

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. А.А. Бакиров.

Машкина Ирина Владимировна

Уфимский государственный авиационный технический университет.

E-mail: mashkina_vtzi@mail.ru.

450000, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

Тел: +79279277089.

Д.т.н.; профессор.

Сенцова Алина Юрьевна

E-mail: sentsova.alina@yandex.ru.

Тел: +79659255317.

Студентка.

Гузайров Рустем Муратович

E-mail: callow@mail.ru.

Тел: +79272396699.

Сотрудник УГАТУ.

Кладов Виталий Евгеньевич

E-mail: Kladovv@mail.ru.

Тел: +79173460298.

К.т.н.; доцент.

Mashkina Irina Vladimirovna

The Ufa state Aviation Technical University.

E-mail: mashkina_vtzi@mail.ru.

12, K. Marx's Street, Ufa, 450000, Russia.

Phone: +79279277089.

Dr. of Eng. Sc.; Professor.

Sentsova Alina Uryevna

E-mail: sentsova.alina@yandex.ru.

Phone: +79659255317.

Student.

Guzairov Rustem Muratovich

E-mail: callow@mail.ru.

Phone: +79272396699.

Researcher.

Kladov Vitaliy Evgenyevich

E-mail: Kladovv@mail.ru.

Phone: +79173460298.

Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor.

УДК 621.311

В.А. Шарай, О.С. Бурангулова, М.В. Андриуца

**МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ
СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ЧИСЛОВЫХ
МОДЕЛЕЙ**

Рассматривается методика мониторинга состояния надежности и безопасности структурно-сложных технических систем в общем, и систем защиты информации в частности, а также необходимое для реализации такого мониторинга математическое обеспечение, которое позволяет уменьшить его инерциальность. Логико-числовые модели являются основой математического обеспечения для систем мониторинга, основными

преимуществами которого будут учет изменений в структуре системы (с последующей индикацией изменения надежности), возможность выявления отказов, контролируемой системы на ранних стадиях зарождения отказов, уменьшение времени между зарождением отказа и его предотвращением.

Структурно-сложные системы; надежность и безопасность структурно-сложных систем; логико-вероятностные модели; арифметико-логические полиномы; мониторинг технических систем; математическое обеспечение систем мониторинга; защита информации; технические системы защиты информации; безопасность информации.

V.A. Sharaj, O.S. Burangulova, M.V. Andriutsa

MONITORING THE CONDITION TO RELIABILITY AND SAFETY STRUCTURED-COMPLEX SYSTEMS ON BASE LOGICIAN-NUMERIC MODELS

The technique of monitoring of a reliability status and safety of structurally-difficult technical systems in general, and systems of protection of the information in particular, and also necessary for realization of such monitoring software which allows to reduce its inertia is considered. Logiko-numerical models are a basis of software for monitoring systems, the cores of which will be the account of changes in system structure (with the subsequent indication of change of reliability), possibility of revealing of refusals, controllable system at early stages of origin of refusals, time reduction between origin of refusal and its prevention.

Structure-complex systems; reliability and security of structurally-complex systems; logical and probabilistic models; arithmetic and logical polynomials; and monitoring of technical systems; mathematical ensure baking-monitoring systems; information security; technical systems protect you information; security information.

Подсистемы защиты информации относятся к сложным системам. При эксплуатации сложных технических систем имеется необходимость в проведении текущего контроля состояния их надежности и безопасности. Если система относится к критическим, то контроль должен быть непрерывным. Таким образом, необходимо говорить о мониторинге системы в реальном времени. При высокой структурной сложности технических систем возникают сложности с реализацией таких систем мониторинга. Для преодоления этих трудностей необходимо усовершенствовать математическое обеспечение, которое поможет выявлять отказы и последующие опасные состояния на ранних этапах зарождения отказов. Следовательно, необходим текущий контроль состояния надежности и безопасности, так как на исправном оборудовании может возникнуть опасная ситуация.

При проектировании технической системы необходимо учитывать, что отказ одного элемента системы может повлечь отказ всей системы. Кроме того, отказ всей системы может развиваться за достаточно короткий промежуток времени, что может вызвать развитие опасной ситуации. Если происходит отказ технической системы, выполняющей ответственные функции, то может развиваться авария или катастрофа. Если масштаб аварии велик, то возможно развитие чрезвычайной ситуации.

В [3] отмечено, что во время оценки безопасности технической системы следует учитывать число технических систем данного типа. Самым сложным и масштабным чрезвычайным ситуациям подвержены уникальные технические системы и технические системы крупносерийного производства с более высокими требованиями по безопасности. Ущерб от одной сложной масштабной чрезвычайной ситуации может оцениваться несколькими миллиардами долларов, в то время как вероятность возникновения такой чрезвычайной ситуации оценивается около $5 \cdot 10^{-2} \frac{1}{год}$. Также в [3] представлено соотношение степени ущерба и вероятности возникновения катастрофы.

Из рисунка видно, что степень ущерба от глобальных катастроф в миллион раз превышает степень ущерба от объектовых катастроф [3].

Любую аварию сопровождают экономические (убытки, простои) и социальные (тяжелый и средний вред здоровью людей) последствия. В России ущерб от аварий на сложных технических объектах составляет от 3 % до 5 % ВВП, что оказывается сравнимо с ежегодным приростом ВВП. Для решения проблем связанных с надежностью исследования ведутся с 80-х гг. XX в. [3].

В [4] было установлено, что любой аварии предшествуют предаварийные состояния, их называют критическими. Начальные стадии аварии связаны с появлением повреждений в несущих или важных конструкциях или элементах высокорисковых объектов. Модель развития опасного состояния показана на рис. 2.

Наибольшие ущербы проявляются на последних этапах цепочки.

Применительно к защите информации при отказе автоматизированной системы управления производственным процессом наблюдается ущерб, связанный с повреждением оборудования, нанесением урона оперативной информации. При отказе же системы автоматизированного управления важным (критическим уникальным) объектом проявляется существенный ущерб. Также возможно возникновение чрезвычайной ситуации.

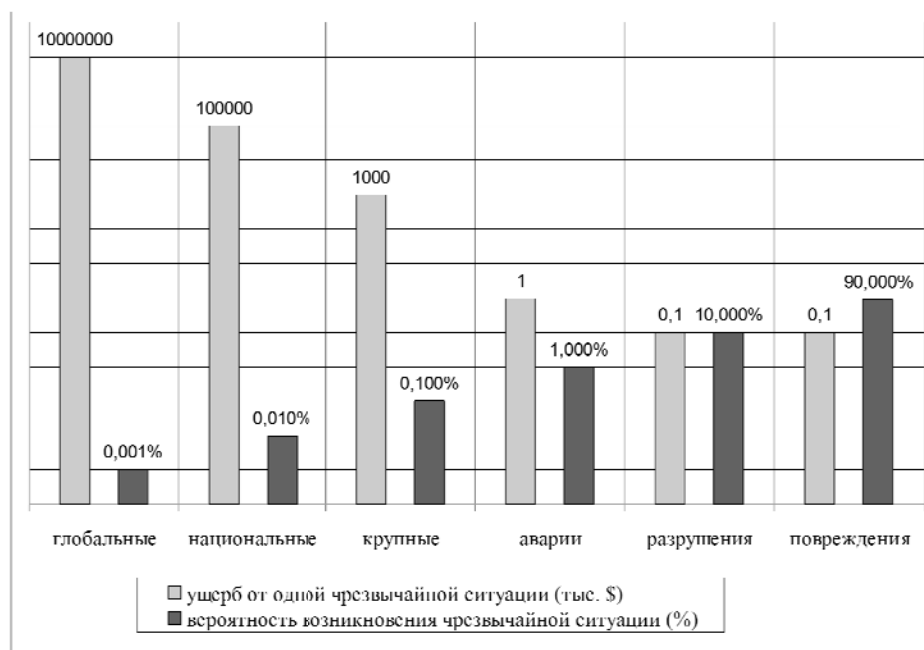


Рис. 1. Ущерб на одну катастрофу от недостаточного обеспечения надежности и безопасности промышленных объектов



Рис. 2. Модель развития чрезвычайной ситуации

Всем системам мониторинга присуща некоторая инерциальность, заключающаяся в запаздывании реакции системы мониторинга на изменение состояния контролируемой системы на интервал времени $\Delta t = t_2 - t_1$ между моментами време-

ни наступления нежелательного события t_2 и обнаружения изменения состояния объекта мониторинга t_1 .

Стандартный метод повышения производительности любых систем функционирования – распараллеливание реализуемых процессов. Для рассматриваемых систем мониторинга возможно предусмотреть два направления параллелизма: 1) совмещение процессов анализа надежности и анализа безопасности функционирования систем, 2) распараллеливание алгоритмов преобразования аналитических данных.

Во время мониторинга система разбивается на подсистемы, подсистемы разбиваются на узлы, связанные иерархической структурой. Полученные узлы диагностируются по отдельности.

Согласно [3], для своего функционирования автоматизированная система мониторинга требует наличия обеспечения определенных видов (рис. 3)



Рис. 3. Виды обеспечения систем мониторинга

Согласно с [4] программное обеспечение должно обеспечивать автоматизированную диагностику, визуализацию данных измерений, локализацию «важных» [5] агрегатов, архивирование («истории поломок»), графическое редактирование, управление базой данных.

Структура обслуживаемой системы должна описываться в базе данных иерархической структурой. Например, можно привести следующую структуру (уровни, кроме уровня подсистема / режим заимствованы из [4]):

- ◆ производство – группы агрегатов, объединенных по физическому, функциональному, территориальному или другим признакам;
- ◆ подсистема/режим;
- ◆ агрегат;
- ◆ точка – нижний уровень иерархии, контрольные точки на агрегате.

В последнее время для анализа надежности ССС применяется логико-вероятностный метод (ЛВМ), состоящий в том что, структура исследуемой системы

записывается с помощью аппарата булевых функций, а надежность элементов с помощью аппарата классической теории надежности. Наряду с ЛВМ применяется и его модификация – общий логико-вероятностный метод. Данные методы обладают следующими достоинствами: простота, точность, легкость понимания и применения.

Для применения ЛВМ к системе необходимо построить кратчайшие пути успешного функционирования системы. Кратчайший путь успешного функционирования (КПУФ) – такая конъюнкция ее элементов, ни одну из компонент которой нельзя изъять, не нарушив условия функционирования системы [5]. Затем по ним необходимо составить соответствующие булевы функции работоспособности системы при выполнении определенной функции. С помощью специальных преобразований полученная булева функция работоспособности системы приводится к форме перехода к полному замещению, в которой с помощью замены булевых переменных вероятностями нахождения элементов в рабочем (или нерабочем состоянии), а также замены логических операции арифметическими, получается соответствующая вероятностная функция. Далее производится расчет надежности системы. Рассмотрим пример простейшей мостиковой системы (рис. 4), взятый из [5]. Цифрами обозначены элементы системы. Для обозначения работоспособности (1) или неработоспособности (0) элементов введем булевы переменные x_1, \dots, x_5 .

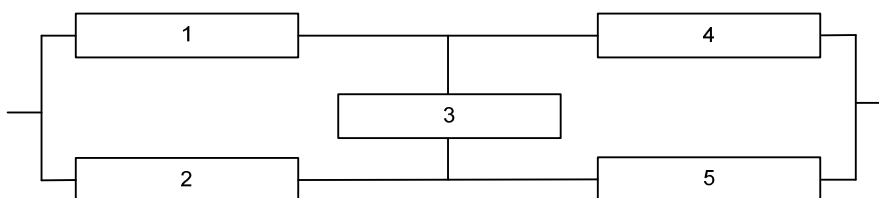


Рис. 4. Пример простейшей мостиковой схемы

Согласно [5] построим все возможные КПУФ для приведенной системы:

$$K_1 = x_1 \wedge x_4, K_2 = x_1 \wedge x_3 \wedge x_5, K_3 = x_2 \wedge x_5, K_4 = x_2 \wedge x_3 \wedge x_4.$$

Запишем функцию работоспособности системы:

$$\begin{aligned} F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= K_1 \vee K_2 \vee K_3 \vee K_4 = \\ &= x_1 \wedge x_4 \vee x_1 \wedge x_3 \wedge x_5 \vee x_2 \wedge x_5 \vee x_2 \wedge x_3 \wedge x_4, \end{aligned}$$

где символами \wedge, \vee обозначены операции логической конъюнкции и дизъюнкции соответственно.

Далее с помощью алгоритма разрезания по переменной x_3 можно получить следующую форму перехода к полному замещению:

$$\begin{aligned} F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= (x_3 \wedge ((x_1 \vee x_2) \wedge (x_4 \vee x_5))) \vee \\ &\vee (\bar{x}_3 \wedge ((x_1 \wedge x_4) \vee (x_2 \wedge x_5))). \end{aligned}$$

После перехода получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} P\{F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 1\} &= (p_3 \cdot ((p_1 + p_2) \cdot (p_4 + p_5))) + \\ &+ ((1 - p_3) \cdot ((p_1 \cdot p_4) + (p_2 \cdot p_5))), \end{aligned}$$

где символами $\bullet, +$ обозначены операции арифметического сложения и умножения соответственно.

Вычисляя значение этого выражения, найдем надежность системы, представленной на рис. 4.

Если число функции достаточно велико и число элементов превосходит несколько десятков, то могут возникнуть сложности с хранением и обработкой такого количества информации. Для описания и хранения в памяти ЭВМ структуры сложной системы состоящей из достаточно большого числа элементов целесообразнее будет хранить ее логическую структуру функционирования, выраженную с помощью аппарата булевых функций. Для реализации данного описания можно использовать арифметические полиномы [6, 7].

Пусть имеется некоторая подсистема защиты информации, способная защищать информацию от угроз различных видов одновременно.

Для обозначения состояния надежности введем булеву функцию $f_{ij}^{отказа}(\mathbf{x}_i)$ (здесь i – порядковый номер слоя, в котором содержится вершина, значение которой определяется функцией $f_{ij}^{отказа}(\mathbf{x}_i)$, j – порядковый номер функции $f_{ij}^{отказа}(\mathbf{x}_i)$ в рассматриваемом i -м слое), принимающую значения логической единицы, если произошел отказ или значение логического нуля, если отказ не имел место быть.

Наряду с построением логико-числовых полиномов для систем логических функций, описывающих надежное функционирование структурно-сложной технической системы [8], для анализа надежности группой экспертов составляются деревья отказов системы при выполнении определенной функции (для каждой угрозы), для которых тоже можно построить логико-числовые полиномы. Из рис. 5 можно увидеть, что в дереве отказов присутствует несколько слоев.

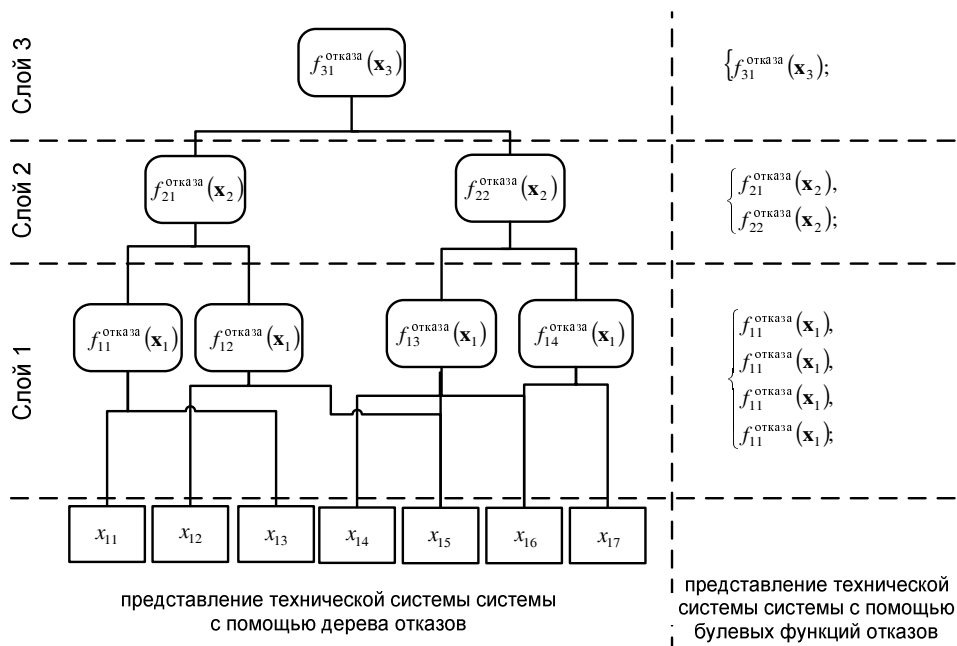


Рис. 5. Соотнесение дерева отказов структурно-сложной технической системы при выполнении определенной функции с логическими функциями развития отказов

Составим булевы функции $f_{ij}^{отказа}(\mathbf{x}_i)$ для вершин в каждом слое, кроме слоя элементов:

$$\begin{aligned} \text{слой } 1 & \begin{cases} f_{11}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{11} \vee x_{13}, \\ f_{12}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{12} \wedge x_{15}, \\ f_{13}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{14} \wedge x_{15} \vee x_{16}, \\ f_{14}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{16} \vee x_{17}; \end{cases} \\ \text{слой } 2 & \begin{cases} f_{21}^{отказа}(\mathbf{x}_2) = f_{11}^{отказа}(\mathbf{x}_1) \wedge f_{12}^{отказа}(\mathbf{x}_1), \\ f_{22}^{отказа}(\mathbf{x}_2) = f_{13}^{отказа}(\mathbf{x}_1) \vee f_{14}^{отказа}(\mathbf{x}_1); \end{cases} \\ \text{слой } 3 & \begin{cases} f_{31}^{отказа}(\mathbf{x}_3) = f_{21}^{отказа}(\mathbf{x}_2) \vee f_{22}^{отказа}(\mathbf{x}_2), \end{cases} \end{aligned}$$

где символами \wedge, \vee обозначены операции логического умножения и сложения соответственно, $\mathbf{x}_2 = [x_{21} \ x_{22} \ x_{23} \ x_{24}]$, $\mathbf{x}_3 = [x_{31} \ x_{32}]$ (для рассматриваемой системы);

$$\begin{cases} x_{21} = f_{11}^{отказа}(\mathbf{x}_1), \\ x_{22} = f_{12}^{отказа}(\mathbf{x}_1), \\ x_{23} = f_{13}^{отказа}(\mathbf{x}_1), \\ x_{24} = f_{14}^{отказа}(\mathbf{x}_1); \end{cases} \quad \begin{cases} x_{31} = f_{21}^{отказа}(\mathbf{x}_2), \\ x_{32} = f_{22}^{отказа}(\mathbf{x}_2). \end{cases}$$

С учетом вышесказанного запишем логические функции отказов:

$$\begin{cases} \text{слой } 1 & \begin{cases} f_{11}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{11} \vee x_{13}, \\ f_{12}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{12} \wedge x_{15}, \\ f_{13}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{14} \wedge x_{15} \vee x_{16}, \\ f_{14}^{отказа}(\mathbf{x}_1) = x_{16} \vee x_{17}; \end{cases} \\ \text{слой } 2 & \begin{cases} f_{21}^{отказа}(\mathbf{x}_2) = x_{21} \wedge x_{22}, \\ f_{22}^{отказа}(\mathbf{x}_2) = x_{23} \vee x_{24}; \end{cases} \\ \text{слой } 3 & \begin{cases} f_{31}^{отказа}(\mathbf{x}_3) = x_{31} \vee x_{32}. \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

На рис. 6 изображен процесс переопределения некоторых логических функций: теперь в каждом слое дерева отказов для каждой логической вершины присутствуют входные аргументы.

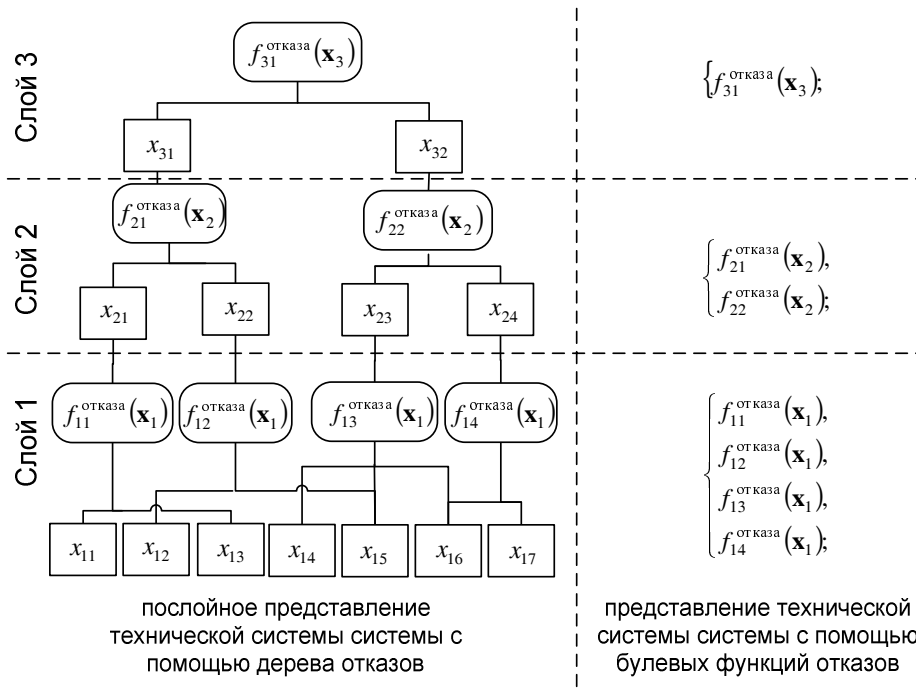


Рис. 6. Последнее соотнесение дерева отказов структурно-сложной технической системы при выполнении определенной функции с логическими функциями развития отказов

Для уменьшения объема и трудоемкости вычислений перейдем к единому логическому базису, например, к базису \wedge, \neg . Тогда (1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{слой 1} & \begin{cases} f_{11}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = \bar{x}_{11} \wedge \bar{x}_{13}, \\ f_{12}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = x_{12} \wedge x_{15}, \\ f_{13}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = \overline{x_{14} \wedge x_{15} \wedge \bar{x}_{16}}, \\ f_{14}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = \bar{x}_{16} \wedge \bar{x}_{17}; \end{cases} \\ \text{слой 2} & \begin{cases} f_{21}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_2) = x_{21} \wedge x_{22}, \\ f_{22}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_2) = \bar{x}_{23} \wedge \bar{x}_{24}; \end{cases} \\ \text{слой 3} & \begin{cases} f_{31}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_3) = \bar{x}_{31} \wedge \bar{x}_{32}. \end{cases} \end{aligned}$$

Помимо составления деревьев отказа системы при выполнении определенной функции (защита от угрозы безопасности информации определенного вида) каждый эксперт определяет опасность отказов. Для этого в дополнение к некоторым узлам дерева (логической функции в любом слое) вводится дополнительная функция наступления опасного состояния $f_{ij}^{\text{опасности}}(\mathbf{x}_i)$ (здесь i – порядковый номер слоя, в котором содержится вершина, значение которой определяется функцией

$f_{ij}^{опасности}(\mathbf{x}_i)$, j – порядковый номер функции $f_{ij}^{опасности}(\mathbf{x}_i)$ в рассматриваемом i -м слое (рис. 7), которая принимает значение логической единицы, если произошедшая цепь отказов элементов системы приводит к аварии, и логического нуля, если перехода в аварийное состояние нет. Построим функции опасности там, где это возможно:

$$\text{слой 1} \quad \begin{cases} f_{11}^{опасности}(\mathbf{x}_1) = x_{11} \wedge x_{13}, \\ f_{14}^{опасности}(\mathbf{x}_1) = x_{16} \wedge x_{17}; \end{cases}$$

$$\text{слой 2} \quad \begin{cases} f_{22}^{опасности}(\mathbf{x}_2) = x_{23} \wedge x_{24}. \end{cases}$$

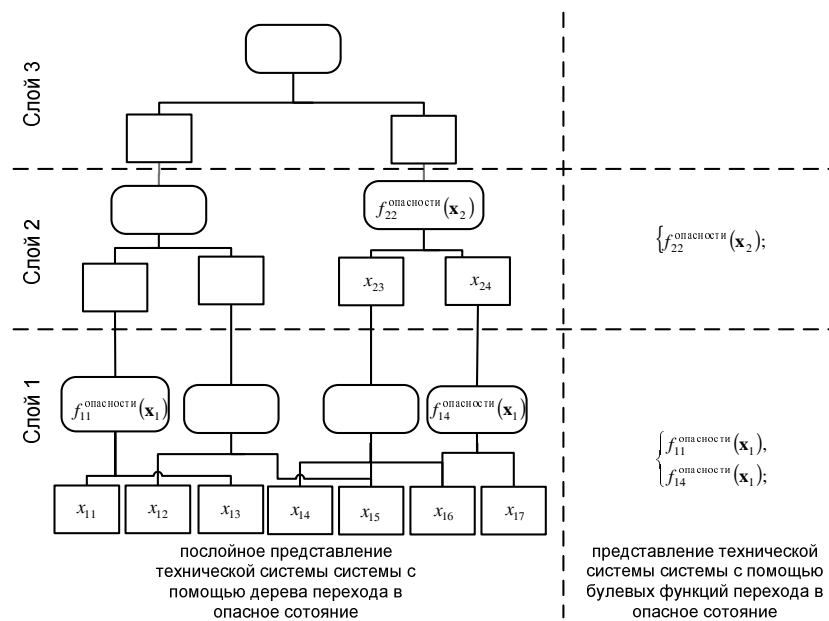


Рис. 7. Последнее соотнесение дерева перехода в опасное состояние структурно-сложной технической системы при выполнении определенной функции с логическими функциями перехода в опасное состояние

Объединим послойно булевы функции $f_{ij}^{отказа}(\mathbf{x}_i)$ и $f_{ij}^{опасности}(\mathbf{x}_i)$ в кортежи (рис. 8):

$$\text{слой 1:} \quad F_1(\mathbf{x}_1) = f_{11}^{отказа}(\mathbf{x}_1) * f_{11}^{опасности}(\mathbf{x}_1) * f_{12}^{отказа}(\mathbf{x}_1) * f_{13}^{отказа}(\mathbf{x}_1) * \\ * f_{14}^{отказа}(\mathbf{x}_1) * f_{14}^{опасности}(\mathbf{x}_1),$$

$$\text{слой 2:} \quad F_2(\mathbf{x}_2) = f_{21}^{отказа}(\mathbf{x}_2) * f_{22}^{отказа}(\mathbf{x}_2) * f_{22}^{опасности}(\mathbf{x}_2),$$

$$\text{слой 3:} \quad F_3(\mathbf{x}_3) = f_{31}^{отказа}(\mathbf{x}_3),$$

где символ $*$ является разделителем булевых функций, описывающих поведение системы на определенном слое.

Таким образом, каждый слой дерева отказов может быть представлен своей многовыходной булевой функцией $F_i(\mathbf{x}_i)$.

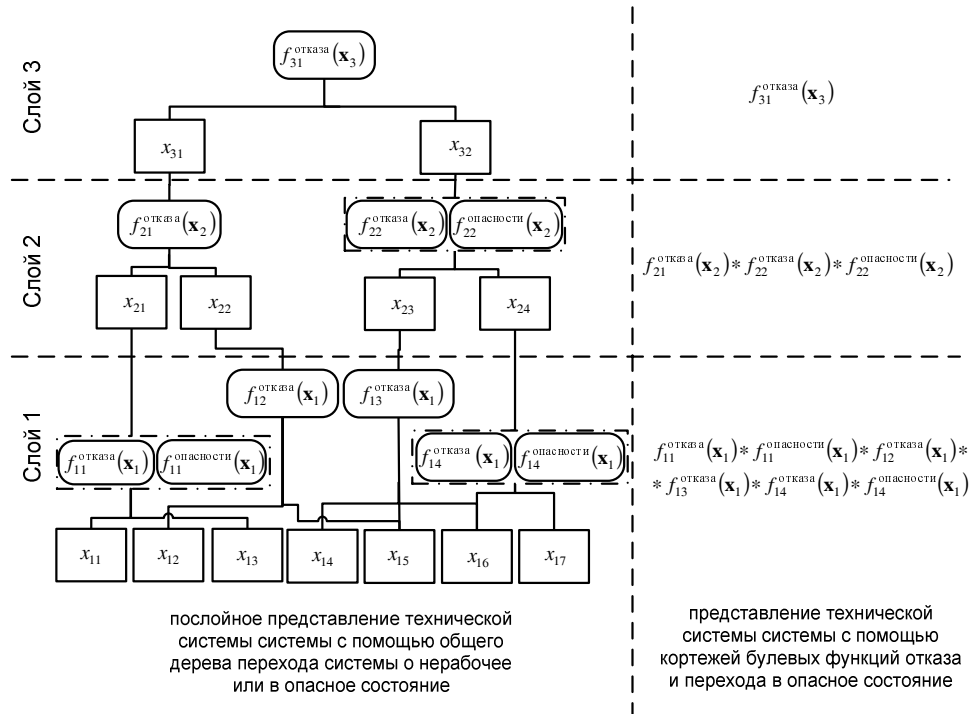


Рис. 8. Послойное параллельное представление перехода структурно-сложной технической системы при выполнении определенной функции в нерабочее или опасное состояние

Построим таблицу истинности для функций $f_{ij}^{отказа}(\mathbf{x}_i)$ и $f_{ij}^{опасности}(\mathbf{x}_i)$ (табл. 1).

Сравнивая первую строку со строкой под номером n из приведенной таблицы, можно сделать вывод о том, что система переходит в аварийное состояние только при определенной цепочке отказов.

Таблица 1

Таблица истинности для функций $f_{ij}^{отказа}(\mathbf{x}_i)$ и $f_{ij}^{опасности}(\mathbf{x}_i)$

№	Булевы переменные							Слой										
	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	1						2			3	
								$f_{11}^{отказа}(\mathbf{x}_1)$	$f_{11}^{опасности}(\mathbf{x}_1)$	$f_{12}^{отказа}(\mathbf{x}_1)$	$f_{13}^{отказа}(\mathbf{x}_1)$	$f_{14}^{отказа}(\mathbf{x}_1)$	$f_{14}^{опасности}(\mathbf{x}_1)$	$f_{21}^{отказа}(\mathbf{x}_2)$	$f_{22}^{отказа}(\mathbf{x}_2)$	$f_{22}^{опасности}(\mathbf{x}_2)$	$f_{31}^{отказа}(\mathbf{x}_3)$	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Окончание табл. 1

4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
8	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
9	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
11	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
13	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
15	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
16	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
19	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
21	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
23	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
24	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
25	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
27	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1
28	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
29	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
31	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
32	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
33	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
35	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
37	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
39	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
...
128	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Каждый слой полученного дерева описывается системой булевых функций. С целью обеспечения совместной (параллельной) реализации систему булевых функций удобно представлять арифметическим полиномом [6]. Согласно [7] рядом преимуществ обладает модулярный числовой полином:

$$M_i(\mathbf{x}_i) = \sum_{b=0}^{2^s-1} \psi_b x_{i_1}^{b_1} x_{i_2}^{b_2} \dots x_{i_n}^{b_n} \pmod{2^s},$$

где $(b_1 b_2 \dots b_n)_2 = \sum_{u=1}^s b_u 2^{n-u}$, $(b_u \in 0, 1)$, $x_{i_u}^{b_u} = \begin{cases} x_{i_u}, & b_u = 1, \\ 1, & b_u = 0, \end{cases}$, s – количество

булевых функций, входящих в систему, $\psi_b \in Z_{2^s}$, $(b = 0, 1, \dots, 2^n - 1)$,

На рис. 9 показано логическое дерево отказов, соответствующее логическим функциям развития отказа послойно и, соответствующие логическим функциям в этих слоях, модулярные числовые полиномы. Каждый модулярный числовой полином описывает поведение системы на каждом слое.

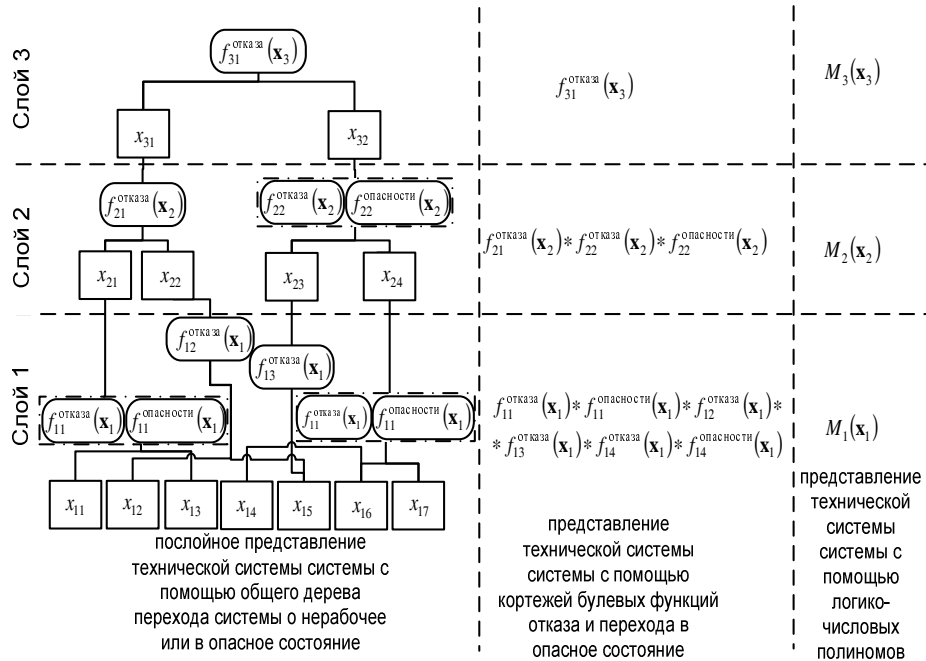


Рис. 9. Послойное параллельное представление перехода структурно-сложной технической системы при выполнении определенной функции в нерабочее или опасное состояние с помощью логико-числовых полиномов

Для приведенного на рис. 9 дерева отказов можно получить следующие логико-числовые полиномы. Для этого сопоставим выражения элементарных логических функций их арифметические эквиваленты. Так как используется базис, состоящий из \wedge и \neg , то приведем следующие соотношения:

$$x_1 \wedge x_2 = x_1 x_2,$$

$$\bar{x} = 1 - x.$$

Запишем послойно системы арифметических выражений для систем логических функций:

$$\text{слой } I \left\{ \begin{array}{l} P_{11}(\mathbf{x}_1) = f_{11}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = \bar{x}_{11} \wedge \bar{x}_{13} = (1 - x_{11})(1 - x_{13}), \\ P_{12}(\mathbf{x}_1) = f_{11}^{\text{опасности}}(\mathbf{x}_1) = x_{11} \wedge x_{13} = x_{11} x_{13}, \\ P_{13}(\mathbf{x}_1) = f_{12}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = x_{12} \wedge x_{15} = x_{12} x_{15}, \\ P_{14}(\mathbf{x}_1) = f_{13}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = \overline{x_{14} \wedge x_{15} \wedge \bar{x}_{16}} = (1 - x_{14} x_{15})(1 - x_{16}), \\ P_{15}(\mathbf{x}_1) = f_{14}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_1) = \bar{x}_{16} \wedge \bar{x}_{17} = (1 - x_{16})(1 - x_{17}), \\ P_{16}(\mathbf{x}_1) = f_{14}^{\text{опасности}}(\mathbf{x}_1) = x_{16} \wedge x_{17} = x_{16} x_{17}; \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} \text{слой 2} \quad & \begin{cases} P_{21}(\mathbf{x}_2) = f_{21}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_2) = x_{21} \wedge x_{22} = x_{21}x_{22}, \\ P_{22}(\mathbf{x}_2) = f_{22}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_2) = \bar{x}_{23} \wedge \bar{x}_{24} = (1-x_{23})(1-x_{24}), \\ P_{23}(\mathbf{x}_2) = f_{22}^{\text{опасности}}(\mathbf{x}_2) = x_{23} \wedge x_{24} = x_{23}x_{24}; \end{cases} \\ \text{слой 3} \quad & \begin{cases} P_{31}(\mathbf{x}_3) = f_{31}^{\text{отказа}}(\mathbf{x}_3) = \bar{x}_{31} \wedge \bar{x}_{32} = (1-x_{31})(1-x_{32}). \end{cases} \end{aligned}$$

Умножим послойно полученные выражения на соответствующие им веса: $2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^n$ (n – количество логических функций, входящих в системы логических функций на каждом слое):

$$\begin{aligned} \text{слой 1} \quad & \begin{cases} P'_{11}(\mathbf{x}_1) = 2^1((1-x_{11})(1-x_{13})), \\ P'_{12}(\mathbf{x}_1) = 2^2(x_{11}x_{13}), \\ P'_{13}(\mathbf{x}_1) = 2^3(x_{12}x_{15}), \\ P'_{14}(\mathbf{x}_1) = 2^4((1-x_{14}x_{15})(1-x_6)), \\ P'_{15}(\mathbf{x}_1) = 2^5((1-x_{16})(1-x_{17})), \\ P'_{16}(\mathbf{x}_1) = 2^6(x_{16}x_{17}); \end{cases} \\ \text{слой 2} \quad & \begin{cases} P'_{21}(\mathbf{x}_2) = 2^1(x_{21}x_{22}), \\ P'_{22}(\mathbf{x}_2) = 2^2((1-x_{23})(1-x_{24})), \\ P'_{23}(\mathbf{x}_2) = 2^3(x_{23}x_{24}); \end{cases} \\ \text{слой 3} \quad & \begin{cases} P'_{31}(\mathbf{x}_3) = 2^1((1-x_{31})(1-x_{32})). \end{cases} \end{aligned}$$

Получим логико-числовые полиномы $D_i(\mathbf{x}_i)$ для каждого i -го слоя путем суммирования коэффициентов арифметического полинома $P'_{ij}(\mathbf{x}_i)$ для всех $j=1, 2, \dots, n$ по каждому слою i .

$$D_1(\mathbf{x}_1) = 8x_{14}x_{15}x_{16} + 3x_{11}x_{12} + 4x_{12}x_{15} - 8x_{14}x_{15} + 12x_{16}x_{17} - x_{11} - x_{13} - 24x_{16} - x_{17},$$

$$D_2(\mathbf{x}_2) = x_{21}x_{22} + 6x_{23}x_{24} - 2x_{23} - 2x_{24} + 2,$$

$$D_3(\mathbf{x}_3) = x_{31}x_{32} - x_{31} - x_{32}.$$

Перейдем к модулярным логико-числовым полиномам:

$$M_1(\mathbf{x}_1) = 8x_{14}x_{15}x_{16} + 3x_{11}x_{12} + 4x_{12}x_{15} + 56x_{14}x_{15} + 12x_{16}x_{17} + 63x_{11} + 63x_{13} + 40x_{16} + 63x_{17} \pmod{2^6},$$

$$M_2(\mathbf{x}_2) = x_{21}x_{22} + 6x_{23}x_{24} + 6x_{23} + 6x_{24} + 2 \pmod{2^3},$$

$$M_3(\mathbf{x}_3) = x_{31}x_{32} + x_{31} + x_{32} \pmod{2^1}.$$

Вероятность отказа системы при выполнении определенной функции связана со значениями числовых модулярных полиномов в каждом слое. При изменении структуры системы происходит переопределение логико-числовых полиномов и пересчет их значений при изменении структуры технической системы (рис. 10).

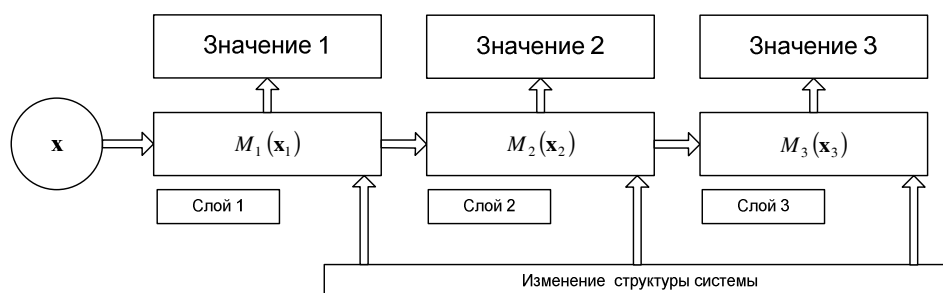


Рис. 10. Переопределение логико-числовых полиномов и пересчет их значений при изменении структуры технической системы

На рис. 11. представлена система логико-числовых полиномов для системы деревьев отказов подсистемы защиты информации при различных угрозах.

В статье рассмотрены положения, связанные с мониторингом структурно-сложных систем. Предлагаемые логико-числовые модели являются основой математического обеспечения для систем мониторинга, основными преимуществами которого будут учет изменений в структуре системы, возможность выявления отказов технических систем на ранних стадиях зарождения отказов, уменьшение времени между зарождением отказа и его предотвращением.

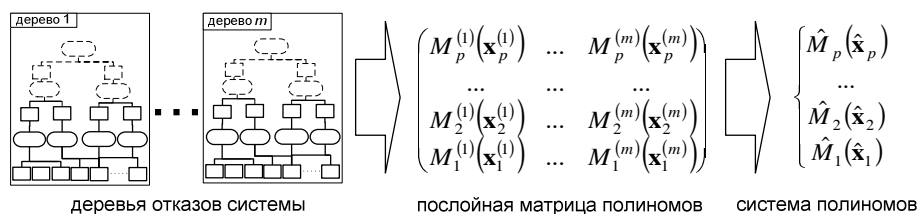


Рис. 11. Представление системы деревьев отказа структурно-сложной технической системы с помощью системы логико-числовых полиномов (здесь p – количество слоев в деревьях, m – количество деревьев)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Многоуровневое регулирование и обеспечение безопасности // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – С. 74-86.
2. Марюхненко В.С., Комогорцев М.Г., Трускова Т.В. Пути предотвращения критических состояний на транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – С. 96-102.
3. Василец В.И. Автоматизированный контроль и диагностирование технического состояния системы комплексной безопасности функционально опасного предприятия // Системы безопасности. – 2008. – № 4.
4. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М., 1996. – 276 с.
5. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
6. Малюгин В.Д. Параллельные логические вычисления посредством арифметических полиномов. – М.: Наука. Физматлит, 1997.
7. Финько О.А. Модулярная арифметика параллельных логических выражений: Монография / Под ред. В.Д. Малюгина. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2003. – 224 с.

8. Шарай В.А., Андриуца М.В., Финько О.А. Мониторинг состояния надежности безопасности структурно-сложных систем на основе логико-числовых моделей // Труды Международной научно-практической конференции «Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях» АИТА-2011. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011. – С. 601- 612.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор О.А. Финько.

Шарай Вячеслав Александрович:

Кубанский государственный технологический университет.

E-mail: wsharay@gmail.com.

350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2А.

Тел.: +79298244416.

Аспирант.

Бурангулова Ольга Сергеевна

E-mail: superleka@rambler.ru.

Тел.: +79186702809.

Аспирантка.

Андриуца Максим Васильевич

ООО «Краснодаррегионгаз».

E-mail: alggaz@kubanol.ru.

353475, г. Геленджик, ул. Грибоедова, 60 А.

Тел.: 89886029541.

Начальник участка.

Sharaj Vyacheslav Aleksandrovich

Kuban State Technological University.

E-mail: wsharay@gmail.com.

2A, Moscow Street, Krasnodar, 350072, Russia.

Phone: +79298244416.

Postgraduate Student.

Burangulova Olga Sergeevna

E-mail: superleka@rambler.ru.

Phone: +79186702809.

Postgraduate Student.

Andriutsa Maxim Vasilevich

Open Company "Krasnodarregiongaz".

E-mail: alggaz@kubanol.ru.

60 A, Griboedov's Street, Gelendzhik, 353475, Russia.

Phone: +79886029541.

Chief of a Site.

УДК 004.056; 004.8

М.И. Тенетко, О.Ю. Пескова

АНАЛИЗ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассматриваются различные методы анализа рисков информационной безопасности, выделяются их особенности и недостатки. Сделан вывод, что наиболее эффективными из рассмотренных являются качественные методы. Предложен метод анализа рисков информационной безопасности на основе нечётких предикатов и нечёткого логического вывода,