

Если выбранное управление приводит к конфликтным ситуациям (нарушению допустимых ограничений на управление, значений фазовых координат и др.), то для сложившихся условий определяется оптимальное управление и приоритет в принятии решения и дальнейшего управления передается техническим устройствам.

#### Выводы

Определенные в статье направления создания моделей, учитывающих требования в точности и скорости деятельности оператора дают возможность формализовать в целом процессы функционирования сложных человеко-технических систем реального времени.

Человеку присущи психологические свойства (эмоциональное состояние, темперамент, настроение и т. др.), которые непременно нужно учитывать при дефиниции управления информационно-управляющих систем.

Несанкционированное вмешательство оператора в работу системы и его ошибочные действия в процессы управления могут привести к тяжелым, а в некоторых случаях к катастрофическим последствиям.

Отмеченный в статье подход дает возможность ситуационной оценки возникновения конфликтов и бифуркаций в сложных информационно-управляющих системах, четкого распределения функций управления, действий и принятия решений между оператором и техническими устройствами в реальном времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Забродин Ю.М., Зазыкин В.Г. Основные направления исследований деятельности человека - оператора в особых и экстремальных условиях // Психологические проблемы деятельности в особых условиях/ Под ред. Б.Ф. Ломова и Ю.М. Забродина. М.: Наука, 1985. С. 5-16.
2. Колачов С.П., Недайбіда Ю.П., Драглюк О.В., Шугалій О.О. «Сучасні ергатично-системотехнічні проблеми створення інформаційно-управляючих систем військового призначення». стаття, М. Харків. Збірник наукових праць Академії Внутрішніх Військ МВС України, Вип.1(17), 2011 р.
3. Павлов В. В. Начала теории эргатических систем. - Киев. Наукова думка. 1975, - 240 с.
4. Сергеев С.Ф. Инженерная психология и эргономика: Учебное пособие. М.: НИИ школьных технологий, 2008. – 176 с.
5. Трояновский, В.М. Информационно-управляющие системы и прикладная теория случайных процессов. – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 304 с.
6. Л.С.Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: “Наука”, 1969. – 437 с.

Надійшла: 31.10.2012 р.

Рецензент: д.т.н., професор Давлет'янц О.І.

УДК 629.735.05:621.3(045)

Мачалин И. А.

### АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Предложена математическая модель процесса эксплуатации телекоммуникационных систем с использованием теории регенерирующих случайных процессов. Определен показатель среднего времени наработки блоков на досрочный съем. Приведены оценки влияния ошибок контроля на эффективность эксплуатации телекоммуникационных систем

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, эксплуатация, техническое обслуживание.

**Постановка проблемы.** Неуклонный рост сложности и функциональности телекоммуникационных систем (ТКС) приводит к увеличению, как стоимости самих систем, так и стоимости их эксплуатации. Ужесточение требований к качеству предоставляемых услуг ведет к необходимости повышения готовности (уровня доступности) стационарного оборудования, т. е. к необходимости повышения эксплуатационной надежности ТКС. При этом становится очевидным противоречие между возможностью достижения высокой готовности систем и капитальными затратами, необходимыми для обеспечения этих требований. Поэтому возникает необходимость оценки показателей эффективности

эксплуатации ТКС, позволяющих получить оптимальные решения и устранить эти противоречия. Для оценки эффективности необходимо разработать показатели оценки технических, вероятностных и стоимостных характеристик процесса эксплуатации.

**Анализ состояния проблемы и литературных источников.** В настоящее время основными показателями, которые используются в процессе анализа эффективности эксплуатации ТКС, является средняя наработка на отказ МТВФ ( Mean Time Between Failure ) и коэффициент готовности (коэффициент доступности) ТКС [1-3]. Показатель МТВФ определяется разработчиком ТКС при проектировании и испытаниях, в дальнейшем его значения могут уточняться в процессе эксплуатации.

Современное оборудование ТКС, построенное на базе цифровых модулей является высоконадежным и значения показателя МТВФ, которые определяются разработчиками, достигают сотни тысяч часов. При таком высоком значении средней наработки практически невозможно определить влияние отказов и сбоев на простой системы, оценить необходимое количество запасных изделий и, как следствие, невозможно правильно рассчитать эксплуатационные затраты, т.к. теоретически отказы за период эксплуатации практически не должны проявляться. Соответственно, при отсутствии отказов за определенный период, мы не будем нести эксплуатационных затрат на их устранение и ремонт оборудования.

**Постановка задач исследования. Цели статьи.** Как показывает практика, фактическая наработка блоков на досрочный съем оказывается значительно меньше, чем значения показателя МТВФ. Это обусловлено целым рядом причин: конструктивные недоработки, ошибки обслуживающего персонала, неправильные условия эксплуатации и др. Влияние этих факторов снижается в процессе продолжительной эксплуатации, при этом наибольшее влияние оказывает конечная точность встроенных систем контроля (СК) и ошибки программ контроля оборудования.

Вследствие этого, в процессе контроля технического состояния возможно принятие ошибочных решений тип «ложный отказ» - исправный модуль признается неработоспособным и отключается от системы (демонтируется) либо «необнаруженный отказ» - неработоспособный модуль признается работоспособным и продолжает участвовать в процессе обработки и передачи данных, что может произвести к потере передаваемой информации. В связи с этим, для оценки эффективности эксплуатации ТКС целесообразно наряду с показателем МТВФ использовать показатель МТВUR (Mean Time Between Unscheduled Repairs/Replacements) - среднюю наработку изделия на досрочный съем, который дает реальную оценку эксплуатационной надежности ТКС.

Показатель МТВUR впервые был введен в американском стандарте по надежности [4], однако он практически не используется в современных исследованиях, в следствие того, что отсутствуют методики аналитического расчета. В основном даются подходы по статистической оценке этого показателя по результатам длительной эксплуатации. Поэтому статья посвящена разработке математической модели, позволяющей получить аналитические выражения для оценки показателей эксплуатации ТКС, в том числе для расчета показателя МТВUR . Это позволит более адекватно, еще на этапе закупки и ввода ТКС в эксплуатацию, оценить эксплуатационные затраты и эффективность капиталовложений.

**Математическая модель.** Пусть СК производит контроль работоспособности (КР) ЛЗБ в процессе его работы. По результатам КР принимаются следующие решения:

- допустить ЛЗБ до следующего момента КР, если он признан работоспособным;
- отключить ЛЗБ, если он признан неработоспособным, а затем, после включения резервного комплекта, произвести его восстановление на месте;
- демонтировать ЛЗБ, если он признан неработоспособным, и восстановить его работоспособность без демонтажа невозможно;
- отправить демонтированный ЛЗБ в сервисную службу.

В сервисной службе в забракованном блоке с помощью специальной аппаратуры производится поиск места отказа с глубиной до одного или нескольких съемно-сборочных модулей (ССМ). Далее, взамен забракованных, устанавливаются заведомо работоспособные ССМ, а затем производится КР.

После получения результата, подтверждающего работоспособность ЛЗБ, он устанавливается обратно в систему. Забракованные ССМ отправляют в сервисные центры,

где установлена специальная аппаратура, позволяющая осуществлять поиска места отказа с глубиной до невозстанавливаемого элемента. После восстановления ССМ возвращают в сервисную службу ТКС.

Из описания процесса ТО следует, что в произвольный момент времени  $t$  ЛЗБ может находиться в одном из следующих состояний:

$$L(t) = \begin{cases} E_1, & \text{если в момент } t \text{ ЛЗБ использовался по назначению и находился в} \\ & \text{работоспособном состоянии;} \\ E_2, & \text{если в момент } t \text{ ЛЗБ использовался по назначению и находился в} \\ & \text{неработоспособном состоянии (скрытый отказ);} \\ E_3, & \text{если в момент } t \text{ ЛЗБ проводился КР с помощью ВСК;} \\ E_4, & \text{если в момент } t \text{ проводился демонтаж ЛЗБ;} \\ E_5, & \text{если в момент } t \text{ проводилось ложное восстановление ЛЗБ;} \\ E_6, & \text{если в момент } t \text{ проводилось правильное восстановление ЛЗБ;} \\ E_7, & \text{если в момент } t \text{ проводился монтаж ЛЗБ в систему.} \end{cases}$$

Моментами регенерации случайного процесса  $L(t)$  будут моменты перехода из состояний  $E_5$  и  $E_6$  через состояние  $E_7$  в исходное  $E_1$ .

**Определение показателей.** Обозначим через  $\tau$  периодичность КР ЛЗБ с помощью ВСК. На основании результатов работ [5-6] для экспоненциального распределения времени наработки ЛЗБ до отказа, т. е.  $\omega(t) = \lambda e^{-\lambda t}$  и  $f(t) = \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}$ , можно записать

$$MS_1 = \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}}{(\lambda + \lambda_0)[1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}]}; \quad (1)$$

$$MS_2 = \frac{1}{1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}} \left\{ e^{-\lambda_0\tau} \left[ \frac{\tau(1 - \beta e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau})}{1 - \beta e^{-\lambda_0\tau}} - \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda} \right] + \frac{\lambda}{\lambda_0(\lambda + \lambda_0)} \times \right. \\ \left. \times [1 - e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}] - e^{-\lambda_0\tau} [\tau + (\lambda\lambda_0)^{-1}(\lambda - \lambda_0)(1 - e^{-\lambda\tau})] \right\}; \quad (2)$$

$$MS_3 = \frac{t_{KP} e^{-\lambda_0\tau} [1 - \beta e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}]}{(1 - \beta e^{-\lambda_0\tau}) [1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}]}; \quad (3)$$

$$MS_5 = \frac{t_{ЛВ} \alpha e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}}{1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}}; \quad (4)$$

$$MS_6 = \frac{t_{ЛВ} (1 - \beta) e^{-\lambda_0\tau} (1 - e^{-\lambda\tau})}{(1 - \beta e^{-\lambda_0\tau}) [1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}]}; \quad (5)$$

где  $\omega(t)$  и  $f(t)$  – плотности распределения вероятностей наработки ЛЗБ до скрытого и явного отказа соответственно;  $\lambda$  и  $\lambda_0$  – интенсивности скрытых и явных отказов ЛЗБ соответственно;  $t_{KP}$  – среднее время контроля работоспособности;  $t_{ЛВ}$  – среднее время ложного восстановления;  $t_{ЛВ}$  – среднее время правильного восстановления.

Среднее время нахождения ЛЗБ в остальных состояниях определяется по нормативно-технической документации.

Определим граничные значения для значений  $MS_1$  и  $MS_2$ . При  $\lambda + \lambda_0 = 0$  имеем:  $MS_1 = \tau/\alpha$ ,  $MS_2 = 0$ . При  $\lambda + \lambda_0 = \infty$ :  $MS_1 = 0$ ,  $MS_2 = \tau/(1-\beta)$ . При  $\tau = 0$ :  $MS_1 = 0$ ,  $MS_2 = 0$ . При  $\tau = \infty$ :  $MS_1 = 1/(\lambda + \lambda_0)$ ,  $MS_2 = \infty$ . Таким образом можно записать

$$0 < MS_1 < \min\left(\frac{\tau}{\alpha}, \frac{1}{\lambda + \lambda_0}\right), 0 < MS_2 < \frac{\tau}{1-\beta}.$$

Из описания процесса эксплуатации следует, что средняя наработка на досрочный сьем будет определяться как сумма среднего времени нахождения в работоспособном состоянии, плюс среднее время нахождения в состоянии скрытого отказа, плюс среднее время контроля работоспособности (выявления отказа). Следовательно, показатель MTBUR в общем виде можно определить из выражения

$$MTBUR = MS_1 + MS_2 + MS_3.$$

Тогда с учетом формул (1)-(5) получаем:

$$\begin{aligned} MTBUR = & \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}}{(\lambda + \lambda_0)[1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}]} + \\ & + \frac{1}{1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}} \left\{ e^{-\lambda_0\tau} \left[ \frac{\tau(1 - \beta e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau})}{1 - \beta e^{-\lambda_0\tau}} - \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{\lambda}{\lambda_0(\lambda + \lambda_0)} \cdot [1 - e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}] - e^{-\lambda_0\tau} [\tau + (\lambda\lambda_0)^{-1}(\lambda - \lambda_0)(1 - e^{-\lambda\tau})] \right\} + t_{KP}. \end{aligned} \quad (6)$$

В случае, когда среднее время нахождения ЛЗБ в состоянии скрытого отказа и в продолжительность КР значительно меньше, чем среднее время нахождения ЛЗБ в работоспособном состоянии, т. е.  $MS_2 + MS_3 \ll MS_1$ , показатель MTBUR с учетом выражения (6), можно определять по следующей формуле:

$$MTBUR \approx MS_1 = \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}}{(\lambda + \lambda_0)[1 - (1 - \alpha)e^{-(\lambda + \lambda_0)\tau}]} \quad (7)$$

Проведем исследование полученных выше показателей. На рис. 1 приведена зависимость MTBUR от периодичности КР при различных значениях  $\alpha$ . График построен при:  $\tau = 4$  ч;  $\alpha = 0,001$ ;  $\beta = 0,001$  и  $\lambda = \lambda_0 = 1,0 \cdot 10^{-5}$  1/ч.

Как видно из рис.1, среднее время наработки ЛЗБ на досрочный сьем возрастает с увеличением периодичности КР. Причем, MTBUR тем больше, чем меньше условная вероятность ложного отказа ВСК. Средняя наработка на досрочный сьем значительно больше у более надежных ЛЗБ. На рис. 2 приведены графики зависимости среднего времени  $MS_3$  от периодичности КР при различных значениях  $\alpha$ .

Как видно из рис. 2, с увеличением интервала между КР среднее время нахождения ЛЗБ в состоянии “ложного восстановления” уменьшается, поскольку, чем реже мы производим КР, тем реже будет приниматься решение о “ложном демонтаже” ЛЗБ. Причем это время тем меньше, чем меньше условная вероятность “ложного отказа” при КР.

Таким образом, ошибки контроля ВСК существенно влияют на эффективность эксплуатации систем и ими нельзя пренебрегать.

Поэтому использование для анализа и оценок показателей эффективности только показателя MTBF дает не полностью адекватный результат. Следовательно, в процессе эксплуатации ТКС необходимо производить оценки показателя MTBUR. Для этого целесообразно соответствующим службам, кроме сбора статистики по отказам, вести анализ статистики по досрочным сьемам и их причинам. Такая статистика и ее анализ позволит получить более адекватные оценки показателей эффективности эксплуатации.

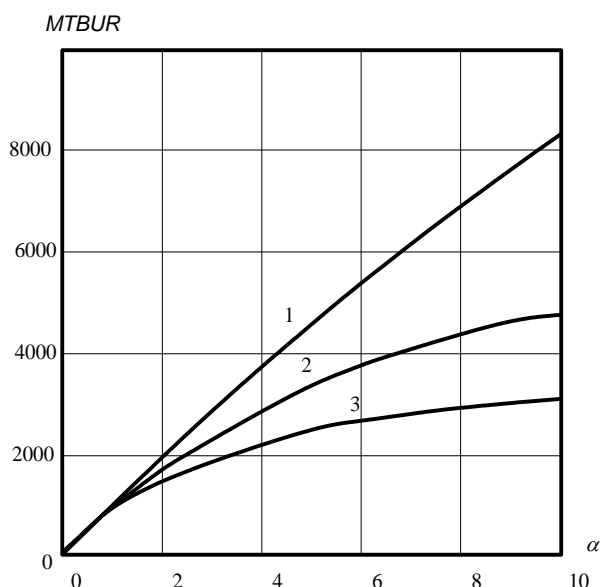


Рис. 1. Зависимость  $MTBUR$  от периодичности КР при различных значениях  $\alpha$ : 1 –  $\alpha = 0,001$ ; 2 –  $\alpha = 0,005$ ; 3 –  $\alpha = 0,01$ .

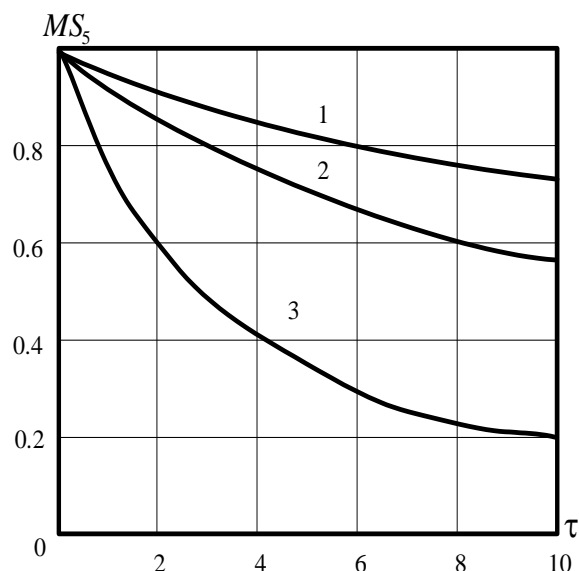


Рис. 2. Графики зависимости  $MS_5$  от периодичности КР при различных значениях  $\alpha$ : 1 –  $\alpha = 0,01$ ; 2 –  $\alpha = 0,005$ ; 3 –  $\alpha = 0,001$ .

**Выводы.** Предложена математическая модель процесса эксплуатации ТКС с использованием регенерирующих случайных процессов. Разработаны формулы для определения среднего времени нахождения системы в различных состояниях процесса эксплуатации, на основе которых, определен показатель среднего времени наработки блоков на досрочный сьем.

Показано, что из-за ошибок контроля среднее время наработки изделий на досрочный сьем значительно меньше среднего времени наработки изделия на отказ. Поэтому в процессе исследований и оценки эффективности эксплуатации ТКС целесообразно учитывать показатель  $MTBUR$  и влияние ошибок контроля. Это позволяет получить более адекватные оценки показателей.

Данные результаты полезны в процессе проектирования и эксплуатации систем. Дальнейшим их развитием является разработка математических моделей и показателей процесса эксплуатации структурно резервированных ТКС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чеканов А.Н. Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры/ А.Н. Чеканов // М.:КноРус.- 2012. - 440с.
2. Копытова Е.А. Мониторинг состояния экземпляров сервисов и требуемого уровня надежности/ Е.А. Копытова// Проблемы телекоммуникаций. - №1-2012.- С.41-50.
3. Gertsbakh, I. Reliability theory with applications to preventive maintenance / I. Gertsbakh. – N.Y. : Springer Verlag. – 2000. – 219 p.
4. MIL-HDBK - 338B. Electronic reliability design handbook// Air Force Research Laboratory Information, Fort Belvoir, Virginia, 1991. – 1046 p.
5. Уланский В. В. Достоверность многоразового контроля работоспособности невосстанавливаемых радиоэлектронных систем/ В. В. Уланский // Ресурсосберегающие технологии обслуживания и ремонта авиационного и радиоэлектронного оборудования воздушных судов гражданской авиации. Сб. науч. тр. – К.: КИИГА. – 1992. – С.14 – 25.
6. Уланский, В. В. Уточненная модель обслуживания одноблочной системы авионики / В.В. Уланский, И. А. Мачалин // Электронное моделирование.– 2008.–Т. 30, № 2. – С. 55–67.

Надійшла: 27.10.2012 р.

Рецензент: д.т.н., професор Квасніков В.П.