВП во время выполнения функциональной задачи.

Вероятность того, что ошибки, имеющиеся в программе функциональной задачи, не приведут к нарушению вычислительного процесса, вычисляется по формуле:

$$P_{ОШФЗ} = \frac{1}{1 + \lambda_{ОШ} T_{В.ПС}} \quad (9)$$

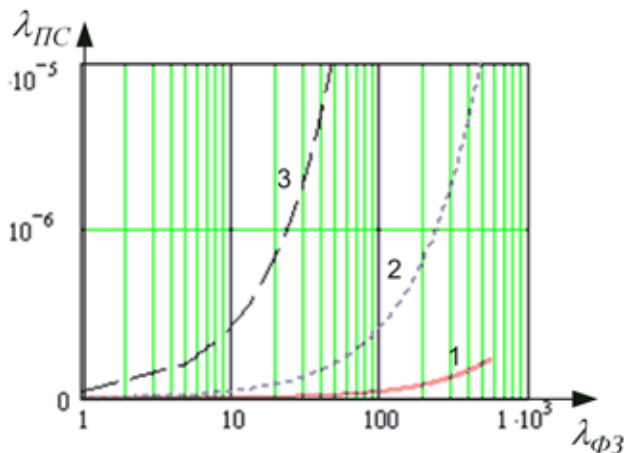


Рис. 2. Интенсивность отказов ПС

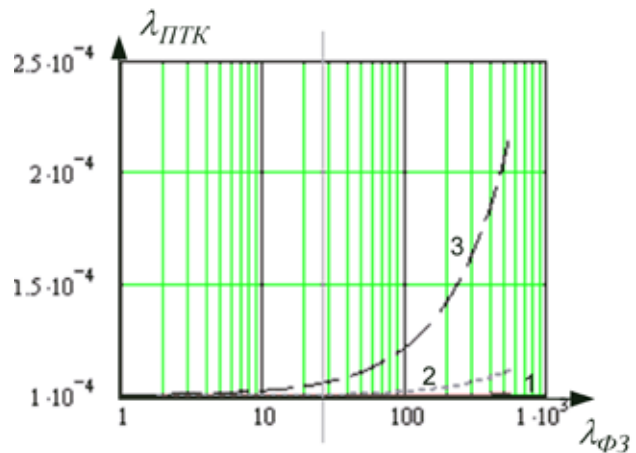


Рис. 3. Интенсивность отказов ПТК

1 -  $T_{\PhiЗ} = 0,03$  с; 2 -  $T_{\PhiЗ} = 0,3$  с; 3 -  $T_{\PhiЗ} = 3$  с

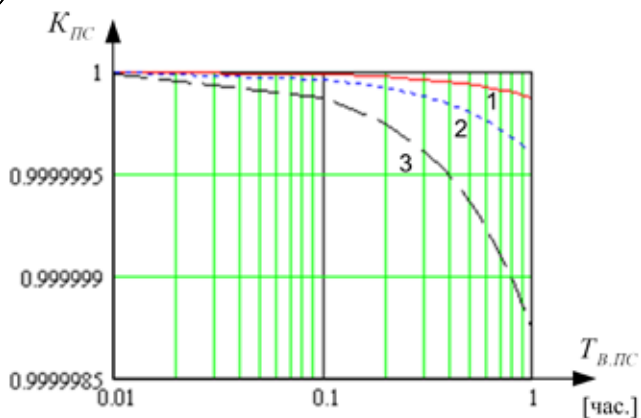
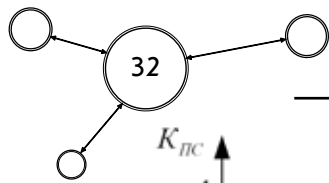


Рис. 4. Коэффициент готовности ПС

$$1 - T_{\Phi 3} = 0,03 \text{ с}; \quad 2 - T_{\Phi 3} = 0,3 \text{ с}; \quad 3 - T_{\Phi 3} = 3 \text{ с}$$

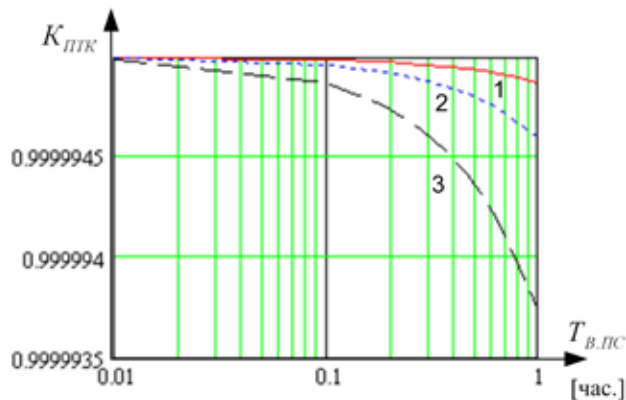


Рис. 5. Коэффициент готовности ПТК

где  $\lambda_{ОШ}$  — интенсивность отказов ПС из-за ошибок в программе выполняемой функциональной задачи;

$T_{в.ПС}$  — время восстановления вычислительного процесса после отказа ПС.

Вероятность того, что сбой АС не приведет к нарушению вычислительного процесса во время работы функциональной задачи, вычисляется по формуле:

$$P_{СБФЗ} = \frac{1}{1 + \lambda_{СБФЗ} T_{в.АС}} \quad (10)$$

где  $\lambda_{СБФЗ}$  — интенсивность сбоев АС, приводящих к нарушению вычислительного процесса при выполнении функциональной задачи, вычисляется по формуле:

$$\lambda_{СБФЗ} = B_0 \cdot B_{1(\Phi 3)} \cdot \lambda_{АС} \quad (11)$$

На рисунках 4, 5 представлены результаты моделирования коэффициентов готовности ПС и ПТК в зависимости от длительности восстановления при отказе программных компонентов  $T_{в.ПС}$ .

Из графиков видно, что коэффициент готовности ПС и ПТК снижается с ростом длительности восстановления программных средств. При этом ПТК, выполняющий более длительные задачи, имеет более низкий коэффициент готовности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя предлагаемый математический

аппарат, можно на ранних стадиях разработки оценить основные показатели надежности программных средств в их взаимосвязи с аппаратными средствами, получая таким образом комплексную характеристику надежности программно-технических комплексов. Основным источником получения сведений об интенсивности отказов программных средств, о времени и интенсивности выполнения функций программного обеспечения должен стать сбор статистических данных о ПС на всех этапах их жизненного цикла, начиная с разработки и заканчивая снятием с эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майерс Г. Надежность программного обеспечения. — М.: «Мир», 1980. — 360 с.
2. Липаев В.В. Надежность программного обеспечения АСУ. — М.: Энергоиздат, 1981. — 240 с.
3. Теория надежности и массовое обслуживание / под ред. Б.В. Гнеденко — М.: Наука, 1969. — 303 с.