

УДК 629.039.58

В.В. Скляр

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ОШИБОК КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

В статье получена и исследована марковская модель информационно-управляющей системы (ИУС) с учетом рода и опасности ошибок контроля и с учетом отказов средств контроля. На основании предложенного подхода получен класс моделей, учитывающих различные типы ошибок контроля и управления в ИУС, а также отказы средств контроля и управления. Применение моделей направлено на оценивание надежности и функциональной безопасности ИУС.

Ключевые слова: информационно-управляющая система, функциональная безопасность, марковская модель.

1. Проблема анализа ИУС с учетом ошибок контроля и управления

Основными функциями информационно-управляющих систем (ИУС) является контроль и управление (КиУ).

Общая структура ИУС и ее взаимодействие с объектом контроля и управления (ОКУ) представлены на рис. 1. Устройство контроля (УК) идентифицирует состояние ОКУ и выдает информацию о состоянии ОКУ в устройство управления (УУ). УУ при необходимости переводит ОКУ в безопасное состояние. На рис. 1 представлены следующие информационные потоки: I_0 – информация о состоянии ОКУ, передаваемая в УК, I_K – информация о состоянии ОКУ, передаваемая из УК в УУ, I_U – управляющая информация УУ, направленная на изменение состояния ОКУ [1].

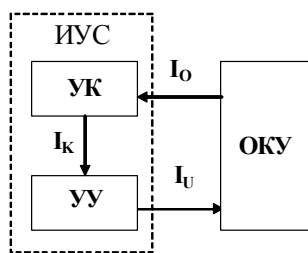


Рис. 1. Взаимодействие объекта контроля и управления с устройствами контроля и управления в составе ИУС

Для достоверной оценки надежности и функциональной безопасности ИУС необходимо учитывать ошибки КиУ [2]. Вопросы технического диагностирования важных для безопасности ИУС рассмотрены в работах [3].

В работе [4] дано определение ошибкам контроля и управления I, II и III рода. При ошибках контроля и управления III рода правильно определяется тип (подмножество состояний), однако непра-

вильно определяется состояние в рамках подмножества. В этом случае ошибки контроля и управления нельзя отнести ни к I, ни ко II роду, поскольку невозможно идентифицировать подобное событие ни как "ложное срабатывание", ни как "ложное несрабатывание". Кроме того, в [4] разработаны логические модели контроля и управления ИУС, учитывающих влияние ошибок контроля и управления на безопасность системы.

В настоящей статье представлены результаты дальнейшего развития теоретического аппарата анализа ИУС с учетом ошибок контроля и управления. Целью статьи является разработка и исследование марковских моделей ИУС с учетом ошибок контроля и управления.

2. Базовая марковская модель ошибок контроля ИУС

Рассмотрим марковскую модель ошибок контроля в общем виде. Такая модель представлена на рис. 2 и характеризуется следующими состояниями: S_0 – начальное состояние; отказ – отказ системы; II – ошибки второго рода (скрытый отказ); ПТО – профилактическое техническое обслуживание.

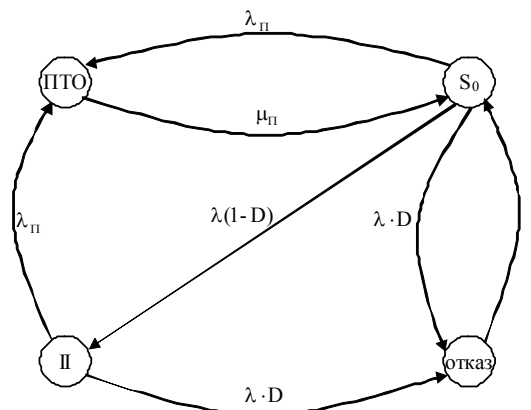


Рис. 2. Базовая марковская модель ошибок контроля ИУС

Для модели на рис. 2 используются следующие допущения:

- отказы распознаются с достоверностью контроля D ;
- достоверность контроля D учитывает, в том числе, методическую составляющую, то есть вероятность обнаружения отказов используемым методом;
- состояние отказа учитывает также ошибки контроля I и III рода;
- ошибки контроля II рода возникают с вероятностью, равной дополнению достоверности контроля до единицы $(1 - D)$;
- при возникновении ошибки контроля II рода система может перейти либо в состояние распознанного отказа, либо в состояние ПТО;
- ПТО проводится с периодичностью $T_{II} = 1 / \lambda_{II}$ и с длительностью $T_{ВТО} = 1 / \mu_{II}$.

Рассмотренная модель является приближенной, поскольку:

- не учитывает ошибки контроля I и III рода;
- не учитывает опасные и безопасные ошибки контроля.

3. Логические модели ИУС с учетом рода и опасности ошибок контроля

Для учета факторов, не рассмотренных в базовой марковской модели ошибок контроля ИУС (рис. 2), применим логические модели, учитывающие род и опасность ошибок контроля (рис. 3). Такие модели являются промежуточными, и позволяют перейти к разработке детальной марковской модели ИУС с учетом рода и опасности ошибок контроля (см. пункт 4).

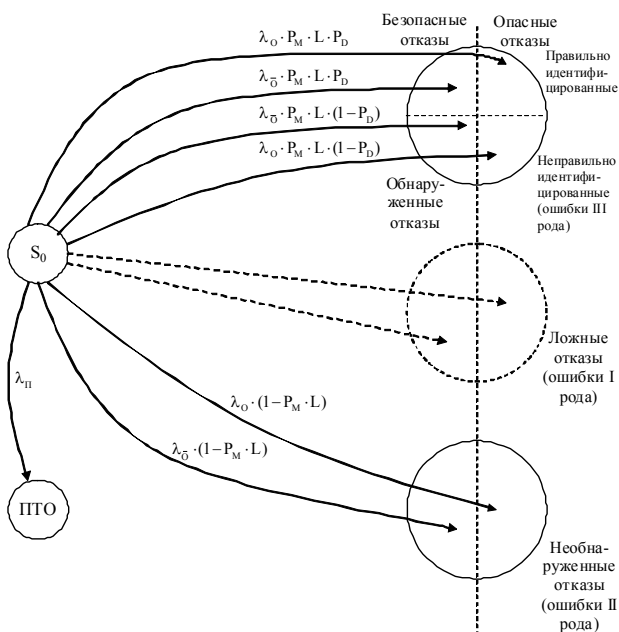


Рис. 3. Логическая модель ИУС с учетом рода и опасности ошибок контроля и без учета отказов средств контроля

Отказы системы с учетом их опасности и рода ошибок контроля представлены кругами в правой части модели. Отказы системы классифицированы следующим образом:

- обнаруженные отказы (верхний круг), ложные отказы, эквивалентные ошибкам контроля I рода (средний круг), необнаруженные отказы, эквивалентные ошибкам контроля II рода (нижний круг);
- безопасные отказы (левая часть каждого из кругов) и опасные отказы (правая часть каждого из кругов);
- правильно идентифицированные обнаруженные отказы (верхняя часть верхнего круга) и неправильно идентифицированные обнаруженные отказы эквивалентные ошибкам контроля III рода (нижняя часть верхнего круга).

Для интенсивностей переходов на рис. 3 использованы следующие обозначения: λ_{II} – интенсивность ПТО; $\lambda_{\bar{O}}$ – интенсивность безопасного отказа; λ_{O} – интенсивность опасного отказа; P_M – вероятность обнаружения отказа, обусловленная применяемым методом контроля; L – полнота контроля; P_D – вероятность правильного определения причины отказа, обусловленная применяемым методом контроля. Следует отметить, что в рамках рассмотренной модели невозможно определить интенсивности ошибок I рода, поскольку такие события обусловлены отказами средств контроля, которые не учитываются для модели на рис. 3.

4. Марковская модель ИУС с учетом рода и опасности ошибок контроля и с учетом отказов средств контроля

Исследуемая марковская модель получена на основе логических моделей ИУС. В полученной модели не учтены отказы средств поиска дефектов, поскольку их влияние на формирование множества состояний системы, описываемой марковским графом, незначительно вследствие, с одной стороны, малой вероятности соответствующих событий, а с другой, – того, что такие отказы в большей степени характерны для диагностической аппаратуры, работающей в периоды профилактики. Модель включает следующие состояния (рис. 4): S_0 – исходное состояние; $S_{\bar{O}I}$ – безопасная ошибка контроля I рода; S_{OI} – опасная ошибка контроля I рода; $S_{\bar{O}II}$ – безопасная ошибка контроля II рода; S_{OII} – опасная ошибка контроля II рода; $S_{\bar{O}III}$ – безопасная ошибка контроля III рода, вызванная отказом средств контроля; S_{OIII} – опасная ошибка контроля III рода, вызванная отказом средств контроля; $S_{\bar{O}D}$ – правильно распознанный безопасный отказ; S_{OD} – правильно распознанный

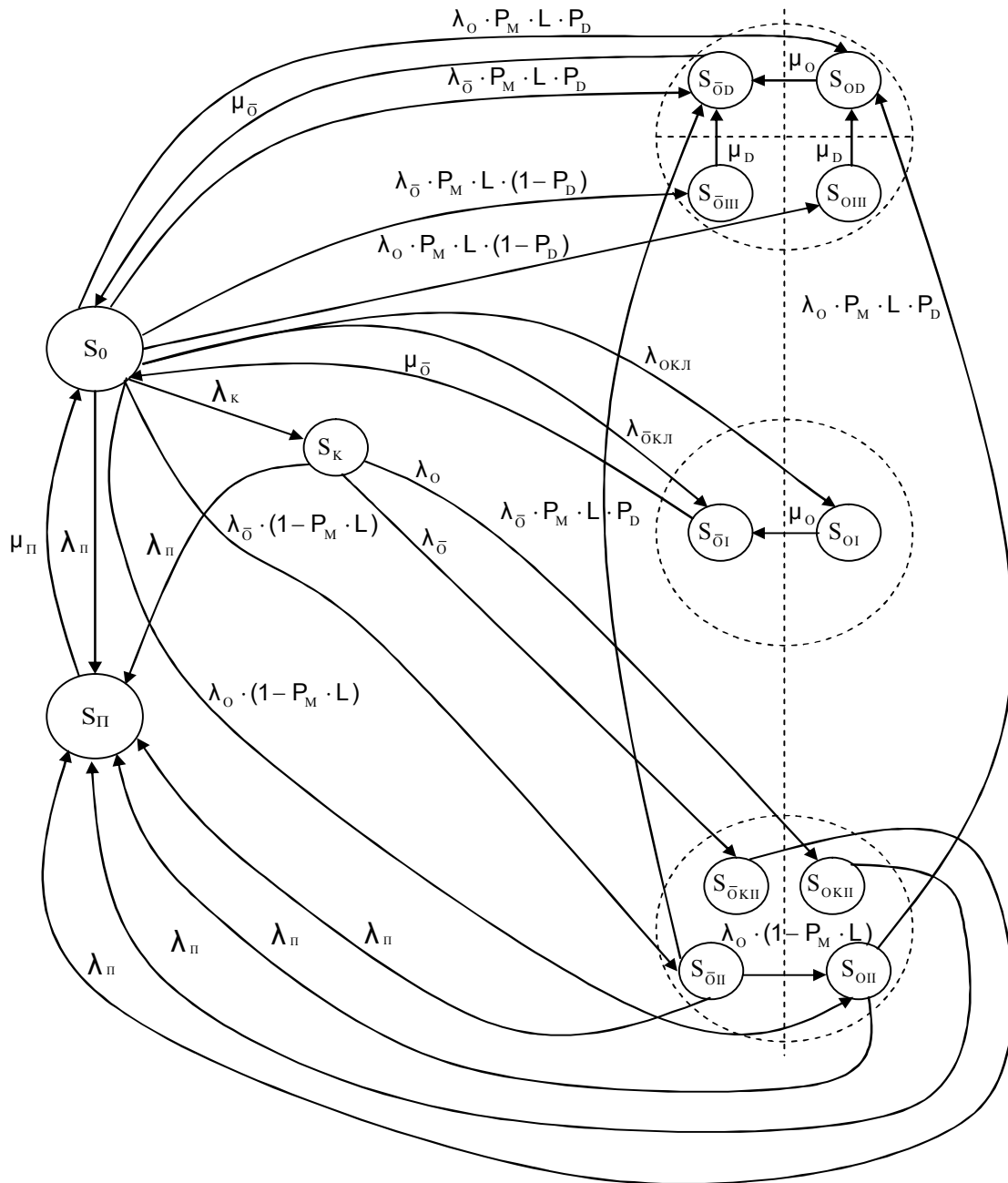


Рис. 4. Марковская модель ИУС с учетом рода и опасности ошибок контроля и с учетом отказов средств контроля

опасный отказ; S_k – отказ средств контроля; S_{Π} – состояние профилактического технического обслуживания.

Используемые в марковской модели обозначения интенсивностей отказов представлены в пункте 3. Кроме того, в марковской модели применяются следующие интенсивности восстановления: $\mu_{\bar{0}}$ – интенсивность восстановления системы из безопасного неисправного состояния в исходное состояние S_0 ; μ_0 – интенсивность восстановления системы из опасного состояния в безопасное состояние; μ_D – интенсивность восстановления системы из состояния ошибки контроля III рода в состояние правильно распознанного отказа; μ_t – интенсивность восста-

новления системы из состояния профилактики в исходное состояние S_0 .

Для исследования данной модели предложен классический подход.

Сначала составляются и решаются уравнения Колмогорова в дифференциальной форме и оценивается период времени от начала функционирования до перехода в стационарный режим, а затем решаются уравнения Колмогорова в алгебраической форме и исследуются зависимости стационарных значений вероятностей состояний от параметров системы и процессов эксплуатации.

В соответствии с методикой расчета марковских процессов для графа на рис. 4 имеем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases}
 dP_0(t)/dt = -P_0(t) \cdot [\lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot P_D + \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot P_D + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot (1 - P_D) + \\
 + \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot (1 - P_D) + \lambda_{\bar{OKL}} + \lambda_{OKL} + \lambda_K + \lambda_{\bar{O}} \cdot (1 - P_M \cdot L) + \lambda_O \cdot (1 - P_M \cdot L) + \lambda_{\Pi}] + \\
 + \mu_{\bar{O}} \cdot P_{\bar{OD}}(t) + \mu_{\bar{O}} \cdot P_{\bar{OI}}(t) + \mu_{\Pi 0} \cdot P_{\Pi 0}(t) ; \\
 dP_{\bar{OD}}(t)/dt = -\mu_{\bar{O}} \cdot P_{\bar{OD}}(t) + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_0(t) + \mu_O \cdot P_{OD}(t) + \mu_D \cdot P_{\bar{OIII}}(t) + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_{\bar{OII}}(t) ; \\
 dP_{OD}(t)/dt = -\mu_O \cdot P_{OD}(t) + \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_0(t) + \mu_D \cdot P_{\bar{OIII}}(t) + \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_{\bar{OII}}(t) ; \\
 dP_{\bar{OIII}}(t)/dt = -\mu_D \cdot P_{\bar{OIII}}(t) + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot (1 - P_D) \cdot P_0(t) ; \\
 dP_{OIII}(t)/dt = -\mu_D \cdot P_{OIII}(t) + \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot (1 - P_D) \cdot P_0(t) ; \\
 dP_{\bar{OI}}(t)/dt = -\mu_{\bar{O}} \cdot P_{\bar{OI}}(t) + \lambda_{\bar{OKL}} \cdot P_0(t) ; \\
 dP_{OI}(t)/dt = -\mu_O \cdot P_{OI}(t) + \lambda_{OKL} \cdot P_0(t) ; \\
 dP_{\bar{OKII}}(t)/dt = -\lambda_{\Pi} \cdot P_{\bar{OKII}}(t) + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_K(t) ; \\
 dP_{OKII}(t)/dt = -\lambda_{\Pi} \cdot P_{OKII}(t) + \lambda_O \cdot P_K(t) ; \\
 dP_{\bar{OII}}(t)/dt = -[\lambda_{\bar{O}} \cdot (1 - P_M \cdot L) + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot P_D + \lambda_{\Pi}] \cdot P_{\bar{OII}}(t) + \lambda_{\bar{O}} \cdot (1 - P_M \cdot L) \cdot P_0(t) ; \\
 dP_{OII}(t)/dt = -[\lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot P_D + \lambda_{\Pi}] \cdot P_{OII}(t) + \lambda_O \cdot (1 - P_M \cdot L) \cdot P_{\bar{OII}}(t) + \lambda_O \cdot (1 - P_M \cdot L) \cdot P_0(t) ; \\
 dP_K(t)/dt = -(\lambda_O + \lambda_{\bar{O}} + \lambda_{\Pi}) \cdot P_K(t) + \lambda_K \cdot P_0(t) ; \\
 dP_{\Pi 0}(t)/dt = -\mu_{\Pi 0} \cdot P_{\Pi 0}(t) + \lambda_{\Pi} \cdot P_0(t) + \mu_{\Pi 1} \cdot P_{\Pi 1}(t) ; \\
 dP_{\Pi 1}(t)/dt = -\mu_{\Pi 1} \cdot P_{\Pi 1}(t) + \lambda_{\Pi} \cdot P_K(t) + \lambda_{\Pi} \cdot P_{\bar{OKII}}(t) + \lambda_{\Pi} \cdot P_{OKII}(t) + \lambda_{\Pi} \cdot P_{\bar{OII}}(t) + \lambda_{\Pi} \cdot P_{OII}(t) .
 \end{cases} \quad (1)$$

Для решения системы дифференциальных уравнений (1) принимаем предположение о переходе системы в стационарный режим (производные равны нулю) и заменяем одно из уравнений (напри-

мер, первое) нормировочным соотношением (сумма вероятностей нахождения системы во всех состояниях равна единице). Тогда система алгебраических уравнений имеет вид (2).

$$\begin{cases}
 \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_0 - \mu_{\bar{O}} \cdot P_{\bar{OD}} + \mu_O \cdot P_{OD} + \mu_D \cdot P_{\bar{OIII}} + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_{\bar{OII}} = 0 ; \\
 \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_0 - \mu_O \cdot P_{OD} + \mu_D \cdot P_{\bar{OIII}} + \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot P_D \cdot P_{\bar{OII}} = 0 ; \\
 \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot (1 - P_D) \cdot P_0 - \mu_D \cdot P_{\bar{OIII}} = 0 ; \\
 \lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot (1 - P_D) \cdot P_0 - \mu_D \cdot P_{\bar{OIII}} = 0 ; \\
 \lambda_{\bar{OKL}} \cdot P_0 - \mu_{\bar{O}} \cdot P_{\bar{OI}} = 0 ; \\
 \lambda_{OKL} \cdot P_0 - \mu_O \cdot P_{OI} = 0 ; \\
 -\lambda_{\Pi} \cdot P_{\bar{OKII}} + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_K = 0 ; \\
 -\lambda_{\Pi} \cdot P_{OKII} + \lambda_O \cdot P_K = 0 ; \\
 \lambda_{\bar{O}} \cdot (1 - P_M \cdot L) \cdot P_0 - [\lambda_{\bar{O}} \cdot (1 - P_M \cdot L) + \lambda_{\bar{O}} \cdot P_M \cdot L \cdot P_D + \lambda_{\Pi}] \cdot P_{\bar{OII}} = 0 ; \\
 \lambda_O \cdot (1 - P_M \cdot L) \cdot P_0 - [\lambda_O \cdot P_M \cdot L \cdot P_D + \lambda_{\Pi}] \cdot P_{OII} + \lambda_O \cdot (1 - P_M \cdot L) \cdot P_{\bar{OII}} = 0 ; \\
 \lambda_K \cdot P_0 - (\lambda_O + \lambda_{\bar{O}} + \lambda_{\Pi}) \cdot P_K = 0 ; \\
 \lambda_{\Pi} \cdot P_0 - \mu_{\Pi 0} \cdot P_{\Pi 0} + \mu_{\Pi 1} \cdot P_{\Pi 1} = 0 ; \\
 \lambda_{\Pi} \cdot P_{\bar{OKII}} + \lambda_{\Pi} \cdot P_{OKII} + \lambda_{\Pi} \cdot P_{\bar{OII}} + \lambda_{\Pi} \cdot P_{OII} + \lambda_{\Pi} \cdot P_K - \mu_{\Pi 1} \cdot P_{\Pi 1} = 0 ; \\
 P_0 + P_{\bar{OD}} + P_{OD} + P_{\bar{OIII}} + P_{OIII} + P_{\bar{OI}} + P_{OI} + P_{\bar{OKII}} + P_{OKII} + P_{\bar{OII}} + P_{OII} + P_K + P_{\Pi 0} + P_{\Pi 1} = 1 .
 \end{cases} \quad (2)$$

Для ИУС, описываемых САУ (2), могут быть определены следующие показатели готовности и безопасности:

P_0 – вероятность нахождения в работоспособном состоянии S_0 ; при помощи многофрагментного подхода к разработке марковских моделей состояние S_0 может быть описано отдельной моделью, включающей работоспособные состояния системы;

$K_{ТИ} = P_0 + P_K$ – коэффициент технического использования;

$K_{БТИ} = P_0 + P_K + P_{\bar{OI}} + P_{\bar{OII}} + P_{\bar{OKII}} + P_{\bar{OIII}} + P_{\bar{OD}} + P_{\Pi 0} + P_{\Pi 1}$ – коэффициент безопасного технического использования;

$K_{Г} = (P_0 + P_K) / (1 - P_{\Pi 0} - P_{\Pi 1})$ – коэффициент готовности;

$K_{ФБ} = (P_0 + P_K + P_{\bar{OI}} + P_{\bar{OII}} + P_{\bar{OKII}} + P_{\bar{OIII}} + P_{\bar{OD}}) / (1 - P_{\Pi 0} - P_{\Pi 1})$ – коэффициент функциональной безопасности;

$K_{ПИ} = 1 - P_{\Pi 0} - P_{\Pi 1}$ – коэффициент планового использования;

$K_{ПП} = P_{\Pi 0} + P_{\Pi 1}$ – коэффициент планового простоя.

5. Исследование марковских моделей ИУС с учетом ошибок контроля и управления

На основании анализа данных об опасных и безопасных отказах элементной базы, ПО и ошибках проектирования [5] для моделирования были выбраны следующие базовые значения интенсивностей отказов и восстановлений:

- интенсивность безопасного отказа $\lambda_{\bar{0}} = 10^{-6}$ 1/час;
- интенсивность опасного отказа $\lambda_0 = 10^{-7}$ 1/час;
- интенсивность безопасных ошибок контроля I рода $\lambda_{\text{окл}} = 10^{-6}$ 1/час;
- интенсивность опасных ошибок контроля I рода $\lambda_{\text{окл}} = 10^{-7}$ 1/час;
- интенсивность отказа средств контроля $\lambda_{\text{к}} = 10^{-6}$ 1/час;
- интенсивность профилактического технического обслуживания (ПТО) $\lambda_{\text{п}} = 10^{-4}$ 1/час;
- показатели полноты и достоверности контроля $P_{\text{М}} = L = P_{\text{Д}} = 0,9$;
- интенсивность восстановления системы из безопасного неисправного состояния $\mu_{\bar{0}} = 1$ 1/час;
- интенсивность восстановления системы из опасного состояния $\mu_0 = 0,1$ 1/час;
- интенсивность восстановления системы из состояния ошибки контроля III рода $\mu_{\text{Д}} = 1$ 1/час;
- интенсивность восстановления системы из состояния профилактики $\mu_{\text{п}} = 0,01$ 1/час;
- коэффициент, определяющий отношение времени устранения отказов в ходе профилактики ко времени проведения профилактики без учета устранения отказов (коэффициент профилактики), $K_{\text{п}} = 0 \div 1$.

Анализ ИУС для критических приложений, таких как ИУС АЭС, результатов исследований изменения вероятностей нахождения систем в различных состояниях от времени [3], показывает, что:

а) для многих систем время переходных процессов (время перехода системы в режим, когда вероятность как функция времени изменяется несущественно, то есть принимает стационарное значение) невелико и может не учитываться;

б) для систем, в которых в процессе функционирования обнаруживаются и устраняются проектные (как правило, программные) дефекты, а следовательно, изменяются параметры потоков отказов и восстановлений [3], динамический режим (нестационарные значения вероятностей) необходимо исследовать.

Параметры модели (2) определяются надежностью компонентов ИУС. Единственным "гибким" параметром является интенсивность перехода в режим профилактики $\lambda_{\text{п}}$, которая задается нормативным путем. С одной стороны, увеличение $\lambda_{\text{п}}$ приводит к устранению скрытых дефектов, и тем самым повышает надежность ИУС. С другой стороны, чрезмерное увеличение $\lambda_{\text{п}}$ приводит к тому, что ИУС будет слишком большое время находится в состоянии профилактики. Таким образом, правомерным будет принятие гипотезы о существовании оптимального значения $\lambda_{\text{п}}$, при котором значения показателей готовности и безопасности достигают максимума. Следует отметить, что коэффициент планового использования и коэффициент планового простоя пред-

ставляют собой линейные зависимости от $\lambda_{\text{п}}$. Таким образом, их исследование с точки зрения поиска экстремума не представляет собой интереса.

Начнем исследование с анализа функции $P_0(\lambda_{\text{п}})$, которая включает вероятность нахождения в единственном состоянии S_0 . Зададим экспоненциальный масштаб изменения $\lambda_{\text{п}}$ в диапазоне от 10^{-6} 1/час до 10^{-1} 1/час, чтобы выявить сам факт наличия экстремума и, в случае его существования исследовать зависимости экстремального значения функции от параметров системы и процессов эксплуатации. Выполненное моделирование действительно подтвердило наличие экстремума в окрестности точки $\lambda_{\text{п}} = 0,0001$ 1/час.

Для точного определения значения максимума исследуем зависимость $P_0(\lambda_{\text{п}})$ в диапазоне $\lambda_{\text{п}} = 10^{-4}, \dots, 3 \cdot 10^{-4}$ 1/час. Экстремальное значение $\lambda_{\text{п}}$ определено с точностью до 10^{-5} и составляет $\lambda_{\text{п}} = 0,00015$ 1/час, что соответствует проведению профилактики с периодичностью ТПТО = 6667 час (около 9 календарных месяцев), при этом $P_0(0,00015) = 0,970335$.

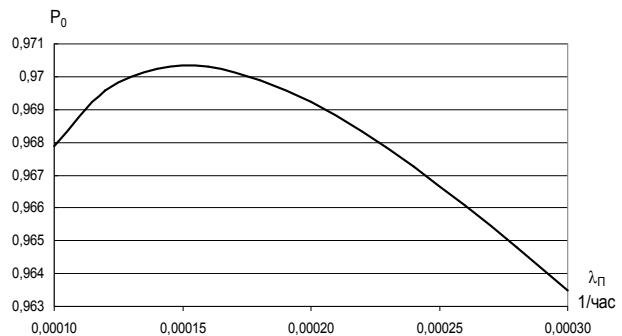


Рис. 5. Зависимость вероятности нахождения в работоспособном состоянии от интенсивности профилактики

Исследуем влияние коэффициента профилактики $K_{\text{п}}$ на значение вероятности нахождения в работоспособном состоянии P_0 . Для этого будем рассматривать $P_0(\lambda_{\text{п}}, K_{\text{п}})$, как функцию двух переменных. Значение $\lambda_{\text{п}}$ по-прежнему меняем в диапазоне от 0,0001 до 0,0003 с шагом 0,00002, а значение $K_{\text{п}}$ меняем от 0 до 1 с шагом 0,2 (рис. 6).

Анализ результатов проведенного исследования зависимости $P_0(\lambda_{\text{п}}, K_{\text{п}})$ позволяет сделать следующие выводы [4, 5]:

1) при увеличении значения $K_{\text{п}}$ увеличивается значение P_0 при фиксированном значении $\lambda_{\text{п}}$; это объясняется тем, что происходит "перетекание" состояния $S_{\text{п}0}$ в состояние $S_{\text{п}1}$, в то же время, вероятность нахождения в состоянии $S_{\text{п}1}$ значительно меньше вероятность нахождения в состоянии $S_{\text{п}0}$ (отказы, которые устраняются в состоянии $S_{\text{п}1}$, являются редкими событиями), а это приводит к тому, что значение P_0 увеличивается за счет уменьшения времени и вероятности нахождения в состоянии профилактики;

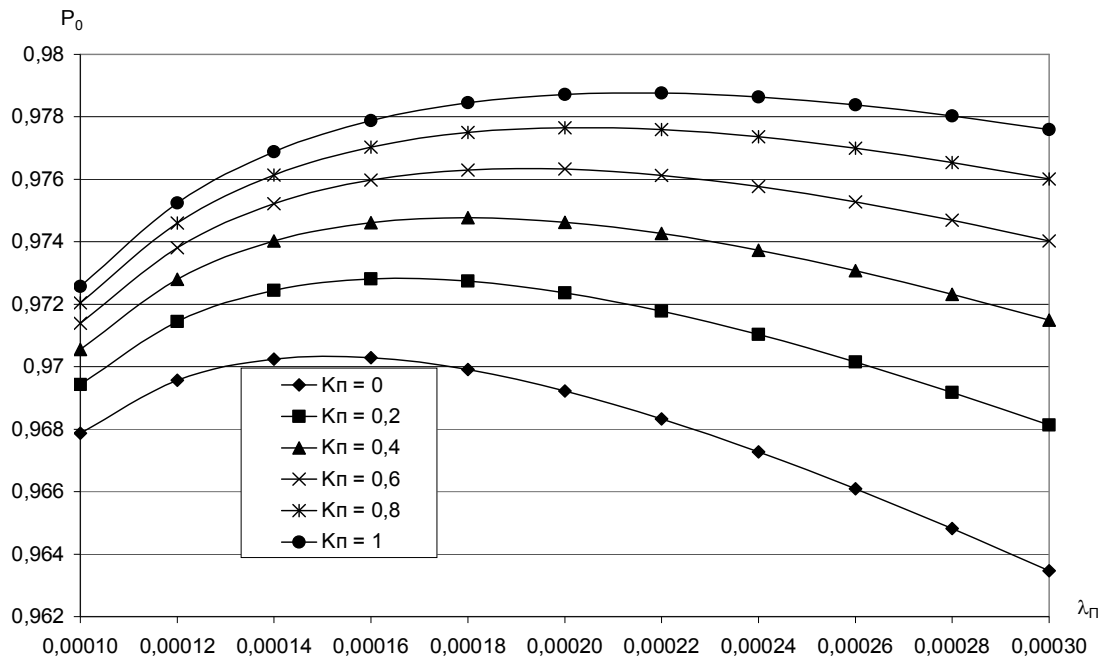


Рис. 6. Залежності ймовірності знаходження в робітоспособному стані від інтенсивності профілактики при зміні значення коефіцієнта профілактики

2) при збільшенні значення $K_{\text{П}}$ значення максимуму P_0 зсувається в сторону збільшення $\lambda_{\text{П}}$;

3) при збільшенні значення $K_{\text{П}}$ максимум P_0 стає менш вигнутим, і фактично графік $P_0(\lambda_{\text{П}}, K_{\text{П}} = 1)$ може бути апроксимованою прямою, паралельною осі абсцис; таким чином при збільшенні значення $K_{\text{П}}$ немає потреби в точній підтримці міжпрофілактичних діапазонів, оскільки в певній околиці екстремуму значення $\lambda_{\text{П}}$ практично не впливає на значення P_0 .

Проведемо порівняльний аналіз чисельних значень і функціональних залежностей від значення $\lambda_{\text{П}}$ (при фіксованому значенні $K_{\text{П}} = 0$) для досліджуваних показників готовності і безпеки (P_0 , $K_{\text{ТИ}}$, $K_{\text{БТИ}}$, $K_{\text{ФБ}}$, $K_{\text{Г}}$).

Як показали результати дослідження, оптимізація за параметром $\lambda_{\text{П}}$ може бути виконана лише для показників P_0 і $K_{\text{ТИ}}$, оскільки вони враховують стани профілактики.

При цьому значення максимуму для $K_{\text{ТИ}}$ настає раніше, ніж для P_0 , і максимум для $K_{\text{ТИ}}$ має менш вигнуту форму.

Значення $K_{\text{БТИ}}$ і $K_{\text{ФБ}}$ практично збігаються, хоча ці показники враховують різні стани. Це пояснюється тим, що обидва показники близькі до одиниці, а різниця між ними заключається в станах, ймовірність знаходження в яких дуже низька.

$K_{\text{Г}}(\lambda_{\text{П}})$ і $K_{\text{БТИ}}(\lambda_{\text{П}}) \approx K_{\text{ФБ}}(\lambda_{\text{П}})$ є монотонно зростаючими функціями, оскільки не враховують стани профілактики (лише косвенним чином через значення P_0). По тій же причині значення цих

показників не залежать від значення $K_{\text{П}}$.

$K_{\text{БТИ}}$ і $K_{\text{ФБ}}$ мають низьку чутливість до значення параметра $\lambda_{\text{П}}$, оскільки включають всі безпечні стани системи, і їх значення близькі до одиниці. По цій же причині при виборі значення $\lambda_{\text{П}}$ немає потреби звертати увагу на аналіз значень $K_{\text{БТИ}}$ і $K_{\text{ФБ}}$, оскільки для цих показників будуть забезпечені високі характеристики в дуже широкому діапазоні значень $\lambda_{\text{П}}$.

Дослідимо вплив коефіцієнта профілактики $K_{\text{П}}$ на значення коефіцієнта технічного використання $K_{\text{ТИ}}$. Для цього за аналогією з дослідженням $P_0(\lambda_{\text{П}}, K_{\text{П}})$ будемо розглядати $K_{\text{ТИ}}(\lambda_{\text{П}}, K_{\text{П}})$ як функцію двох змінних. Значення $\lambda_{\text{П}}$ змінюємо в діапазоні від 0,0001 до 0,0003 з кроком 0,00002, а значення $K_{\text{П}}$ змінюємо від 0 до 1 з кроком 0,2 (рис. 7).

При збільшенні значення $K_{\text{П}}$ збільшується значення $K_{\text{ТИ}}$, оскільки значення P_0 збільшується за рахунок зменшення часу і ймовірності знаходження в стані профілактики. При збільшенні значення $K_{\text{П}}$ значення максимуму $K_{\text{ТИ}}$ зсувається в сторону збільшення $\lambda_{\text{П}}$.

Заклучение

В статті отримані марковські моделі готовності важливих для безпеки ІУС шляхом урахування помилок контролю і управління I, II і III роду, визначення безпечних, небезпечних і потенційно небезпечних станів систем нормальної експлуатації і систем безпеки, а також варіантів профілактичного технічного обслуговування, що дозволяє уточнити чисельні значення показників готовності і функціональної безпеки.

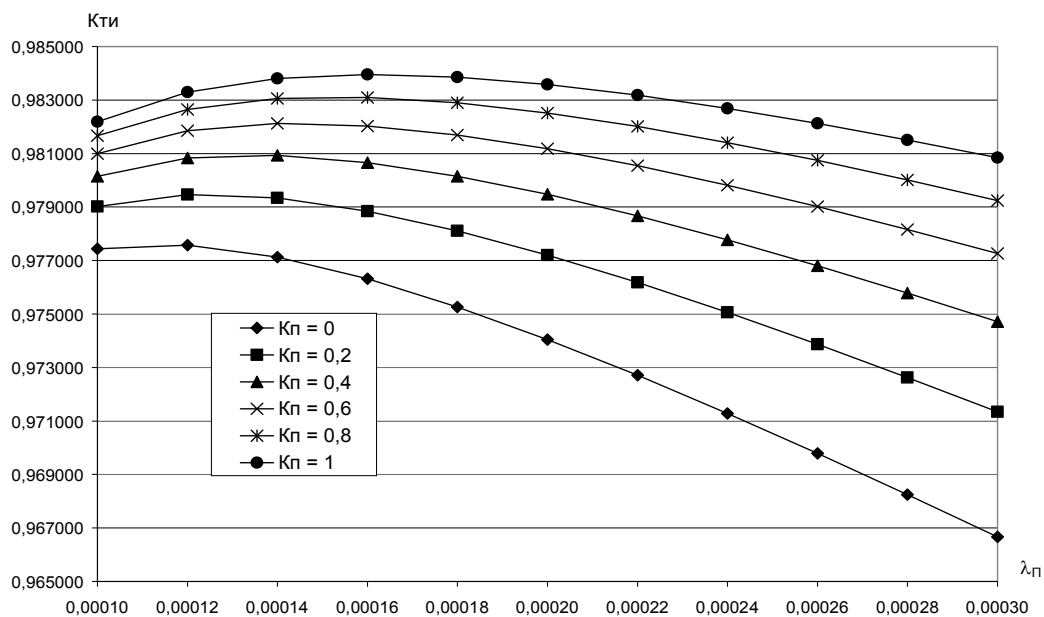


Рис. 7. Зависимости коэффициента технического использования от интенсивности профилактики при изменении значения коэффициента профилактики

Кроме ошибок контроля и управления I и II рода для ИУС также идентифицированы ошибки контроля и управления III рода, при которых правильно определяется тип (подмножество состояний), однако неправильно определяется состояние в рамках подмножества. Ошибки контроля и управления могут быть безопасными, потенциально опасными и опасными.

Для марковских моделей разработано два варианта учета состояния профилактического технического обслуживания. Помимо учета ПТО посредством единственного состояния, рассмотрен вариант, когда состояние профилактики расщеплено на две составляющие: состояние профилактики без устранения скрытых отказов и состояние профилактики с устранением скрытых отказов. Соотношение между интенсивностями перехода в различные состояния профилактики может быть учтено через коэффициент профилактики КП. Выполнено исследование систем алгебраических уравнений, описывающих стационарные модели состояний. Получены результаты моделирования для показателей готовности и безопасности.

Список литературы

1. Ястребенецкий М.А. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами / М.А. Ястребенецкий. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
2. Технологии высокой готовности для программно-технических комплексов космических систем / В.С. Харченко и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2010. – 372 с.
3. Харченко В.С. Теоретические основы дефектоустойчивых цифровых систем с версионной избыточностью / В.С. Харченко. – Х.: ХВУ, 1996. – 506 с.
4. Скляр В.В. Анализ функциональной безопасности ИУС с использованием логических моделей ошибок контроля и управления / В.В. Скляр // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №. 7(48). – С. 267–271.
5. Энциклопедия безопасности авиации / Под ред. Н.С. Кулика. – М.: Техника, 2008. – 1000 с.

Поступила в редколлегию 17.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАРКІВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ ІУС З УРАХУВАННЯМ ПОМИЛОК КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

В.В. Скляр

У статті отримана та досліджена марківська модель інформаційно-управляючої системи (ІУС) з урахуванням роду і небезпеки помилок контролю та з урахуванням відмов засобів контролю. На підставі запропонованого підходу отримано клас моделей, що враховують різні типи помилок контролю та управління в ІУС, а також відмови засобів контролю та управління. Застосування моделей направлено на оцінювання надійності та функціональної безпеки ІУС.

Ключові слова: інформаційно-управляюча система, функціональна безпека, марківська модель.

RESEARCH OF MARKOV MODELS OF I&C SYSTEMS WITH FAILURES OF MONITORING AND CONTROL

V.V. Sklyar

This paper describes and researches a Markov model of Instrumentation and Control (I&C) system taking into account types of hazardous control errors as well as failures of monitoring means. Based on the proposed approach obtained a class of models that take into account different types of failures in the control and monitoring of I&C systems. Application of models aimed at assessment of reliability and functional safety of I&C systems.

Key words: Instrumentation and Control system, functional safety, Markov model.