

*Опубликован:* Можяев А.С. Универсальный графоаналитический метод, алгоритм и программный модуль построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем. // Труды Международной научной школы: "Моделирование и анализ безопасности, риска в сложных системах" (МА БР – 2003). СПб.: СПбГУАП, 2003, С.101-110. **Зарегистрирован:** Библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем и многочленов вероятностных функций (ЛОГ & ВФ). СВИДЕТЕЛЬСТВО № 2003611100 об официальной регистрации программ. Авторы: Можяев А.С., Гладкова И.А. Правообладатель: Можяев А.С. М.: Роспатент РФ, 2003.

## **УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД, АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПОСТРОЕНИЯ МОНОТОННЫХ И НЕМОНО- ТОННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМ**

Можяев Александр Сергеевич  
ОАО «СПИК СЗМА»  
Alexander\_Mozhaev@szma.com

### Аннотация

Рассмотрены основные положения графоаналитического метода определения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности структурно сложных систем. Приведен обобщенный алгоритм графоаналитического метода и пример построения немонотонной логической последовательности функции безопасности системы. Дана характеристика библиотеки программных модулей автоматического построения логических и вероятностных математических моделей, используемая в программных комплексах автоматизированного структурно-логического моделирования.

### Ключевые слова

Общий логико-вероятностный метод, логическая функция работоспособности системы, программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования, надежность, живучесть, безопасность, риск.

Алгебра логики давно и успешно используется в различных методах структурного анализа сложных системных объектов и процессов [1-31]. Ее главное предназначение заключается в строго формализованном описании структур и аналитическом представлении сложных событий, характеризующих исследуемые свойства системы, например, безотказность, готовность, безопасность, эффективность или риск функционирования. В последние годы аппараты логического моделирования приобрели особую значимость, поскольку на их основе удалось автоматизировать сложные и громоздкие процессы построения различных математических моделей систем большой размерности и высокой структурной сложности [5, 6, 13, 15, 17-23, 26, 29, 30].

В логико-вероятностном моделировании применяются графические и аналитические средства алгебры логики. В качестве графических средств логического описания структур систем широкое распространение получили схемы последовательно-параллельные соединения элементов (вершин), деревья отказов и событий [1-8] и графы связности [8-11]. Главной особенностью указанных графических средств является частичное использование возможностей алгебры логики в функционально не полном базисе только двух логических операций "И" и "ИЛИ". Это обеспечивает построение подкласса так называемых монотонных логико-вероятностных моделей исследуемых систем [9, с.33].

Начиная с 1982 г. [12-14] в автоматизированном логико-вероятностном моделировании начинает применяться новый общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) и специализированное графическое средство описания структур систем, названное схемой функциональной целостности (СФЦ) [12- 31]. Главной особенностью ОЛВМ и СФЦ является реализация всех возможностей основного аппарата моделирования алгебры логики в базисе функционально полного набора операций "И", "ИЛИ" и "НЕ".

Это позволяет с помощью ОЛВМ, СФЦ и соответствующих программных комплексов ставить и решать как все известные задачи классических монотонных логико-вероятностных методов, так и принципиально-новые задачи системного анализа, основанные на построении немонотонных моделей сложных системных объектов и процессов. Немонотонные модели необходимы, например, для оценки живучести, безопасности, эффективности, риска функционирования и технико-экономического обоснования проектов сложных систем.

Центральное место в теории логико-вероятностного моделирования занимают методы, алгоритмы и программы автоматического построения логических функций работоспособности (ФРС) исследуемых системных объектов и процессов [9-11, 14, 22, 25]. В общем случае решение задачи определения ФРС в ОЛВМ разделяется на два последовательных этапа:

1. Разработки СФЦ исследуемой системы и задания логических критериев ее функционирования (ЛКФ);
2. Построения на основе этих данных логической функции работоспособности системы путем отыскания решения системы логических уравнений, соответствующего СФЦ и ЛКФ исследуемой системы.

На первом этапе определения логической ФРС осуществляется разработка СФЦ исследуемой системы с помощью совокупности изобразительных средств, приведенных на рис.1.

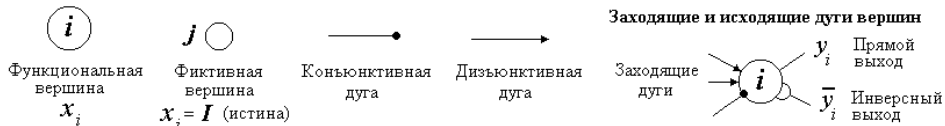


Рис.1. Изобразительные средства схем функциональной целостности

Особенностью аппарата СФЦ, отличающей его от других структурных схем логического моделирования, является возможность использования на выходе каждой вершины не только прямой исходящей дуги (прямого выхода)  $y_i$ , но и второй, инверсной исходящей дуги (инверсного выхода)  $\bar{y}_i$  (см. рис.1). Математическая сущность графической логики СФЦ заключается в том, что условия реализации прямого и инверсного выходов (говорят, прямой и инверсной интегративных функций  $y_i, \bar{y}_i$ ) отдельной вершины  $i$  точно и однозначно определяется соответствующим логическим уравнением. На рис.2 приведены простейшие типовые фрагменты СФЦ.

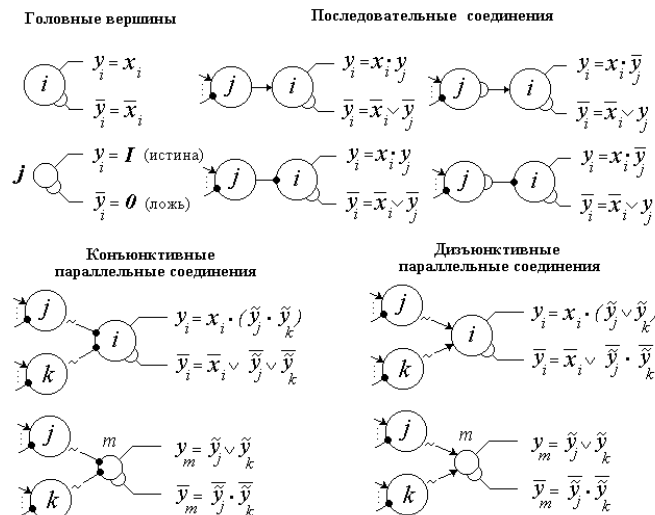


Рис.2. Типовые фрагменты СФЦ и их логические уравнения

Как видно из рис.2, правая часть логического уравнения в общем случае включает в себя простую логическую переменную ( $x_i = \{x_i, \bar{x}_i\}$ ), представляющую состояние соответствующего элемента  $i$  системы, и логическую функцию обеспечения (ФО) реализации данным элементом его функции (прямого выхода  $i$ -ой вершины). На графе СФЦ логическая ФО задается с помощью дизъюнктивных и конъюнктивных заходящих дуг ( $y_j, y_k, \dots, y_l$ ), которые исходят из других, говорят - обеспечивающих вершин.

Все данные об аппарате СФЦ, приведенные на рис.1 и рис.2 могут быть представлены обобщенным фрагментом и соответствующими базовыми логическими уравнениями, которые приведены на рис.3.

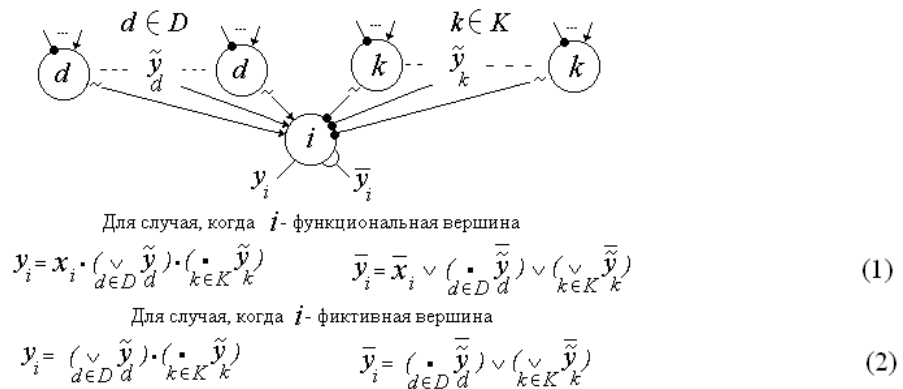


Рис.3. Обобщенный фрагмент и базовые логические уравнения СФЦ

К настоящему времени накоплен значительный практический опыт структурного описания различных систем с помощью аппарата СФЦ и отработаны методические основы их построения в различных предметных областях [14, 16, 21-24]. В работах [28, 31] приведены примеры успешного решения с помощью СФЦ, ОЛВМ и программных комплексов АСМ [26, 30] задач, рассматриваемых в различных существующих, монотонных методах, технологиях и программных комплексах, основанных на деревьях отказов, деревьях событий, графах связности и т.д. (например, [1-3]).

Возможности решения с помощью ОЛВМ, СФЦ, технологии и программных комплексов АСМ нового класса задач немонотонного логического моделирования рассмотрим на упрощенном варианте известного примера анализа безопасности участка железной дороги [24, 26]. Вариант СФЦ безопасности участка железной дороги и соответствующая система логических уравнений приведены на рис.4.

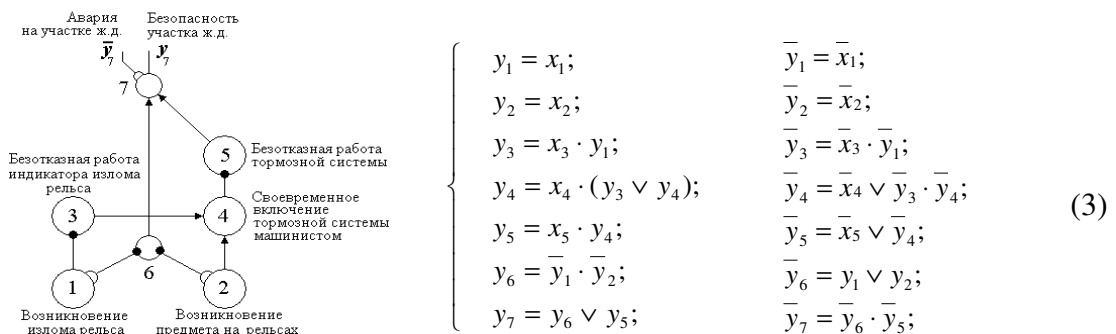


Рис.4. Упрощенная СФЦ структурной модели безопасности участка железной дороги

СФЦ, изображенная на рис.4, эквивалентна система логических уравнений (3), описывают условия реализации и не реализации интегративных функций на прямых и инверсных выходах всех функциональных вершин (элементов) и выделенных с помощью фиктивных вершин подсистем исследуемого объекта. Прямой выход  $y_7$  фиктивной вершины 7 определяет критерий безопасности (отсутствия аварии), а инверсный выход  $\bar{y}_7$  определяет критерий возникновения аварии на рассматриваемом участке железной дороги:

$$Y_{\text{безопасности}} = y_7; \quad (4)$$

$$Y_{\text{аварии}} = \bar{y}_7. \quad (5)$$

Задание ЛКФ (4) и (5) конкретизирует постановку задачи логического моделирования свойства безопасности исследуемой системы в целом.

В ходе реализации второго этапа определения логических ФРС осуществляется поиск решений системы логических уравнений (3), которое должно точно соответствовать заданным ЛКФ (4), (5) исследуемой системы. В 1983 г. автором был разработан, а в 1985 г. полностью автоматизирован, универсальный графоаналитический метод (УГМ) алгоритм и программа "LOG" определения монотонных и немонотонных логических ФРС на основе СФЦ и ЛКФ любого вида и назначения [13]. Программный модуль "LOG" универсального графоаналитического метода является основой всех программных комплексов, реализующие технологию автоматизированного структурно-логического моделирования систем различных видов, классов и назначения [13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 26, 29, 30].

В УГМ логическая ФРС определяется путем построения специального дерева решений, состав и описание узлов которого приведены в табл.1.

Таблица 1. Виды узлов дерева решений

№ п/п	Графическое обозначение	Описание узлов дерева решений системы логических уравнений
1		<b>Исходный узел.</b> Представляет в дереве решений установленную в формируемый столбец, но не принятую к раскрытию интегративную функцию
2		<b>Раскрываемый действительный узел.</b> Представляет принятую к раскрытию интегративную функцию $Y_i$ функциональной вершины $i$ СФЦ и обозначает реализацию соответствующего собственного бинарного события.
3		<b>Раскрываемый условный узел.</b> Представляет принятую к раскрытию интегративную функцию $Y_i$ фиктивной вершины $i$ СФЦ или начальный этап раскрытия инверсной выходной функции функциональной вершины.
4		<b>Собственно раскрытый действительный узел.</b> Представляет либо головную функциональную вершину СФЦ, либо функциональную вершину, условие обеспечения которой уже реализовано в вышестоящей части формируемого столбца дерева решений.
5		<b>Собственно раскрытый условный узел.</b> Представляет либо головную фиктивную вершину СФЦ, либо фиктивную вершину, условие обеспечения которой уже реализовано в вышестоящей части формируемого столбца дерева решений.
6		<b>Раскрытый по обеспечению действительный узел.</b> Представляет функциональную вершину СФЦ, условие обеспечения которой реализовано в нижестоящей части формируемого столбца дерева решений.
7		<b>Раскрытый по обеспечению условный узел.</b> Представляет фиктивную вершину СФЦ, условие обеспечения которой реализовано в нижестоящей части формируемого столбца дерева решений.
8		<b>Смещенный узел.</b> Обозначает перенос исходного узла $i$ в нижестоящую позицию столбца дерева решений, для последующего раскрытия.

На рис.5.а.а и рис.5.а.б изображены два дерева решений системы логических уравнений (3), построенные с помощью УГМ для критериев (4) и (5).

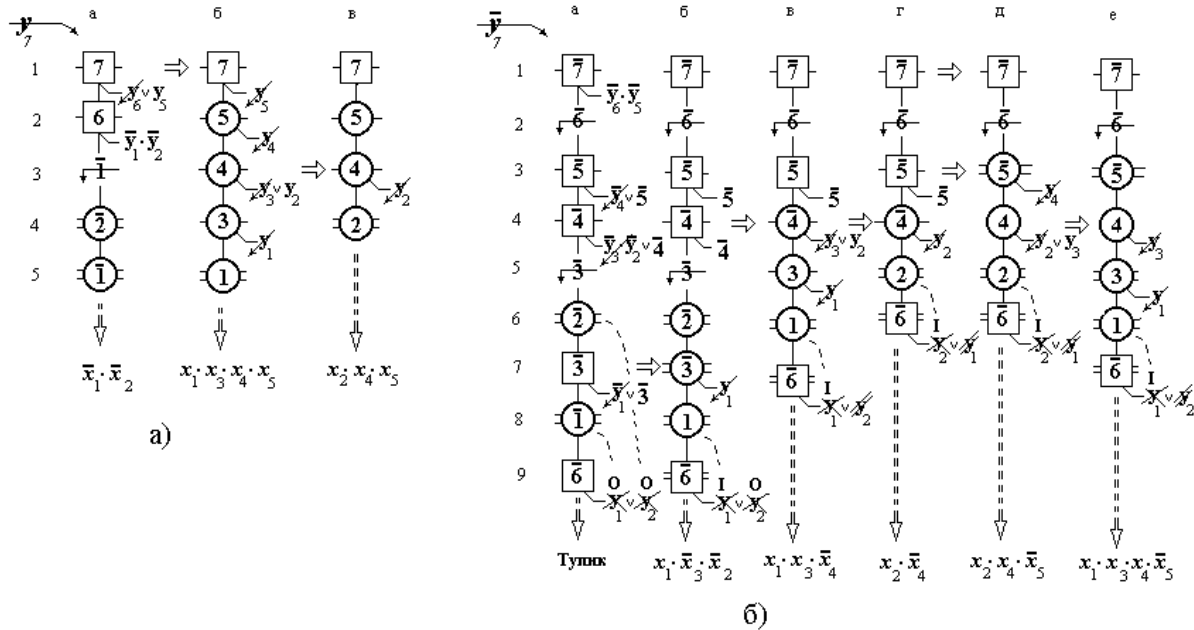


Рис.5. Примеры деревьев решений системы логических уравнений (3)

Дерево решений на рис.5.а построено для критерия  $Y_{\text{безопасности}} = y_7$  (4) и определяет логическую функцию безопасности рассматриваемого участка ж.д.:

$$Y_{\text{безопасности}} = y_7 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 \quad (6)$$

Дерево решений на рис.5.б построено по той же СФЦ на рис.4, но для противоположного критерия  $Y_{\text{аварии}} = \bar{y}_7$  (5) и определяет логическую функцию возникновения аварии:

$$Y_{\text{аварии}} = \bar{y}_7 = x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 \quad (7)$$

Основные положения графоаналитического метода и программы можно представить в виде укрупненного алгоритма универсальной процедуры определения логических ФРС.

*Укрупненный алгоритм универсального графоаналитического метода и машинной программы "LOG" определения логических ФРС*

НАЧАЛО алгоритма

1. *Обработка ЛКФ.* Из ЛКФ очередная слева конъюнкция интегративных функций  $y_i$  переписывается в очередной новый столбец дерева решений, в виде последовательности исходных узлов (см. табл.1, п.1), и далее выполняется п.2. Если в ЛКФ конъюнкций больше нет, то построение дерева решений завершено и осуществляется переход к п. 9 алгоритма.

2. *Формирование функции обеспечения.* В столбце дерева решений первый снизу исходный узел принимается к раскрытию и обводится кружком или квадратом (см.табл.1, п.2, 3). На ответвлении узла записывается функция обеспечения (ФО). Для головных вершин СФЦ ФО считается равной I (логической единице). Для принятых к раскрытию прямых интегративных функций  $y_i$ , ФО включает в себя правые части ло-

гических уравнений (1), без простых переменных  $x_i$  (см., например, рис.5.а, фрагменты дерева а.1, а.2, б.3). Для принятых к раскрытию инверсных интегративных функций  $\bar{y}_i$ ; функциональных вершин СФЦ, признак собственной инверсии записывается в ФО последним справа (см., например, рис.5.б, фрагменты а.4, а.7).

3. *Обработка функции обеспечения.* Все составляющие ФО проверяются на цикличность, раскрытость и логические противоречия по правилам, которые соответствуют законам алгебры логики, способам учета групп несовместных событий и логических последовательностей. В ходе проверки циклические и противоречивые интегративные функции  $y_i$  в ФО заменяются логическими нулями (см. рис.5.б, фрагменты а.9, б.9).

Раскрытые интегративные функции  $y_i$  в ФО заменяются логическими единицами (см. рис.5.б, фрагменты б.9, в.7, г.6, д.6, е.7). Затем ФО преобразуется по законам алгебры логики. Если ФО стала равна логическому нулю (см. рис.5.б, фрагмент а.9), то построение столбца прекращается (ситуация "Тупик") и осуществляется переход к п.8. алгоритма. Если ФО стала равной логической единице, то раскрываемый узел дерева решений переводится в собственно раскрытый (см. табл.1, п.4, 5) и далее выполняется п.5. алгоритма. Во всех других случаях переходим к п.4. алгоритма.

4. *Смещение конъюнкции ФО.* Из ФО выбирается первая слева конъюнкция интегративных функций  $y_i$  и переписывается в конец текущего столбца дерева решений, в виде последовательности исходных узлов (на рис.5.а и рис.5.б все смещаемые конъюнкции перечеркнуты стрелками). Далее выполняется п.2 алгоритма (главный цикл).

5. *Преобразование столбца по собственно раскрытому узлу.* Все вышестоящие узлы столбца последовательно (снизу вверх) преобразуются по следующим правилам. Собственно раскрытые, раскрытые по обеспечению и смещенные узлы (см. табл.1) пропускаются. Принятые к раскрытию действительные и условные узлы переводятся в раскрытые по обеспечению (см. табл.1, п.6, 7). Если преобразована вся вышестоящая часть столбца, то построение очередной конъюнкции ФРС завершено и переходим к п.7. Если в процессе преобразования встретился исходный узел, то далее выполняется п.6.

6. *Обработка исходного узла.* Если нижний собственно раскрытый узел столбца соответствует головной вершине СФЦ, то встретившийся исходный узел зачеркивается угловой стрелкой (см. табл.1, п. 8) и переписывается в нижнюю часть текущего столбца дерева решений (см. рис.5.а, фрагмент а.3). Затем выполняется п.2. алгоритма. Если же нижний собственно раскрытый узел столбца инверсирован и не соответствует головной вершине СФЦ, то (при необходимости учета последовательностей) для этого узла формируется прямая ФО (см. рис.5.б, фрагменты в.4, д.3) и далее переходим к п.3.

7. *Считывание конъюнкции.* Сформированная в столбце очередная конъюнкция исковой ФРС содержит логические переменные, номера которых указаны к действительных узлах (см. табл.1 п. 4, 6). Если эти конъюнкции переписать из столбца упорядоченно (снизу вверх), то в них будет сохранена информация о логических условиях реализации ЛКФ и реальных последовательностях элементарных событий. На рис.5.а и рис.5.б под каждым столбцом записаны (см пунктирные стрелки вниз) упорядоченные конъюнкции ФРС безопасности и аварии. Далее выполняется п. 8.

8. *Поиск ответвлений.* Узлы текущего столбца дерева решений просматриваются последовательно, снизу вверх. Те узлы, у которых нет ФО, удаляются и, соответственно, восстанавливаются предыдущие уровни раскрытия узлов вышестоящей части столбца. Если удалены все узлы (ответвлений не найдено), то переходим к п.1. алгоритма. Если обнаружено первое снизу ответвление (на рис.5.а и рис.5.б они отмечены горизонтальными стрелками направо), то переходим к п. 4 алгоритма.

9. *Преобразование ФРС.* Выполняются преобразования полученной ФРС в целях ее приведение к форме, удобной для дальнейшего применения (например, учитывающей

наличие ГНС, логических последовательностей, начальное состояние системы, бесповторной, ортогональной, представляющей марковские состояния системы и т.п.).  
КОНЕЦ алгоритма

Универсальный графоаналитический метод решения систем логических уравнений и определения монотонных и немонотонных логических ФРС, является одной из самых сложных процедур ОЛВМ. На его разработку и первую программную реализацию потребовалось около пяти лет. В настоящее время УГМ позволяет реализовать в ОЛВМ и программных комплексах АСМ все возможности основного аппарата моделирования алгебры логики в функционально полном базисе операций "И", "ИЛИ" и "НЕ". Дальнейшее развитие УГМ позволило расширить границы логико-вероятностного анализа и решить ряд новых задач автоматизированного моделирования. Наиболее перспективные из них следующие.

1. В ОЛВМ и ПК АСМ удалось выйти за границы классической алгебры логики и учесть в автоматически формируемых моделях стохастические зависимости и элементы с множественными состояниями, представляемые с помощью групп несовместных событий (ГНС). При этом основные изменения законов алгебры логики, необходимые для учета ГНС составляют [32, 16]:

$$x_l \cdot x_k = O; \quad \bar{x}_l \vee \bar{x}_k = I; \quad \bar{x}_l \cdot x_k = x_k; \quad x_l \vee \bar{x}_k = \bar{x}_k. \quad (8)$$

2. Разработаны методы представления и расчета вероятностей любых последовательностей отказов элементов в логико-вероятностных моделях надежности систем. Основная расчетная формула вероятности заданной последовательности отказов  $m$  элементов из общего их числа  $H$  составляет [33, 16]

$$P\{\Omega_{m/H}\} = \prod_{k=0}^m \lambda_{ik} \left[ \sum_{j=1}^{m+1} \frac{\exp(-\sum_{q=j}^{H+1} \lambda_{iq} t)}{\prod_{v=1}^{m+1} \begin{cases} 1, & \text{при } v = j; \\ \sum_{\gamma=v}^{H+1} \lambda_{i\gamma} - \sum_{\delta=j}^{H+1} \lambda_{i\delta}, & \text{при } v \neq j \end{cases}} \right] \quad (9)$$

3. На уровне логического моделирования в УГМ автоматизированы процессы построения нескольких видов математических моделей систем: аналитических (КПУФ, МСО и их немонотонные комбинации), статистических [34] (автор Алексеев А.О.), Марковских [32, 35], и комбинаторно-последовательных (сетевых) [35, 26].

Продолжается развитие и адаптация методов и программных средств технологии АСМ к различным предметным областям системных исследований. Создана библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических ФРС и многочленов вероятностных функций большой размерности (ЛОГ & ВФ) [29] широкого применения. На основе этой библиотеки уже разработан и используется в ОАО "СПИК СЗМА" первый промышленный программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования (ПК АСМ СЗМА) [30]. Сведения об основных характеристиках и опыте применения ПК АСМ СЗМА приведены на сайте компании: <http://www.szma.com/>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Издательство стандартов, 2002. – 22 с.

2. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Серия 03. Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Выпуск 10. М.: ГУП "НТЦ ПБ" Госгортехнадзора России, 2001. – 60 с.
3. Э.Дж.Хенли, Х.Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984.
4. Швыряев Ю.В. и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения. М.: ИАЭ им. И.В.Курчатова, 1992. –266 с.
5. Программный комплекс Risk Spectrum вероятностного анализа надежности и безопасности систем. Разработан Шведской фирмы Relcon АВ. Форма исходной структурной схемы системы – дерево отказов. Данные получены из Internet, сайт <http://www.riskspectrum.com>.
6. Проект "РИСК" - код для вероятностного анализа безопасности. Отраслевой центр Минатома России по расчетным кодам для АЭС и реакторных установок. Москва, 2003. Данные получены из Internet, сайт: <http://www.ocrk.miatom.ru/rus/progects /risk/risk.htm>
7. Рябинин И.А. Концепция логико-вероятностной теории безопасности технических систем. // Судостроительная промышленность. Серия: Системы автоматизации проектирования, производства и управления. Вып.21, 1991, с. 15-22.
8. Рябинин И.А. Надежность и безопасность сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
9. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981.
10. Рябинин И.А., Парфенов Ю.М. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем. Учебник. СПб. ВМА, 1997. – 432 с.
11. Китушин В.Г. Определение логической функции работоспособности электрической системы. Электричество. Вып.11, 1976.
12. Можаяев А.С. Логико-вероятностных подход к оценке надежности автоматизированных систем управления. Представлена ВМА им. Гречко А.А. Депонирована п/я А-1420 N Д04750, 1982. -24 с.
13. Можаяев А.С. Программный комплекс автоматизированного логико-вероятностного моделирования систем на ЕС ЭВМ. Приложение к диссертации. Л.: ВМА, 1983-1985.
14. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч.пос. Л.: ВМА, 1988. -68с.
15. Можаяев А.С. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования на СМ ЭВМ (ПК АСМ версия 2.0). Л.: ВМА, 1990.
16. Черкесов Г. Н., Можаяев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем. В кн. Надежность и качество изделий. М.: Знание, 1991, с.34-65.
17. Можаяев А.С. Учебно-методическое пособие по автоматизированному структурно-логическому моделированию и расчету показателей надежности, живучести и безопасности систем на персональных ЭВМ. СПб.: ВМА, 1991. -98 с.
18. Алексеев А.О., Ершов Г.А., Можаяев А.С. и др. Автоматизированное структурно-логическое моделирование и количественный анализ надежности, живучести, безопасности, эффективности сложных организационно-технических систем. (Комплекс методик для ПЭВМ и ЭВМ). СПб.: ВМА, ВВМИУ им. Ф.Э. Дзержинского, 1991. -141 с.
19. Можаяев А.С., Алексеев А.О. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования (ПК АСМ версия 5.0). Л.: ВМА, 1993.



20. Можаяев А.С., Ершов Г.А., Татусьян О.В. Автоматизированный программный комплекс для оценки надежности систем. ПК АСМNEW, версия 2.01. Л.: ВВМИУ им. Ф.Э.Дзержинского, 1994.
21. Конев В.П., Можаяев А.С. Программный комплекс автоматизированного проектирования радиоэлектронной защиты систем ВМФ. Учебно-методическое пособие. СПб.: ВВМУРЭ им А.С.Попова, ВМА, 1996. -49 с.
22. Mozhaev A.S. Theory and practice of automated structural-logical simulation of system. International Conference on Informatics and Control (ICI&C'97). Tom 3. St.Petersburg: SPIRAS, 1997, p.1109-1118.
23. Можаяев А.С., Алексеев А.О., Сорокин Р.П. Методика автоматизированного логико-вероятностного моделирования систем. (Программный комплекс "ПК АСМ, версия 5.0"). СПб.: ВМА, 1999, -121 с.
24. Антонов Г.А., Можаяев А.С. О новых подходах к построению логико-вероятностных моделей анализа безопасности структурно-сложных систем. Журнал "Проблемы безопасности" Вып.9, 1999, с.14-27.
25. Можаяев А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. СПб. ВИТУ, 2000. –145 с.
26. Можаяев А.С. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем (ПК АСМ 2001). // Труды Международной Научной Школы 'Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах' (МА БРК – 2001). СПб.: Издательство ООО 'НПО 'Омега', 2001, с.56-61. Свидетельство об официальной регистрации № 2003611099. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.
27. Можаяев А.С. Программные средства автоматизированного моделирования и оценки надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования. // Доклад на Практической конференции ПО Киришинефтеоргсинтез 02-06 декабря 2002 г. "Промышленная безопасность – взгляд в будущее. Современные подходы к оценке безопасности и надежной эксплуатации опасных производственных объектов (проектирование, эксплуатация, изготовление технических устройств, экспертиза)". СПб.: Электронный научно-технический журнал "Промышленная безопасность труда" № 6, 2002. Сайт: <http://www.alf-center.com/pbt/magazine6/mozhaev.shtml> .
28. Нозик А.А., Можаяев А.С. Методические основы автоматизированного моделирования и расчета надежности и безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами. М.: НТЦ "Промышленная безопасность", 2002. Сайт [http://safety.fromru.com/soft/PK\\_ASM/article/mozhaev.htm](http://safety.fromru.com/soft/PK_ASM/article/mozhaev.htm).
29. Можаяев А.С., Гладкова И.А. Библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем и многочленов вероятностных функций (ЛОГ & ВФ). Свидетельство об официальной регистрации № 2003611100. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.
30. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования (ПК АСМ СЗМА). Техническая документация. СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2003. Internet, сайт: <http://www.szma.com/>. Свидетельство об официальной регистрации № 2003611101. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.
31. Можаяев А.С. Программные средства автоматизированного моделирования и оценки надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования. Электронный научно-технический журнал "Промышленная безопасность труда" №6 2003, [www.alf-center.com](http://www.alf-center.com).
32. Можаяев А.С. Современное состояние и некоторые направления развития логико-вероятностных методов анализа систем. Часть-I. В сб.: Теория и информационная тех-

- нология моделирования безопасности сложных систем. Вып.1. Под редакцией И.А. Рябина. Препринт 101. СПб.: ИПМАШ РАН, 1994, с.23-53.
33. Можаяев А.С. Учет временной последовательности отказов элементов в логико-вероятностных моделях надежности систем. В кн. Надежность систем энергетики. Межвузовский сборник. Новочеркасск: НПИ, 1990, с.94-103.
34. Можаяев А.С., Алексеев А.О. Автоматизированное структурно-логическое моделирование и вероятностный анализ сложных систем. В сб. 1: "Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем". Вып.2. Под редакцией И.А.Рябина. Препринт 104. СПб.: ИПМАШ РАН, 1994, с.17-42.
35. Можаяев А.С. Технология автоматизации процессов построения логико-вероятностных моделей систем. Труды Международной научной конференции "Интеллектуальные системы и информационные технологии в управлении". ИСИТУ-2000,IS@ITC. Псков: ППИ, 2000, с.257-262.
36. Можаяев А.С., Алексеев А.О. Автоматизированное структурно-логическое моделирование и вероятностный анализ сложных систем. В сб. 1: "Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем". Вып.2. Под редакцией И.А.Рябина. Препринт 104. СПб.: ИПМАШ РАН, 1994, с.17-42.