3. *Корт С. С.* Теоретические основы защиты информации. М., 2004.
4. *Терьо М., Ньюман А.* Oracle. Руководство по безопасности. М., 2004.
5. *Пржиялковский В.* Изучаем метки доступа к строкам: правка обычных столбцов таблицы // http://www.citforum.ru/database/oracle/LearnOLS3/index.shtml.

В. М. Барбашов (к. т. н., доцент), Н. С. Трушкин (к. т. н., доцент)
Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ПОРЯДКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БИС

Рассмотрены особенности причин функциональных отказов БИС при воздействии дестабилизирующих факторов. Предложены методы оценок взаимосвязи вероятностных и порядковых моделей для моделирования функциональной безопасности БИС, которые основаны на модели нечеткого цифрового автомата Брауэра и вероятностного надежностного автомата. В первом случае поведение БИС определяется изменением статических и динамических параметров, во втором — статистическим разбросом пороговых уровней отказа.

Анализ поведения цифровых БИС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов показывает, что применение математических моделей, адекватно отражающих функционирование БИС, предполагает необходимость совместного использования и сопоставления моделей, имеющих различную математическую структуру и физическую интерпретацию. Если учесть, что все они описывают поведение одного и того же объекта, их можно упорядочить и разделить на два класса модельного описания. В первом случае для описания функционирования БИС в условиях воздействия внешних факторов используется модель цифрового автомата с привлечением аппарата теории вероятности. Общим для булевых надежностных сетей, к которым относятся модели подобного класса, является то, что в пространстве состояний, построенных для внутренних элементов БИС, выполняются аксиомы булевой решетки. В случае, когда необходим учет физических механизмов отказа БИС, построение функционально-логической модели такого класса предполагает переход от аксиоматики булевой решетки к аксиоматике векторной решетки с соответствующей заменой алгебраических операций (объединение и пересечение множеств на булевом вероятностном пространстве) на операции «минимум», «максимум» и «дополнение»:

$$\mu_{A\cap B}(x)=\min(\mu_A(x),\mu_B(x)),\ \mu_{A\cup B}(x)=\max(\mu_A(x),\mu_B(x)),\ \mu_A(x)=1-\mu_{\bar{A}}(x), \quad (1)$$

для каждого $x\in X$.

Отсутствие аксиомы «исключенного третьего» или «условия дополнительности» булевой алгебры $A\cap\bar{A}\neq\Theta$, $A\cup\bar{A}\neq X$ в аксиоматике векторной решетки приводит к тому, что характеристическая функция μ не выбирается произвольно, а определяется конкретным характером доминирующих физических процессов, приводящих к отказу, и ее значение лежит в интервале [0,1]. При этом функционально-логическая модель, построенная на указанной системе аксиом, опирается на математический аппарат алгебры Брауэра [1], что позволяет сохранить преимущества булевых функционально-логических моделей.

Такой подход дает возможность оперировать расширенной базой входных воздействий для любых переменных не только электрического или логического уровней описания функционального состояния, но и существенно другой физической природы.

Анализ различных способов математического описания качества функционирования БИС показывает, что они формируются из элементов трех различных классов формальных представлений моделирующих сред: предметной, сигнатурной и синтаксической. Адекватное отображение поведения БИС при различных воздействиях на нее реализуется покрытием исходной модели исправного объекта M_i множествами моделей из перечисленных сред, что возможно при введении на элементах сигнатурной модели различного рода отношений: порядка, сходства, эквивалентности и т. д.

Элементами предметной моделирующей среды являются алгебраические конструкции модели:

$$M_П = \langle U,R \rangle, \qquad (2)$$

где $U=\{u\}$ — носитель модели, $R=\{r_i^{j_i}\}$ — множество отношений на U — арностей j_i, $i=1,2,\ldots,m$; $j_i \in \{0,1,\ldots,n\}$, $\nu_T=\langle j_i,\ldots,j_m \rangle$ — тип предметной модели ($M_п$).

Элементы носителей и алгебраические конструкции предметной модели зависят от выбранного математического аппарата, соответствующего данному уровню описания объекта исследования. Для классификации уровней предпочтительнее использовать формально-логические методы описания ОБ, которые используют модели типа сигнатурной и синтаксической. Взаимосвязь алгебраических и логических способов описания ОБ приводит к наличию в предметной моделирующей среде алгебраических конструкций модели и пропозициональных логических матриц.

1. Топология моделирующих сред и уровней модельного описания

Пусть для Th_i (ОБ) (формальные теории с формальным языком исчисления, разрешенным множеством аксиом исчис,ления и правилами вывода) локализована согласованная с ней $ПМ_i$ (пропозициональная логическая матрица), такая, что B (множество модальностей) является частично упорядоченным множеством с отношением порядка $\leq_{Si}$. В Ch_i (ОБ) (главные отношения) выделим M_{ci0}, для которой Th_i (ОБ) семантически непротиворечива и, задав отношение слабого модельного порядка ($\rightarrow<$), построим уровень модельного описания с порождающей моделью M_{co}. Если $m_i(M_{cio})$ — множество всех подмножеств M_{cik} i-го уровня (острый конус), то для всех $M_{Пik}$, согласованных с элементами острого конуса, все отношения $M_{Пio}$, согласованной с M_{cio}, будут главными. Таким образом, уровень модельного описания интерпретируется как элемент счетной базы топологического пространства моделей, а МИ-моделирование представляется как способ покрытия свойств ОБ топологическим пространством моделей. Топология же конкретного уровня может быть определена через базис острых конусов (подуровней), построенных на подмоделях порождающей модели через гомоморфизмы из подмодели в модель по главным отношениям.

Отношение модельного порядка упорядочивает модели по полноте описания наблюдаемых свойств ОБ с точки зрения выбранной Th. При этом в зависимости от целей разработчик может выбрать Th_i, по-разному формируя на $\{M_П\}$ свою порядковую топологию, т. е. свое $ПМ_i$. Таким образом, объединение $M_П$ и ПМ в единой математической модели приводит к системе подуровней с топологией критериального порядка, отличной от исходной базовой топологии уровня. Критериальный порядок вложен в базовый и $M_{Пij}$ должны быть интерпретируемы как в базовой Th_0, так и в критериальной Th_k. Th_0 и Th_k могут существенно отличаться, а конкретные отношения Th_k в общем случае не выводимы в Th_0, т. е. их следует отнести к вспомогательным отношениям $M_{Пij}$.

Для анализа критериального порядка в $MC_п$ (предметная моделирующая среда) введем обобщенную модель $\tilde{M}_П$ с функциями $\tilde{\mu}=CR_i \in B_i$ и $\tilde{\mu}_r=CR_i$ или $\hat{P}_r \in B_i$ (функция, определяющая в B_i значения предметных символов языка Ω), называемыми соответственно сигнатурными функциями принадлежности имен элементов носителя и отношений $M_{П\ ik}$. Если определена критериальная порядковая топология (КПТ) $<m_i(M_{Пi0}), \rightarrow<ik>$, где $M_{Пi0}$ согласована с базовой Th_i и критериальной

$\mathrm{Th}_{кр}$, тогда при выполнении условий метризуемости частичный порядок индуцирует на выборочном пространстве $\Im(m_i)$ квазиупорядочение $(\rightarrow<_{ikG})$. Аналогичное построение можно осуществить и для ΠM_{ik}.

При наличии измеримого отображения $W_{ik}(M_{\Pi ij})$ на $\Im(m_i)$ можно ввести топологию Бета—Крипке (БКТ) [2], а отношение $(\rightarrow<_{ik})$ — как отношение адекватности (если $M_{\Pi\ ij}\rightarrow<M_{\Pi\ iq}$, то модель $M_{\Pi\ iq}$ более полно описывает свойства ОБ с позиции $\mathrm{Th}_{кр}$). Если упорядочить все возможные состояния ОБ S_ρ, то истинность $M_{\Pi\ ij}$ (учитывает все особенности изменения свойств ОБ) можно интерпретировать как дополнительную координатную переменную в обобщенном фазовом пространстве ОБ (S_ρ, T, B), где T — некоторое параметрическое множество, упорядочивающее S_ρ. Если же $M_{\Pi\ iq}$ не отражает все наблюдаемые в процессе облучения ОБ его свойства, то при увеличении $\tau\in T$ мера истинности $M_{\Pi\ iq}$ уменьшается, что можно трактовать как удаление в БКТ от $M_{\Pi\ iq}$ «вправо». При этом $\tilde{\mu}$ можно оценить как степень близости между одноименными r_{kpj} (вспомогательные отношения уровня) в порождающей модели и ее подмодели.

В результате адекватность описания состояния ОБ по аналогии с [3] достигается как за счет сужения базового носителя, так и за счет расширения вспомогательной сигнатуры. Ось $\tilde{\mu}$ пространства также параметризует состояние объекта по мере истинности выбранного для его описания модельного представления. Так как значение $\tilde{\mu}$ отсчитывается относительно порождающей $M_{\Pi\ iq}$ подуровня, то при $\tilde{\mu}\ \rightarrow 0$ описание ОБ в рамках $M_{\Pi\ iq}$ неприемлемо и следует искать модель, являющуюся порождающей уже для $M_{\Pi\ iq}$, т. е. двигаться «влево» по уровню.

Все вышеизложенное позволяет определить понятие CR как отношения подобия с условиями монотонности, симметричности, ограниченности и транзитивности.

Для установления связи между традиционным вероятностным описанием функционирования ОБ и использованием $\tilde{\mu}$ необходимо выделить следующие модификации $W^{1}_{ik}(M_{\Pi ij})$:

1. Одноточечное покрытие порядковой топологии — $W^{1}_{ik}(M_{\Pi ij})=M_{\Pi ij}$ где W^{1}_{ik} — одноэлементное множество и $\rightarrow<_{ik}$ совпадает с $\rightarrow<_{ikG}$.

2. Доверительное (вероятностное) покрытие $W_{ik}^{\ D}(M_{\Pi ij})=\{m_i(M_{\Pi iq})|M_{\Pi iq}\rightarrow<_{ik} M_{\Pi ij}\}$. В этом случае $W_{ik}^{\ D}$ реализует булеву структуру БКТ, в которой операции $\bigcup, \bigcap$ и $\neg$ определяются следующим образом:

$M_{\Pi ij}\in (m_i(M_{\Pi iq})\ \bigcap_{ik}(m_i(M_{\Pi i\rho}))\Leftrightarrow(\forall\Xi\ \in W_{ik}^{\ D}(M_{\Pi ij}))(\exists M_{\Pi i\varphi}\in\ \Xi)(M_{\Pi i\varphi}\in m_i(M_{\Pi i\varphi})\&(M_{\Pi i\varphi}\in m_i(M_{\Pi i\rho})))$;

$M_{\Pi ij}\in (m_i(M_{\Pi iq})\ \bigcup_{ik}(m_i(M_{\Pi i\rho}))\Leftrightarrow(\forall\Xi\ \in W_{ik}^{\ D}(M_{\Pi ij}))(\exists M_{\Pi i\varphi}\in\ \Xi)(M_{\Pi i\varphi}\in m_i(M_{\Pi iq})\vee(M_{\Pi i\varphi}\in m_i(M_{\Pi i\rho})))$;

$M_{\Pi ij}\in (\neg_{ik}\, m_i(M_{\Pi iq})\Leftrightarrow((\forall M_{\Pi i\rho})(M_{\Pi ij}\rightarrow<_{ij}M_{\Pi i\rho}))(M_{\Pi i\rho}\in\ m_i(M_{\Pi iq})\Rightarrow W_{ik}^{\ D}(M_{\Pi i\varphi})=\varnothing)$.

Здесь Ξ — некоторая траектория в модельном пространстве, выходящая из $M_{\Pi\ iq}$ и принадлежащая системе окрестностей $W_{ik}(M_{\Pi ij})$, ее покрывающей.

Обозначим через $\hat{U}_{ij}$ и $\hat{U}_i$ соответственно имена базовых предметных объектов носителя $M_{\Pi ij}$ и $m_i(\mathrm{M}_{\Pi i0})$ сорта V. Тогда $CR(V,\hat{U}_i,\hat{U}_k)=\{CR(V,\hat{U}_{ij},\hat{U}_{ij})|M_{\Pi ij}\in\ m_i(M_{\Pi i0})\}$ для порядковой топологии и

$CR(V,\hat{U}'_{ij},\hat{U}'_{ij})=\{CR(V,\hat{U}_{iq},\hat{U}_{iq})|(\forall\Xi\in\ W(M_{\Pi ij}))(\exists M_{\Pi iq}\in\ \Xi)(M_{\Pi iq}\in\ m_i(M_{\Pi ij}))\}$ для БТК, где $\hat{U}_{ij}$ — общее имя базовой предметной переменной сорта V в $m_i(M_{\Pi ij})$.

Таким образом, обобщенная оценка конуса представляет собой множество оценок моделей, его составляющих. Элемент $\tilde{\mu}\in\ B_j$ есть истинностная оценка адекватности описания ОБ подмоделью $M_{\Pi ij}$ из конуса $m_i(\mathrm{M}_{\Pi i0})$. В фазовом пространстве $\langle S,T,\ B\rangle$ система представляется с фиксированной S, но с изменяющейся μ. Это удобно, если известен конкретный вид Ξ, т. е. конкретный физический доминирующий механизм изменения состояния ОБ. В противном случае каждая подмодель отождествляется с новым состоянием ОБ с постоянной степенью истинности (фиксирована μ). При этом фазовое пространство приходится реализовывать в виде решетки с единственным дополнением, что компенсирует недостаток исходной информации о конкретном поведении ОБ. Доверительное покрытие порядковой топологии обосновывает возможность такой реализации, так как приводит любую

КПТ к булевой структуре. Этим гарантируется полнота вероятностных (надежностных) способов описания радиационного поведения ИС, однако возможность такого подхода ограничена известной теоремой Г. Гретцера [4].

В практике моделирования радиационного поведения ИС более распространенной является ситуация, когда разработчик изначально располагает определенной информацией о доминирующих механизмах нарушения работоспособности ОБ. В этом случае достаточно одноточечного покрытия W^1 вместо W^D, но с потерей универсальности модельного представления системы, так как $ПМ_i$ становится зависимой от этого механизма.

2. Структура порядковых моделей цифровых БИС при радиационном воздействии. Метод модельных траекторий

Для задач, связанных с анализом радиационной стойкости ИС, в качестве носителя M_c можно ограничиться случаем B изоморфного гильбертову кубу. При выборе типа агрегирующего отображения π_i необходимо учесть, что традиционно для данного класса задач в качестве M_c принято использовать надежностные модели, где π становится вероятностной мерой. Однако, как выше упоминалось, при детерминированном характере радиационных эффектов этот подход сталкивается со значительными трудностями. С другой стороны, принимая во внимание необходимость учета различного рода контролируемых статистических факторов, альтернативные структуры M_c должны предполагать возможность их асимптотического расширения до структуры булевой решетки. Поэтому π представляется целесообразным искать в классе аддитивных квазимер, частным случаем которых являются и вероятностные меры [5].

Из вышеприведенного анализа следует, что $\pi(U_{ia})=\tilde{\mu}(\tilde{U}_{ia})=CR(\hat{U}_{ia})=\mu_a \in B$.

Тогда, введя обозначения:

$\pi(U_{ia} \cup U_{iв})=CR(\hat{U}_{ai} U_{\bar{1}} \hat{U}_{iв})=\mu_a \vee^+ \mu_в = G(\mu_a, \mu_в)$, $\pi(U_{ia} \cap U_{iв})=CR(\hat{U}_{ia} \cap_{\underline{1}} \hat{U}_{iв})=\mu_a \wedge^+ \mu_в = F(\mu_a, \underline{\mu}_в)$,

где $\underline{1}$ — бинарная операция ограничения, $\cap_{\underline{1}}$ — обобщенный оператор пересечения, $\bar{1}$ — двойственная операция расширения, $\cup_{\underline{1}}$ — обобщенный оператор объединения.

С учетом аксиом для π и слабого модельного порядка имеем:

$\pi(U_{ik} \cup U_{in})=\pi(U_{ik})=1=G(1,\mu_n)=G(\mu_n,1)$;

$\pi(\varnothing \cup U_{in}=\pi(U_{in})=\mu_n=G(0,\mu_n)=G(\mu_n,0)$;

$\pi(\varnothing \cup \varnothing)=\pi(\varnothing)=0=G(0,0)$;

$\pi(U_{ik} \cup U_{ik})=\pi(U_{ik})=1=G(1,1)$;

$\pi(U_{ik} \cap U_{in})=\pi(U_{in})=\mu_n=F(1,\mu_n)=F(\mu_n,1)$;

$\pi(\varnothing \cap \varnothing)=\pi(\varnothing)=0=F(0,0)$;

$\pi(U_{ik} \cap U_{ik})=\pi(U_{ik})=1=F(1,1)$;

$\pi(\varnothing \cap U_{in}=\pi(\varnothing)=0=F(0,\mu_n)=F(\mu_n,0)$.

При условии коммутативности и ассоциативности операции F и G удовлетворяют свойствам соответственно треугольных норм и конорм [5] и реализуются в классе этих функциональных отображений.

Из приведенных формул следует, что F и G непрерывны. Чтобы задать метрику в MC_n, отображение π в операторных обозначениях должно удовлетворять условию $F(\mu_a,\mu_b)+G(\mu_a,\mu_b)=\mu_a+\mu_b$. С учетом ассоциативности F и G последнее соотношение можно переписать так:

$F(\mu_a+\mu_b-F(\mu_a, \mu_b), \mu_c)+F(\mu_a+\mu_b)= F(\mu_a, \mu_b+ \mu_c-F(\mu_b, \mu_c))+F(\mu_b, \mu_c)$.

Как следует из [6], единственными решениями этого функционального уравнения являются нормы:

$F=\min(x,y)$ и $G = \max(x, y), F = \log_S[1+\frac{(S^x-1)(S^y-1)}{S-1}]$ и $G=1-F(1-x,1-y)$,

причем при $S \to +\infty$ $F= \max(0,x+y-1)$ и $G=\min(1,x+y)$, а при $S=1$ $F=xy$ и $G=x+y-xy$.

Причем, кроме первой пары, они являются архимедовыми, т. е. $F(x,x)<x$ и $G(x,x)>0, x\in (0,1)$.

Анализ алгебраической структуры ПМ, порождаемой этими операторами, показывает, что только min и max обладают свойствами решетки [4]. Дистрибутивность этой решетки гарантирует возможность задания π с помощью классических метрических соотношений. Таким образом, анализ качества функционирования с помощью решеток с аддитивными оценками допустим и приводит к единственному решению ПМ с минимаксными операторами. Ясно, что эти операторы не могут описать все возможные особенности радиационного поведения ОБ. Однако в силу теоремы о единственности представления [7] для оценок, основанных на треугольных нормах, минимаксные операторы все же могут служить базой для качественного описания этих особенностей.

Формализация структуры ПМ позволяет перейти к рассмотрению различных методов оценки радиационной стойкости с единых позиций.

Однопараметрическая оценка стойкости реализуется при прогнозировании ее по одному критерию работоспособности r_{kpi}. При воздействии на систему одного дестабилизирующего фактора Ф КПТ совпадает с БКТ и все модели ОБ расположены на одной траектории Ξ_{Φ} в конусе с порождающей моделью $M_{\Pi io}$ Все подмодели в этом случае связаны отношением $\rightarrow<$ и сопоставимы по критерию истинности. При этом подмодель $M_{\Pi ij}$, соответствующая диапазону $[\Phi_k, \infty)$, корректна и для любого поддиапазона $[\Phi_n, \infty)$ где $\Phi_n > \Phi_k$. Однако отсюда не следует монотонность $\tilde{\mu}(\Phi, r_{kpi})$, определяемая конкретной спецификой $M_{\Pi io}$ и r_{kpi}. Единство Ξ_{Φ} для всех модельных представлений ОБ предполагает единую методику его облучения, так как в противном случае из-за сильной зависимости радиационных отказов от предыстории (режимов работы ОБ) приводит к расслоению Ξ_{Φ} на разные ветви и несопоставимости $M_{\Pi ij}$ по критерию истинности.

Реализация вышеперечисленных условий приводит к единственной минимаксной модели, более естественной при облучении ОБ. Это видно при сравнении ее с надежностной моделью, не позволяющей в асимптотике выявить зависимость вероятности безотказной работы от свойств отдельных элементов, в то время как в минимаксной модели она определяется или «наилучшим» элементом (для параллельных систем), или «наихудшим» элементом (для последовательных систем). Очевидно, что методы повышения надежности и стойкости в общем случае не совпадают. Рассматриваемая структура ПМ корректна и при воздействии нескольких дестабилизирующих факторов $\vec{\Phi}=(\Phi_1,...,\Phi_n)$. При этом $\mu(\vec{\Phi}, r_{kpj})$ задается в n-мерном пространстве с сохранением базовых операторов минимаксной модели, а радиационные эффекты, возникающие в ИС от различных Φ_i, должны оцениваться в минимаксной модели по изменению одного и того же параметра системы, ограничение на который определяет r_{kpj}.

При многопараметрической оценке радиационной стойкости ОБ с использованием нескольких r_{kpj}, $j=1,..., k$, предполагается корректировка структуры ПМ, так как разные критерии порождают в модельном пространстве разные порядки, в общем случае несопоставимые и, следовательно, разные Ξ_j с непересекающимися окрестностями. Поэтому аксиомы идемпотентности из ПМ приходится исключить.

Искомую оценку можно получить в виде двух типов композиций однопараметрических оценок по отдельным Ξ_j:

$$\mathrm{O}_k(\vec{\Phi}, \vec{r}_{kp})=\mu_1(\vec{\Phi}, r_{kp1})\oplus\mu_2(\vec{\Phi}, r_{kp2})\oplus...\oplus\mu_k(\vec{\Phi}, r_{kpk}),$$

$$\Pi_k(\vec{\Phi}, \vec{r}_{kp})=\mu_1(\vec{\Phi}, r_{kp1})\oplus\mu_2(\vec{\Phi}, r_{kp2})\oplus...\oplus\mu_k(\vec{\Phi}, r_{kpk}).$$

В силу невыполнения идемпотентности ПМ в этом случае не имеет решеточной структуры.

Так как истинность M_{ni0} равна 1, то в силу монотонности операторов композиции при $\forall p \le k$:

$$O_k(1,...,1)=1,\ O_k(0,0,...,0,\ \mu_p,...,\ \mu_k)=\Pi_k(\mu_p,...,\ \mu_k),$$

$$\Pi_k(0,...,0)=0,\ \Pi_k(1,1,...,1,\ \mu_p,...,\ \mu_k)=\Pi_k(\mu_p,...,\ \mu_k).$$

Тогда в двухпараметрическом случае $\Pi_2(O_2)$ будет треугольной нормой (конормой) и реализуется в виде:

$$\max(0,\ \mu_1+\mu_2-1) \text{ и } \min(1,\ \mu_1+\mu_2);\ \mu_1\cdot\mu_2 \text{ и } \mu_1+\mu_2-\mu_1\cdot\mu_2.$$

Все эти нормы являются архимедовыми [6], откуда следует $F(x+y-F(x,y),z)= F(x,y)+F(y,x)-F(F(x,y),z)$ (уравнение дистрибутивности), или в терминах μ:

$$\mathrm{F}(\mu_a+\mu_в-\mathrm{F}(\mu_a,\mu_в),\mu_c)=\mathrm{F}(\mu_a+\mu_в)+\mathrm{F}(\mu_в,\mu_c)-\mathrm{F}(\mathrm{F}(\mu_a,\mu_в),\mu_c).$$

Для этих функций, как доказано в [7], единственным решением уравнения дистрибутивности является оператор $\mu_1 \cdot \mu_2$ и $\mu_1 + \mu_2 - \mu_1 \cdot \mu_2$.

Многопараметрическую оценку при $K>2$ получаем подстановкой этой функции в формулы для O_k и Π_k:

$$O_k(\vec{\Phi}, \vec{r}_{kp}) = \sum_{i=1}^{k} \mu_i - \sum_{i<j}^{k} \mu_i \mu_j + \sum_{i<j<\rho}^{k} \mu_i \mu_j \mu_\rho - \ldots + (-1)^{k-1} \mu_1 \mu_2, \ldots, \mu_k,$$

$$\Pi_k(\vec{\Phi}, \vec{r}_{k\rho}) = \mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_k.$$

Таким образом, комбинация Ξ_j реализует ПМ с операторами вероятностного типа, но не булевой структуры. Однако идемпотентность и дистрибутивность ПМ восстанавливаются доверительным покрытием с операторами $\bigcap_{nik} = \Pi_k (\bigwedge_{i=1}^{n})$ и $\bigcup_{nik} = O_k (\bigvee_{i=1}^{n})$, где $\wedge$ и $\vee$ — операторы однопараметрической ПМ (минимаксные или вероятностные). Структура ПМ при этом вероятностная, а функция принадлежности является суперпозицией детерминированной μ, характеризующей удаление S от $M_{\Pi i0}$, и статистической, обусловленной неадекватностью $M_{\Pi i0}$ и $M_{\Pi 0}$. Количественно взаимную значимость этих факторов можно оценить исходя из критериев, предложенных в работе [3], позволяющих разграничить модели на неопределенные и нечеткие.

3. Заключение

Показано, что взаимосвязь алгебраических и логических способов описания объекта (ОБ) приводит к наличию в предметной моделирующей среде алгебраических конструкций модели и пропозициональных логических матриц (ПМ).

Выявлено, что анализ качества функционирования с помощью решеток с аддитивными оценками допустим и приводит к единственному решению ПМ с минимаксными операторами. Формализация такой структуры позволяет перейти к рассмотрению различных методов оценки радиационной стойкости с единых позиций.

Учитывая, что единство для всех модельных представлений ОБ предполагает единую методику его облучения, реализация таких условий приводит к единственной минимаксной модели, более естественной при облучении ОБ. В этом случае надежностная модель не позволяет в асимптотике выявить зависимость вероятности безотказной работы от свойств отдельных элементов. При этом минимаксная модель определяется или «наилучшим», или «наихудшим» элементами. Очевидно, что методы повышения надежности и стойкости в общем случае не совпадают.

Рассмотренная структура ПМ корректна и в случае воздействия нескольких дестабилизирующих факторов $\vec{\Phi} = (\Phi_1, \ldots, \Phi_n)$. При этом $\mu(\vec{\Phi}, r_{kpj})$ задается в n-мерном пространстве с сохранением базовых операторов минимаксной модели, а радиационные эффекты, возникающие в ИС от различных Φ_i, оцениваются в минимаксной модели по изменению одного и того же параметра системы. Такая структура ПМ является вероятностной с операторами вероятностного типа, а функция принадлежности является суперпозицией детерминированной μ и статистической.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Аствацатурьян Е. Р.* Особенности учета неточности моделей при анализе стабильности сложных электронных устройств физического эксперимента // Электроника для экспериментальной физики / Под ред. Т. М. Агаханяна. М., 1986. С. 3–8.
2. *Драгалин А. Т.* Математический интуиционизм: Введение в теорию доказательств. М., 1979. – 256 с.
3. *Горбатов В. А.* Теория частично упорядоченных систем. М., 1976. – 336 с.
4. *Гретцер Г.* Общая теория решеток. М., 1982. – 456 с.
5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. М., 1986. – 312 с.
6. *Frank M. J.* Associativity in a class of operations on spaces of distribution functions // Aeguationes Math 12 (1975). P. 121–144.
7. Нечеткие множества и теория возможностей / Под ред. Р. Р. Ягера. М., 1986. – 408 с.