На правах рукописи

ТЮРИН
Михаил Вячеславович

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

05.13.13 – телекоммуникационные системы
и компьютерные сети

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2008

Работа выполнена на кафедре вычислительных машин, систем и сетей (каф. 304) Московского авиационного института (государственного технического университета).

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
БРЕХОВ Олег Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
старший научный сотрудник
ВОРОБЬЕВ Альберт Анатольевич

доктор технических наук, профессор
БОГОМОЛОВ Алексей Валерьевич

Ведущая организация: Институт Проблем Передачи Информации
им. А. А. Хариевича (ИППИ) РАН

Защита состоится 27 октября 2008 г. в 14 час. на заседании диссертационного совета Д 212.125.01 при Московском авиационном институте (техническом университете) по адресу: 125993, г.Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАИ.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 125993, г.Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4., Ученый совет МАИ.

Автореферат разослан 23 сентября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.01
доктор технических наук, профессор Г. Ф. Хахулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время происходит бурное развитие технологий производства и применения вычислительных систем и компонентов. Это неизбежно приводит к интенсивному совершенствованию телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) и их широкому внедрению во все сферы человеческой деятельности. Одновременно с этим, массовое использование ТСКС потребовало решения вопросов повышения качества функционирования на каждом этапе жизненного цикла, связанном с решением производственных задач.

Одним из важнейших факторов, определяющих качество функционирования ТСКС, является их живучесть. Понятие *"живучесть" (vitality)* [ГОСТ Р 50922-96] характеризует способность ТСКС выполнять свои основные функции, несмотря на происходящие сбои, отказы (аппаратные или программные), изменения характеристик функционирования ТСКС и влияние деструктивных воздействий. Под деструктивными воздействиями (угрозами) в диссертационной работе понимаются категории внешних и внутренних факторов, реализация которых способна нанести ущерб как аппаратной, так и программной составляющим ТСКС.

В последнее десятилетие наблюдается увеличение числа исследовательских работ, связанных с созданием новых методов и средств оценки живучести. Эти методы и средства позволяют оценивать живучесть ТСКС на основе накопленных исторических данных (опыта использования ТСКС). *Исторические данные (history)* представляют собой множество параметров функционирования ТСКС, а также совокупность описания ситуаций, вызванных внешними деструктивными воздействиями, с указанием величины и масштабов причиненного ущерба на прошедших этапах жизненного цикла. В случае неполноты исторических данных (их нечеткости) о влиянии деструктивных воздействий на живучесть как всей ТСКС, так и отдельных её программных или аппаратных компонентов, а также стоимости причиненного ущерба, существующие методы не способны обеспечить необходимую достоверность оценки живучести.

Под свойствами *неопределенности* (нечеткости) сведений о функционировании ТСКС понимается такое состояние исторических данных, когда их значения нельзя считать детерминированными по причине того, что вероятности неизвестны с достаточной степенью достоверности. В полной мере это свойство проявляется на начальных этапах жизненного цикла, так как на этих этапах накоплено неполное количество исторических данных, требуемых для принятия достоверных экспертных оценок.

Поэтому решение задачи повышения достоверности экспертных оценок живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей на основе использования методов и средств работы с неполными (нечеткими) сведениями является актуальным для современного этапа развития телекоммуникационных систем и компьютерных сетей различного назначения.

Для устранения влияния указанных недостатков на оценку живучести ТСКС необходимо исследование и разработка новых методов и средств повышения достоверности экспертных оценок живучести при неполных (нечетких),

недостоверных исходных данных. Основными подходами для работы с неполными (нечеткими) исходными сведениями являются:

- нечеткие методы экспликации (разъяснения) результатов экспертного анализа;
- методы повышения достоверности экспертизы живучести для текущего этапа жизненного цикла ТСКС с уменьшением неопределенности в исходном описании объекта и угроз (деструктивных воздействий);
- методы и средства нечеткого имитационного моделирования изменения достоверности экспертной оценки живучести ТСКС в условиях неполноты информации с учетом текущего этапа жизненного цикла.

Диссертация опирается на результаты работ ведущих российских и зарубежных ученых: Заде Л. А, Павлова В. В, Леоненкова А. В, Алексеева А.В., Е.Е. Тимониной, Бунича А. Л., Бахтадзе Н. Н., Петренко С. А., Дэвид Ф. Марка, Клемент МакГоуэна, Барри Боэма и других.

Научная задача диссертационного исследования состоит в повышении достоверности экспертной оценки живучести ТСКС в условиях неполноты (неопределенности, нечеткости) информации, с учетом влияния особенностей текущего этапа жизненного цикла.

Цель диссертации состоит в разработке методов и средств экспертной оценки живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей, позволяющих определить, с высокой достоверностью, уровень живучести ТСКС в условиях неполноты (неопределенности, нечеткости) информации на текущем этапе жизненного цикла.

Задачи исследования.

1. Анализ существующих методов и средств повышения достоверности экспертной оценки живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла.
2. Разработка метода экспликации (разъяснения) экспертных оценок живучести ТСКС на основе принципов нечеткой логики, позволяющего адекватно учесть влияние "осведомленности" экспертов при расчете результирующей оценки живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла.
3. Повышение достоверности экспертизы живучести для текущего этапа жизненного цикла ТСКС за счет применения разработанного метода уменьшения неопределенности в исходном описании объекта и угроз (деструктивных воздействий).
4. Сокращение издержек, необходимых для накопления исторических данных в условиях неполноты (неопределенности, неточности) информации о влиянии деструктивных воздействий, с учетом текущего этапа жизненного цикла, на основе разработанных средств имитационного моделирования.

Методы исследования. При выполнении работы использовался математический аппарат теории принятия решений, теории оптимального управления, теории нечетких множеств, а также принципы и алгоритмы нечеткого вывода.

Научная новизна. В работе получены следующие новые научные результаты:

1. *Разработан метод* экспликации (разъяснения) экспертных оценок живучести ТСКС на основе применения нечетких полихроматических множеств и алгоритма нечеткого вывода Мамдани, реализуемый, в *отличие* от существующих, на ранних этапах жизненного цикла.
2. *Разработан метод* оценки влияния на достоверность экспертизы, особенностей текущего этапа жизненного цикла ТСКС на основе интерпретации модели жизненного цикла Боэма, дающей возможность представления *уровня неопределенности* исходя из определения *нечеткой мощности нечеткого множества* экспертных оценок.
3. *Разработан метод и реализовано средство* повышения достоверности экспертизы живучести для текущего этапа жизненного цикла ТСКС, на основе систем дуального управления, способные обеспечить возможность учета издержек экспертной оценки, вызванных неполнотой информации (её нечеткостью, неточностью).

Практическая значимость работы заключается:

- В повышении достоверности экспертной оценки живучести ТСКС в условиях неполноты информации за счет применения разработанной модели *экспликации экспертных оценок* живучести ТСКС на основе методов нечеткой логики и применения систем дуального управления.
- В снижении издержек по организации процессов и работ оценки живучести на текущем этапе жизненного цикла на основе, предложенного в исследовании метода реализации трехмерной спиральной модели жизненного цикла ТСКС.
- В повышении производительности работ по проведению экспертизы живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла за счет внедрения средств, созданных в среде нечеткого моделирования MATLAB, способных обеспечить автоматизацию процессов сбора и анализа исторических данных, в том числе на ранних этапах жизненного цикла ТСКС.

Реализация и внедрение. Средства повышения достоверности экспертной оценки живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) реализованы на предприятиях ООО "Ревякинский металлопрокатный завод" и ЗАО "Управляющая Холдинговая компания "Королевский трубный завод". Внедрение производилось на базе финансовых ТСКС предприятий, под целевую задачу их модернизации с помощью программных комплексов MATLAB и BPWin 4.1. Сравнение производилось на основании полученных результатов анализа и результатов аудита ранее проведенного сторонней организацией. Результатом тестирования является подтверждение эффективности предлагаемых методов, что зафиксировано в Протоколах проверки и Актах приемки-сдачи работ.

На защиту выносятся.

- Метод экспликации экспертных оценок живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) на основе методов и средств нечеткой логики.
- Модель влияния текущего этапа жизненного цикла ТСКС на достоверность экспертизы живучести на основе систем дуального управления, модели

жизненного цикла Боэма в условиях неполноты (нечеткости, неточности) информации.

- Средство повышения достоверности экспертизы живучести ТСКС в условиях неполноты информации на основе системы нечеткого моделирования.

Публикации. По основным результатам исследований опубликовано 7 печатных работ, 3 из которых - в реферируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, списка терминов и определений, четырех глав, заключения и четырех приложений. Общий объем работы составляет 143 страницы, в том числе приложения представлены на 25 страницах. Работа содержит 53 рисунка и 27 таблиц. Список литературы включает 50 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой в диссертации научно-технической проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность проведенных исследований.

В первой главе рассматриваются существующие методы повышения достоверности экспертной оценки основных технических параметров, режимов работы и характеристик входящих в понятие живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла, а также технические средства анализа рисков ведущих производителей, как *прототипы* разрабатываемых средств повышения достоверности экспертной оценки живучести, их достоинства и недостатки, а также анализируется проблематика использования в вопросах экспертизы живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла.

Рассматривается живучесть ТСКС, объединяющая в себе такие категории, как надежность, функциональность и информационная безопасность; производится анализ принципиальной схемы ТСКС с точки зрения построения живучего программно-аппаратного комплекса; осуществляется измерение основных параметров функционирования ТСКС с помощью Microsoft Windows System Resource Manager; в составе отдельного проекта определяются значения надежности ТСКС и сопоставляются полученные значения с заданными в ТЗ; в составе отдельного проекта производится построение модели угроз и нарушителей, производится анализ рисков и их сопоставление с заданным в ТЗ уровнем информационной безопасности; производится разбиение жизненного цикла проекта на последовательность итераций в виде спиральной (spiral) модели *Боэма*, которая представляет собой систему координат, движущуюся по разворачиваемой спирали, объединяющей четыре фазы, повторяющиеся на каждом новом витке времени; осуществляется реализация модели на этапе внедрения в промышленную эксплуатацию путем разбиения этапа на пять стадий:

1) стадия разработки концепции внедрения системы;
2) стадия проекта внедрения ТСКС;
3) стадия макетирования;
4) стадия первой версии рабочей ТСКС;
5) стадия готовой ТСКС.

С переходом от стадии к стадии у экспертной группы происходит накопление информации, опыта и исторических данных; достоверность экспертизы начинает возрастать, но вместе с её возрастанием изменяется и состояние живучести ТСКС. Взаимное влияние перечисленных факторов приводит к потребности коррекции результатов экспертизы.

Для обеспечения экспертизы существует множество технических средств, таких, как комплекс Digital Security Office 2006 российского производства, а также COBRA, разработки компании C & A Systems Security Ltd., RA Software Tool, средства разработки компании RiskWatch. В основе рассмотренных программных комплексов лежат статистические и вероятностные методы, требующие большого количества исторических данных о работе ТСКС. В условиях неполноты информации рассмотренные средства оказываются неэффективными.

Обобщая вышесказанное, при рассмотрении задач оценки живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) в условиях неполноты информации с учетом текущего этапа жизненного цикла необходимо выделить факторы, оказывающие на достоверность экспертной оценки непосредственное влияние:

- неполнота исторических данных измерений основных параметров функционирования ТСКС на различных режимах работы (видах трафиков);
- неполнота исторических данных о надежности аппаратных компонентов и функциональности программных средств ТСКС;
- риски информационной безопасности ТСКС;
- особенности текущего этапа жизненного цикла и его стадий.

Для успешного решения вышеперечисленных проблем, представляется целесообразным рассмотрение ряда вопросов, среди которых можно выделить следующие:

- рассмотрение существующих методов оценки живучести ТСКС;
- экспликация (разъяснение) экспертных оценок живучести ТСКС в условиях неполноты исторических данных на текущем этапе жизненного цикла ТСКС;
- разработка модели жизненного цикла для условий неполноты информации;
- разработка модели обеспечения достоверности экспертизы живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла (этапе внедрения в промышленную эксплуатацию) в виде нахождения погрешности экспертных оценок;
- имитационное моделирование проведения экспертизы живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла за счет применения модели, созданной в среде MATLAB, способной обеспечить процессы сбора и анализа исторических данных, в том числе о предельных режимах работы ТСКС.

Во второй главе разрабатывается метод экспликации экспертных оценок живучести ТСКС, реализующий возможность разъяснения точки зрения экспертов на объект исследования и учитывающий разброс их мнений. В его основе лежит определение комплексных показателей живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) на основе логико-лингвистических методов оценки, нечетких полихроматических множеств, применяемых в условиях неполноты

информации, оказывающей влияние на достоверность экспертной оценки живучести ТСКС на текущем этапе жизненного цикла.

Применение для оперирования с неопределенными величинами аппарата теории вероятности приводит к тому, что фактически неопределенность, независимо от ее природы, отождествляется со случайностью, между тем как основным источником неопределенности во многих процессах принятия решений является нечеткость (неточность), или расплывчатость *(fuzzines)*.

В вопросах обеспечения живучести ТСКС оказываются неэффективными и другие количественные методы принятия решений, такие, как максимизация ожидаемой полезности, минимаксная теория, методы максимального правдоподобия, теория игр, анализ "затраты - эффективность" и другие. Рассмотренные методы помогают выбирать наилучшие из множества возможных решений лишь в условиях одного конкретного вида неопределенности или в условиях полной определенности.

В связи с вышесказанным предлагается реализовать **метод экспликации экспертных оценок живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) на основе методов нечеткой логики.**

На первом этапе на основании IDEFØ модели угроз и нарушителей осуществляется анализ возможных угроз живучести и анализируется их влияние друг на друга.

На втором этапе на основании каждой сформулированной угрозы и внутренних факторов формируются исходные данные - $ИД_{ij}$ $(i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m})$, служащие компонентами вектора запроса.

Своеобразной бальной шкалой для формирования единых мнений экспертов является таблица определения риска в зависимости от трех факторов, которая составлена на основе статистических разработок компании *Gartner Group* (табл. 1).

Таблица 1 – Таблица определения риска в зависимости от трех факторов.

Цена потери (степень серьезности угрозы)	Уровень угрозы								
	Низкий			Средний			Высокий		
	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В
Низкая	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4
Ниже средней	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5
Средняя	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6
Выше средней	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7
Высокая	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7	0.8

Такие таблицы используются как в "бумажных", так и в программных методиках оценки рисков. В последнем случае матрица оценки рисков поставляется вместе с системой оценки ТСКС и не подлежит изменению.

На третьем этапе выполняется ранжирование угроз (исходных данных) через определение коэффициентов важности $КВ_j=[КВ_1,\ldots,КВ_m]$ (где *n* — количество угроз; *m* – количество экспертов). Эксперты указывают свои субъективные оценки в виде численных значений от *0* (максимально необходимая, оптимальная, живучесть – точка "горизонта") до *1* (полный крах системы).

Множества значений KB_j образуют *нечеткие числа* $x_1,\ldots,x_6$, что обусловлено расплывчатостью понятий (лингвистических термов).

Множество нечетких чисел (значений оценок конкретных рисков) $x_1,\ldots,x_6$ в свою очередь образует нечеткое множество угроз X_i .

Результатом ранжирования нечеткого множества коэффициентов важности KB_j на множестве исходных данных X_i может стать *функция принадлежности (ФП)* $\mu_{\underset{\sim}{KB}}(x_i)$ - отображение множества исходных X_i данных в единичный отрезок *[0, 1]* $X \to [0,1]$. В таблице 3 показан набор экспертных оценок для рассматриваемой ТСКС.

Для определения базовой (эталонной) функции принадлежности (ФП) нечеткого множества коэффициентов важности (табл. 2) в диссертационной работе предлагается использовать метод построения экспоненциальной ФП (Гаусса – gaussmf, в интерпретации MATLAB). Из анализа различных источников [Заде Л.А.,1976], посвященных методам построения функций принадлежности, рассмотренный метод целесообразнее всего использовать для решения задач *выработки и оценки альтернатив,* а также представления *нормально* распределенных случайных величин, таких, как угрозы (возмущения) информационной безопасности. Соответственно, реакция экспертов на рассматриваемые угрозы, также представляет собой нормально распределенную случайную величину, что упрощает дальнейший переход к стохастическим методам оценки.

$$\mu_{\underset{\sim}{KB}}(x_i) = e^{-\alpha(KB_j - x_i)^2} \quad (1),$$

где $\alpha = -4\ln(0,5)/\beta^2$ (2)

Значения *"α"* и *"β"– границы толерантности* НЧ. Значение β определяют, как расстояние между точками перехода, в которых функция приобретает значение 0.5. Его численное значение определяется по результатам статистического анализа решения задач отыскания экспоненциальной функции принадлежности НЧ (табл. 3).

При этом точки перехода функции принадлежности (1) будут определяться

Таблица 2 - Коэффициенты важности угроз.

		Коэффициент Важности (KB_j)							Функция принадлежности
			KB_1	KB_2	KB_3	KB_4	KB_5	KB_6	$\mu_{\underset{\sim}{KB}}(x)$
Угрозы X_i	x_1	Угроза отказа доступа *(access denial - ad).*	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	**0.58**
	x_2	Выход из строя активного сетевого оборудования *(active hardware failure - ahf).*	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	**0.48**
	x_3	Нарушение электропитания *(power supply failure - psf).*	0	0.4	0.6	0.2	0.3	0.3	**0.3**
	x_4	Угроза нарушения целостности *(Violations Integrity - vi).*	0.3	0.2	0.2	0.1	0.5	0.3	**0.26**
	x_5	Угроза нарушения конфиденциальности *(Violations Confidentiality - vc).*	0.3	0.2	0	0.2	0.3	0.2	**0.2**
	x_6	Выход из строя пассивного сетевого оборудования *(passive hardware failure - phf)*	0.2	0.2	0.3	0.1	0	0.2	**0.16**

Таблица 3 - Точки перехода экспоненциальной функции.

Возможные численные значения x_i	$\beta(x_i)$
0.01; 0.02; 0.03; 0.04; 0.05; 0.06; 0.07; 0.08; 0.09.	$0.46\,x_i$
0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9	$(0.357 - 0.00163\,x_i)x_i$
0.35; 0.45; 0.55; 0.65; 0.75; 0.85; 0.95	$(0.213 - 0.00067\,x_i)x_i$

формулами: $a = KB_i - \beta/2$, $b = KB_i + \beta/2$ (3).

Например, графически для нечеткого числа оценок реализации угрозы нарушения электропитания функция принадлежности будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

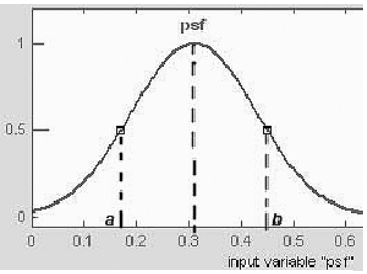


Рисунок 1 - Вид функции принадлежности.

<u>В диссертационной работе</u> предлагается понятие *цвет* нечеткого множества рассматривать как экспликацию (разъяснение, объяснение) понятий: *свойство, атрибут, характеристика*.

В нечетком полихроматическом множестве (*ПS*), моделирующем сложный объект, обладающий различными свойствами, каждому элементу $x_i \in X$ поставим в соответствие множество *персональных* цветов или раскрасок $F(x_i)$, *разъясняющих эти свойства*, а множеству X в целом - множество *унитарных* цветов или раскрасок $F(X)$ самого *ПS*-множества.

$ПS_X = (X, F(x), F(X), [X \times F(x)], [X \times F(X)], [X \times X(F)])$ (4),

где $[X \times F(x)]$ - булева матрица персональных цветов элемента $x_i \in X$, *или множество "чистых" свойств элемента*;

$[X \times F(X)]$ - булева матрица персональных цветов элемента, одноименных унитарным цветам в $F(X)$, *или множество совпадающих свойств;*

$[X \times X(F)]$ - булева матрица всех *тел* унитарных цветов, *или множество свойств, порождаемое свойствами составляющих его элементов.*

Телом (носителем) $X_i(F_j)$ унитарного цвета $F_j(X)$ называется набор элементов $X_i(F_j) \subseteq X$, (4), персональные цвета которых обеспечивают существование унитарного цвета $F_j(X)$.

На четвертом этапе предлагается, во избежание некорректности нечетких моделей, в описании *ПS*-множества указывать условия существования *персональных* цветов элементов и *унитарных* цветов самого ПS – множества, а также учитывать их влияние друг на друга.

Персональные раскраски всех элементов ПS-множества описываются матрицей бинарных отношений (5) между элементами X и цветами $F(x)$, представляемой в виде подмножества $[X \times F(x)]$ декартова произведения $X \times F(x)$.

$$X \times F(x) \supseteq [X \times F(x)] = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} F_1 & \cdots & F_j & \cdots & F_m \end{array} \\ \begin{bmatrix} (x_1,F_1) & \cdots (x_1,F_j) \cdots & (x_1,F_m) \\ \cdots & \cdots \; \cdots & \cdots \; \cdots \\ (x_1,F_1) \cdots & (x_1,F_j) \cdots & (x_1,F_m) \\ \cdots & \cdots \; \cdots & \cdots \; \cdots \\ (x_n,F_1) \cdots & (x_n,F_j) \cdots & (x_n,F_m) \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{c} \\ x_1 \\ \cdots \\ x_i \\ \cdots \\ x_n \end{array} \quad (5),$$

Пара (x_i, F_j) элементов множества существует, если $F_j \in F(x_i)$, и не существует, если $F_j \notin F(x_i)$.

Взаимосвязь между персональными цветами $F(x_i)$ и унитарными цветами $F_i(X)$ элементов ПS-множества в составе полихроматического универсума ПU описывается булевой матрицей: $\left\| c_{i(j)} \right\| = [F(x) \times F(X)]$ (6).

На основании анализа значимости лингвистических термов (табл. 2) мнемоническое представление бинарной матрицы (6) будет показывать *наличие* физического влияния угроз на состояние живучести ТСКС в целом (табл. 4).

Таблица 4 - Мнемоническое представление Булевой матрицы (6).

Персональные цвета $F(x_i)$	Унитарные цвета $F_j(X)$					
	$F_1(X)$	$F_2(X)$	$F_3(X)$	$F_4(X)$	$F_5(X)$	$F_6(X)$
$F(x_1)$	---	●	---	●	●	---
$F(x_2)$	●	---	---	●	●	---
$F(x_3)$	---	●	---	---	---	●
$F(x_4)$	●	●	---	---	●	●
$F(x_5)$	●	●	---	●	---	---
$F(x_6)$	●	---	●	---	---	---

Идеальным является случай, когда все угрозы равноценные и не зависят друг от друга, однако для реальных систем существуют более и менее опасные и зависимые угрозы, которые, в свою очередь, могут быть *доминирующими* и *доминируемыми.*

При *позитивном* (доминирующем) воздействии персональные цвета рассматриваемого элемента расширяют унитарную раскраску ПS-множества за счет появления новых тел унитарных цветов, в которые входит рассматриваемый элемент.

При *негативном* (доминируемом) воздействии цвета рассматриваемого элемента отрицательно влияют на соответствующие персональные цвета других элементов и на унитарные цвета ПS-множества, что приводит к прекращению их существования.

При *нейтральном* воздействии условия существования цветов других элементов и унитарных цветов ПS-множества остаются неизменными.

Соответственно, при наличии *n* вариантов *тел* унитарного цвета $F_j(X)$ состав элементов одного тела $X_i(F_j)$ записывается в виде булева вектора: $X_i(F_j) = (x_{i_1}, x_{i_2}, \ldots, x_{i_n})$ при $X_i(F_j) \subseteq X$ (7),

где элементы x_i – логические переменные

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{ если } x_i \in X_i(F_j), \\ 0, \text{ если } x_i \notin X_i(F_j). \end{cases}$$

С учетом (6), составы элементов всех вариантов *тел* (4), обеспечивающих существование всех унитарных цветов *F(X)* ПS-множества, представляются булевой матрицей $\left\| c_{i(j)} \right\| = [F(x) \times X(F)]$ (8), где *X(F)* есть объединение всех вариантов тел унитарных цветов *F(X)*. Мнемонически полученная конструкция будет выглядеть в виде (табл. 5):

Таблица 5 - Мнемоническое представление булевой матрицы (8).

Персональные цвета	Тела унитарных цветов					
	$X_1(F)$	$X_2(F)$	$X_3(F)$	$X_4(F)$	$X_5(F)$	$X_6(F)$
$F(x_1)$	+-	-	-	+	+	-
$F(x_2)$	+	+-	-	+	+	+-
$F(x_3)$	+	+	+-	+	+	+
$F(x_4)$	-	-	-	+-	+	-
$F(x_5)$	-	-	-	-	+-	-
$F(x_6)$	+	+-	-	+	+	+-

где

(+) - позитивное воздействие элемента;

(-) - негативное воздействие элемента;

(+-) - нейтральное воздействие элемента.

На пятом этапе предлагается, на основании умозаключений, считать <u>*степенью влияния*</u> в унитарной раскраске её персональных составляющих *меру близости* между раскрасками соседних элементов полихроматического множества. Способы определения меры близости основаны на понятии *расстояния Хемминга*.

$$d_h(F(x_{i-1}),\ F(x_i)) = \sum_{i=1}^{m^*} \left| \mu_{x_{i-1}}(F_j) - \mu_{x_i}(F_j) \right| \qquad (9),$$

где m^* – число цветов (реакций экспертов на каждую из n угроз) в объединении $F(x_1)\ldots F(x_i)$, а степень принадлежности к раскраске равна:

$$\mu_x(F_j) = \begin{cases} 1,\ \textit{если}\ F_j \in F(x), \\ 0,\ \textit{если}\ F_j \notin F(x). \end{cases}$$

В работе экспертов удобно использовать относительное расстояние Хемминга. На основании (9) <u>*относительное расстояние Хемминга*</u> между персональными раскрасками $F(x_{i-1}), F(x_i)$ в m-мерном булевом векторном пространстве будет определяться по формуле:

$$d_{h(0)}(F(x_{i-1}),\ F(x_i)) = d_h(F(x_{i-1}),\ F(x_i)) \cdot m^{-1} \qquad (10),\ \text{где}\ 0 \le d_{h(0)} \le 1.$$

<u>Очевидно</u>: чем больше *относительное* расстояние Хемминга, тем меньше одна раскраска влияет на соседнюю раскраску в рассматриваемом универсуме ПU.

На основании булевой матрицы (8) и её мнемонического представления (табл. 5) получаем численные значения расстояний Хемминга (табл. 6) и (табл. 7):

Таблица 6 - Значения расстояний Хемминга.

d_h	Персональные цвета $F(x_i)$						
Персональные цвета $F(x_j)$		$F(x_1)$	$F(x_2)$	$F(x_3)$	$F(x_4)$	$F(x_5)$	$F(x_6)$
	$F(x_1)$	0	4	3	3	3	4
	$F(x_2)$	4	0	5	3	3	2
	$F(x_3)$	3	5	0	4	4	3
	$F(x_4)$	3	3	4	0	2	5
	$F(x_5)$	3	3	4	2	0	3
	$F(x_6)$	4	2	3	5	3	0

Таблица 7 - Значения относительных расстояний Хемминга.

$d_{h(o)}$	Персональные цвета $F(x_i)$						
Персональные цвета $F(x_j)$		$F(x_1)$	$F(x_2)$	$F(x_3)$	$F(x_4)$	$F(x_5)$	$F(x_6)$
	$F(x_1)$	0	0.67	0.5	0.5	0.5	0.67
	$F(x_2)$	0.67	0	0.83	0.5	0.5	0.33
	$F(x_3)$	0.5	0.83	0	0.67	0.67	0.5
	$F(x_4)$	0.5	0.5	0.67	0	0.33	0.83
	$F(x_5)$	0.5	0.5	0.67	0.33	0	0.5
	$F(x_6)$	0.67	0.33	0.5	0.83	0.5	0

Например: $d_h(F(x_1), F(x_2)) = 0\text{-}1|+|1\text{-}0|+|0\text{-}1|+|1\text{-}1|+|1\text{-}1|+|1\text{-}0| = 4$;

$d_h(F(x_1), F(x_3)) = |0\text{-}0|+|0\text{-}1|+|0\text{-}0|+|0\text{-}1|+|0\text{-}1|+|1\text{-}1| = 3$.

<u>Нечеткий вывод</u> занимает центральное место в нечеткой логике и системах нечеткого управления. Нечетким логическим выводом называется получение заключения в виде нечеткого множества, соответствующего текущим значениям входов, с использованием нечеткой базы знаний и нечетких операций.

Основу нечеткого логического вывода составляет композиционное правило Заде: если известно нечеткое отношение $\tilde{F}$ между входной (x) и выходной (w) переменными, то при нечетком значении входной переменной $x = \tilde{A}$ нечеткое значения выходной переменной определяется как $w = \tilde{F} \circ \tilde{A}$, где $\circ$ - максминная

композиция, или функция максимизации минимума возможных решений.

Механизм, или алгоритм, вывода является следующей важной частью базовой архитектуры систем нечеткого вывода. Одним из наиболее широко распространенных алгоритмов нечеткого вывода является алгоритм *Мамдани* (Mamdani). Указанный алгоритм, по сравнению с другими методами нечеткого вывода (Цукамото, Ларсена, Сугено), обладает экономичностью алгоритмической реализации, наилучшим образом применим для нечетких множеств, соответствующих термам заключений, относящихся *к одним и тем же* выходным лингвистическим переменным [Леоненков А. В., 2003].

Дальнейшие экспериментальные исследования применения методов нечеткого вывода Цукамото, Ларсена, Сугено для решения задач экспликации экспертных оценок показали, что разница полученных значений не превышает 15%. Учитывая то обстоятельство, что механизм нечеткого вывода имеет физический смысл *"мер и весов"*, в работе предлагается использовать именно алгоритм *Мамдани* с условием, что указанный метод необходимо будет применять во всех подобных случаях.

Алгоритм Мамдани (Mamdani).

На основании реализаций приведения к четкости, *четкое* значение *w0* переменной *xi* определяется, как центр тяжести кривой результирующей функции принадлежности.

1. Нечеткость (правило 1): находятся *степени истинности* $\mu_{x_i}F(x_i)$ и $\mu_{X_j}F(X_j)$ персональных цветов и унитарных цветов в раскраске ПS - множества для предпосылок (конкретных значений) каждого правила:

$$\begin{aligned} &\mu_{x_1}F(x_1), \mu_{x_2}F(x_2), \dots, \\ &\mu_{X_1}F(X_1), \mu_{X_2}F(X_2) \dots \end{aligned} \qquad (11)$$

2. Нечеткий вывод (правило 2): находятся *уровни* "*отсечения*" для предпосылок каждого из правил (с использованием операции МИНИМУМ).

$$\begin{aligned} &w_1 = \mu_{x_1}F(x_1) \wedge \mu_{X_1}F(X_1), \\ &w_2 = \mu_{x_2}F(x_2) \wedge \mu_{X_2}F(X_2), \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ &w_i = \mu_{x_i}F(x_i) \wedge \mu_{X_j}F(X_i) \end{aligned} \qquad (12)$$

$$\begin{aligned} &\mu_{X'_1}(w_1) = (w_1 \wedge \mu_{X_1}(X_1)), \\ &\mu_{X'_2}(w_2) = (w_2 \wedge \mu_{X_2}(X_2)), \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ &\mu_{X'_i}(w_i) = (w_i \wedge \mu_{X_j}(X_i)) \end{aligned} \qquad (13)$$

где через "^" обозначена операция логического минимума (*min*), затем находятся результирующе "усеченные" функции принадлежности - $\mu_{X'_i}(w_i)$. Усеченные функции принадлежности являются характеристикой соответствия некоторого персонального нечеткого множества результатов нечетких оценок w_i унитарному множеству цветов X_j.

3. Композиция (правило 3): с использованием операции МАКСИМУМ (*max,* далее обозначаемой как "v") производится объединение найденных усеченных функций, что приводит к получению итогового нечеткого подмножества для переменной выхода с функцией принадлежности:

$$\mu_{\Sigma}(w_i) = \mu_{X'_1}(w_1) \vee \mu_{X'_2}(w_2) \vee \dots \vee \mu_{X'_i}(w_i) \qquad (14).$$

4. Далее осуществляется приведение к четкости (дефаззификация).

На основании реализаций приведения к четкости, *четкое* значение w_0 переменной x_i определяется как центр тяжести кривой результирующей функции принадлежности $\mu_\Sigma(w)$ комбинированного нечеткого множества, соответствующей логическому выводу выходной переменной *w(x)*.

$$w_{0_i} = \frac{\int\limits_{\Omega} w_i \cdot \mu_\Sigma(w)dw}{\int\limits_{\Omega} \mu_\Sigma(w)dw}$$ (15), где Ω – область определения функции $\mu_\Sigma(w)$ - [0;1]

Для учета влияния цветности на нечеткое множество оценок предлагается отобразить относительное расстояние Хемминга на множество выходных переменных:

$d^{+1}_{h(0)}$ - относительное расстояние Хемминга (10) при *позитивном* воздействии персональных цветов;

$d^{-1}_{h(0)}$ - относительное расстояние Хемминга (10) при *негативном* воздействии персональных цветов;

$d^{0}_{h(0)}$ - относительное расстояние Хемминга (10) при *нейтральном* воздействии персональных цветов;

Тогда *четкое* значение w_0 с учетом влияния цветности будет представлено формулой вида

$$\overline{w0}_i = \sum_{i=1}^{m} (d^{\pm 1}_{h(0)_i} \cdot w_{0_i}) \Big/ m$$ (16), где *m* – количество экспертов.

Для значений базового экспертного запроса (табл. 2) с учетом влияния всех вариантов *тел* унитарных цветов получаем таблицу приведения к *четким* значениям (табл. 8).

Результатами проделанной работы может стать таблица сравнения результатов экспертизы *до* и *после* проведения экспликации экспертных оценок (табл. 9).

Оценка эффективности разработанного метода требует накопления необходимых исторических данных и дальнейшего перехода к стохастическим методам оценки живучести ТСКС, эффективность которых имеет известные значения, что требует большого количества времени.

Таблица 8 - Таблица приведения к *четким* значениям.

	Логический вывод (экспликация) оценки w_{0_i}							
		w_{01}	w_{02}	w_{03}	w_{04}	w_{05}	w_{06}	$\overline{w0}_i$
Угроза	Угроза отказа доступа *(ad)*.	0	0.89	~1	0.25	0.25	0.89	0.55
	Выход из строя активного сетевого оборудования *(ahf)*.	0.34	0	0.48	0.3	0.25	0.5	0.31
	Нарушение электропитания *(psf)*.	0	0.33	0	0.13	0.2	0.15	0.14
	Угроза нарушения целостности *(vi)*.	0.6	0.4	0.3	0	0.33	0.83	0.41
	Угроза нарушения конфиденциальности *(vc)*.	0.6	0.4	0	0.6	0	0.4	0.33
	Выход из строя пассивного сетевого оборудования *(phf)*	0.13	0.2	0.6	0.08	0	0	0.17

Таблица 9 - Таблица сравнения результатов экспертизы.

		Экспертная оценка (KB_j)	$\overline{w0}_i$
Угроза	Угроза отказа доступа *(access denial - ad)*.	0.58	0.55
	Выход из строя активного сетевого оборудования *(active hardware failure - ahf)*.	0.48	0.31
	Нарушение электропитания *(power supply failure - psf)*.	0.3	0.14
	Угроза нарушения целостности *(Violations Integrity - vi)*.	0.26	0.41
	Угроза нарушения конфиденциальности *(Violations Confidentiality - vc)*.	0.2	0.33
	Выход из строя пассивного сетевого оборудования *(passive hardware failure - phf)*	0.16	0.17
	Средняя оценка риска всех угроз		**0.318**
	Средняя оценка живучести ТСКС на этапе внедрения		**0.682**

Для учета состояния нечеткости текущей стадии текущего этапа жизненного цикла, предлагается рассмотреть понятие *"нечеткая мощность нечеткого множества"* [Заде Л.А., 1966] и найти её значение:

$$|P|_f = \frac{\sum \alpha_{(1)}^{*(m)} \Big/ \left|P_{\alpha^*}\right|}{m} \quad (17),$$ где $\alpha_{(1)}^{*(m)} = \sup\{\alpha^* \left|P_{\alpha^*}\right| \Big/ m\}$ (18) – значения индекса сравнения $\left|P_{\alpha^*}\right|$, подсчитанного на α^* - срезах множества коэффициентов важности KB_i.

Для рассмотренного примера (при *m=6* экспертов), значения мощности нечеткого множества для каждой угрозы представлено ниже (табл. 10):

Таблица 10 - Значения мощности нечеткого множества для каждой угрозы.

	Значения индекса сравнения для коэффициентов важности (KB_j)							Мощность нечетк. множ.
		α_1^2	α_2^3	α_3^4	α_4^5	α_5^6	α_6^1	$\|P\|_f$
Угрозы X_i	Риск угрозы отказа доступа *(ad)*.	0.1	0	0	0.1	0	0.1	**0.10**
	Риск угрозы нарушения целостности *(vi)*.	0.1	0	0	0.1	0	0.1	**0.10**
	Риск угрозы нарушения конфиденциальности *(vc)*.	0.1	0	0	0.1	0	0.1	**0.10**
	Риск угрозы выхода из строя активного сетевого оборудования *(ahf)*.	0.1	0	0	0.1	0	0.1	**0.10**
	Риск угрозы выход из строя пассивного сетевого оборудования *(phf)*	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	**0.15**
	Риск угрозы нарушения электропитания *(psf)*.	0.4	0.2	0.4	0.2	0	0.3	**0.25**
	Среднеквадратичное отклонение нечеткой мощности нечеткого множества $\sigma\|P\|_f$							**0.35**

Из анализа полученной таблицы можно сделать вывод о том, что меньше всего экспертами изучен вопрос реализации угрозы нарушения электропитания. Это обстоятельство обусловлено тем, что система электропитания ТСКС отказоустойчива и поэтому её изучению эксперты уделяли минимум внимания.

<u>В третьей главе</u> выполняется:

<u>I. Разработка</u> модели влияния текущего этапа жизненного цикла ТСКС на достоверность экспертизы живучести в условиях неполноты информации на основе модели жизненного цикла Боэма.

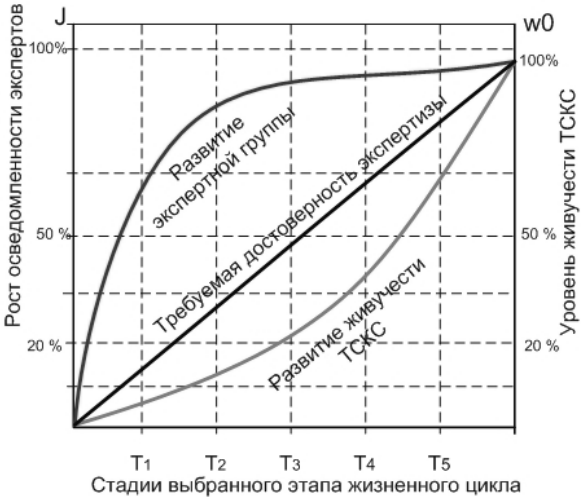


Рисунок 2 - Зависимость уровня живучести ТСКС и роста достоверности экспертизы.

В вопросах повышения достоверности экспертизы на ранних этапах жизненного цикла ТСКС в условиях неполноты информации необходимо рассматривать два процесса:

1) На начальных стадиях экспертизы у экспертной группы накоплено неполное количество знаний. По мере накопления знаний возрастает достоверность экспертизы (рис. 2).

2) С течением времени происходит развитие (приработка) ТСКС, а соответственно изменяется (как правило, в сторону возрастания) её состояние живучести (рис. 2).

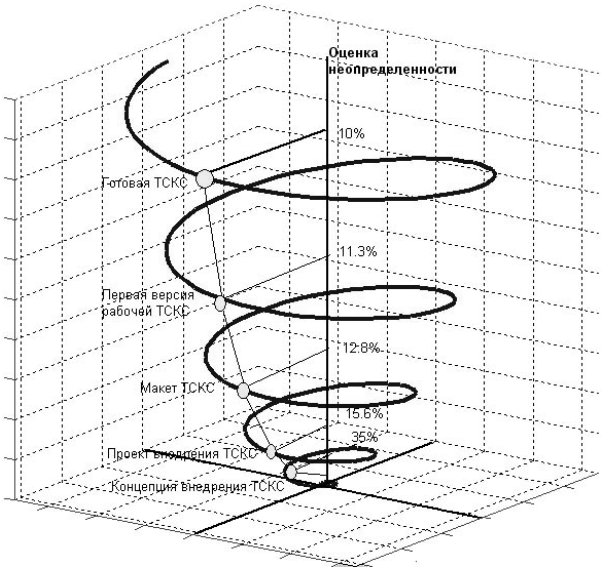


Рисунок 3 - Графическое представление модели Боэма для условий неполноты (нечеткости) информации.

Неопределенность (нечеткость) оценки экспертами каждой из угроз и неопределенность экспертизы живучести ТСКС в целом на этапе внедрения в промышленную эксплуатацию будет составлять (табл. 11); (рис. 3):

Таблица 11 - Неопределенность экспертизы живучести ТСКС, на этапе внедрения в промышленную эксплуатацию.

	Угроза	Нечеткость оценки экспертами каждой из угроз
1.	Риск угрозы отказа доступа *(ad)*.	10 %
	Риск угрозы нарушения целостности *(vi)*.	10 %
	Риск угрозы нарушения конфиденциальности *(vc)*.	10 %
	Риск угрозы выхода из строя активного сетевого оборудования *(ahf)*.	10 %
	Риск угрозы выход из строя пассивного сетевого оборудования *(phf)*	15 %
	Риск угрозы нарушения электропитания *(psf)*.	25 %
Нечеткость видения живучести в целом, на текущем этапе жизненного цикла		
2.	Среднее значение нечеткости видения экспертами живучести на текущем этапе жизненного цикла	10 %
	Среднеквадратичное значение нечеткости видения экспертами живучести на текущем этапе жизненного цикла	35%

<u>II. Разработка</u> метода повышения достоверности экспертизы живучести ТСКС на основе систем дуального управления.

<u>Для систем управления</u> с неопределенностью в применении рассмотренной теории к средствам оценки живучести ТСКС основная цель состоит в воспроизведении задающих воздействий и фильтрации возмущений, вызванных условиями неопределенности угроз (рис. 4).

В условиях неполноты априорной информации стратегия экспертизы, обеспечивающая гарантированное достижение цели (необходимого уровня достоверности) только путем создания избыточности (уточнения информации, получаемой экспертом) неэффективна, а во многих случаях (для достаточно массивных классов неопределенности) *нереализуема*.

Естественно ожидать, что цель синтеза средств экспертизы живучести ТСКС достигается использованием стратегий, обеспечивающих желаемую достоверность управления с уменьшением неопределенности в *исходном описании объекта и угроз*.

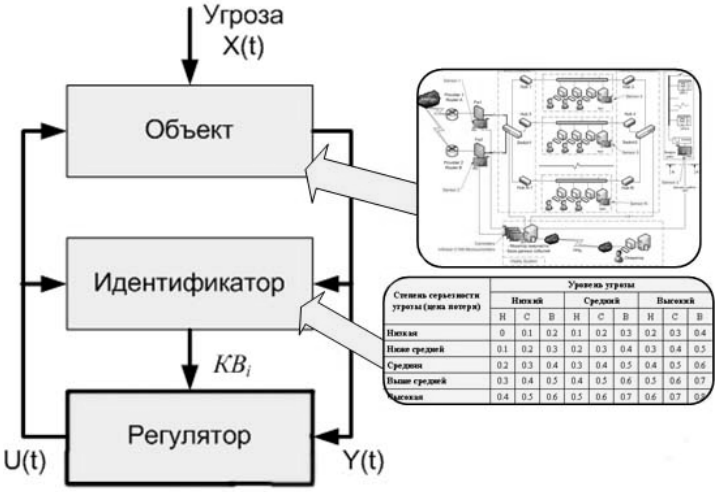
Для спиральной модели Боэма в условиях неопределенности функция конечного состояния системы (развития экспертной группы во времени), без учета состояния неопределенности, определяется передаточной функцией *запаздывающего звена* (19).

$$W(p) = \frac{K}{Tp+1} e^{-\tau p} \qquad (19);$$

где, $p = j\omega$ – функция комплексной переменной, определяемая преобразованием Лапласа $x(p) = \int_0^\infty x(t)\, e^{-pt} dt$ из функции времени *x(t)*; τ - постоянная времени запаздывания, характеристика равная времени принятия решения экспертами,

будем считать, что она должна составлять $\tau \le 0.001T_Э$ (20); $K(T)$ - имеет смысл коэффициента *восприимчивости* (инициативности) экспертной группы.

Предельно достижимая скорость сходимости нечетких оценок для достаточно массивных классов распределений угроз ограничена неопределенностью. Эти условия обеспечиваются параметрическим регулятором, структурная схема которого представлена ниже (рис. 5).



Степень серьезности угрозы (цена потерь)	Уровень угрозы								
	Низкий			Средний			Высокий		
	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В
Низкая	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4
Ниже средней	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5
Средняя	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6
Выше средней	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7
Высокая	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7	0.8

Рисунок 4 - Структурная схема системы управления.

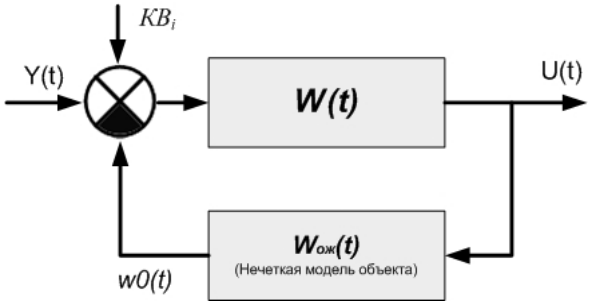


Рисунок 5 - Структурная схема параметрического регулятора.

Y(t) – показания датчика состояния объекта является реакцией этого датчика на угрозу *X(t)*; *U(t)* – сигнал управления; w0(t) – сигнал коррекции.

Стратегия реализации рандомизированных обратных связей цифрового регулятора (рис. 5) с учетом его ограничений на глубину памяти *m* будет выражаться уравнением:

$$u_t = U(u_{t-m}^{t-1}, r^t, w0_{t-m}^t, \theta_{t-1}) + e_t, \quad \theta_t = F_t(\theta_{t-1}, u_{t-m}^{t-1}, w0_{t-m}^t) \quad (21),$$

где θ_t - изменения наблюдаемого параметра работы ТСКС, (например характеристическая функция от напряжения питания на UPS или изменения полосы пропускания активного сетевого оборудования);

$w0_0^t = (w0_0, \ldots, w0_t)$ - известные значения выходов (оценки, приведенные к четким значениям) при поступлении рандомизирующих тестовых воздействий (опросов) $e^t = \{e_0, \ldots, e_t\}$ в моменты времени [*0;t*] – (такты управления).

Достоверность управления будет определятся заданным функционалом средних издержек.

$$J_\infty[U_0^\infty(*)] = \sigma \left|P\right|_f \cdot \liminf_{T\to\infty} \Gamma^{-1}(\sum_{t=1}^{T} EQ_t(X_t, y_{t-1}\theta^*) \quad (22),$$

где $U_0^\infty(*)$ - стратегия управления (например, увеличение полосы пропускания сетевого оборудования посредством QoS);

E – математическое ожидание применения стратегии $U_0^\infty(*) = w0_i(p) \cdot W_i(p)$, формируемой на такте времени *t,* порожденной обратными связями $u_t = U_t(u^{t-1}, Z^t, e_0^t, \tau(\theta^*))$; $Q_t(X_t, u_{t-1}\theta^*) \ge 0$ - заданная функция потерь (принятые

риски); Γ- горизонт управления: $0 \le \Gamma(\overline{w0}_i) \le 1$; $\sigma|P|_f$ - среднеквадратичное отклонение нечеткой мощности нечеткого множества.

Для рассмотренного примера принимается допущение, что результат оценки живучести ТСКС получают один раз в конце каждой стадии. Следовательно, базовые характеристики живучести, полученные в предыдущей главе для каждой угрозы в зависимости от этапа жизненного цикла (ЖЦ) будут изменяться (табл. 12), составляя траектории экспертных оценок, графически отображенные на рисунке 6.

Таблица 12 - Таблица изменения экспертной оценки влияния угроз с течением времени на стадиях текущего этапа ЖЦ.

	Экспертные оценки влияния угроз на живучесть w_{0_i} ТСКС для каждой стадии текущего этапа (при $T=T_{этапа}$) жизненного цикла.						
		$\overline{w0}_i$	$w_{1\,(T1)}$	$w_{2\,(T2)}$	$w_{3\,(T3)}$	$w_{4\,(T4)}$	$w_{5\,(T5)}$
Угроза	Угроза отказа доступа *(ad)*.	**0.55**	0.5567	0.5427	0.5312	0.5486	0.5531
	Угроза нарушения целостности *(vi)*.	**0.41**	0.4299	0.4318	0.4290	0.4185	0.4131
	Угроза нарушения конфиденциальности *(vc)*.	**0.33**	0.3009	0.3295	0.3292	0.3395	0.3314
	Выход из строя активного сетевого оборудования *(ahf)*.	**0.31**	0.26993	0.2725	0.2856	0.2989	0.3114
	Выход из строя пассивного сетевого оборудования *(phf)*	**0.17**	0.1697	0.1797	0.1795	0.1694	0.1703
	Нарушение электропитания *(psf)*.	**0.14**	0.1369	0.1398	0.1396	0.1395	0.1393

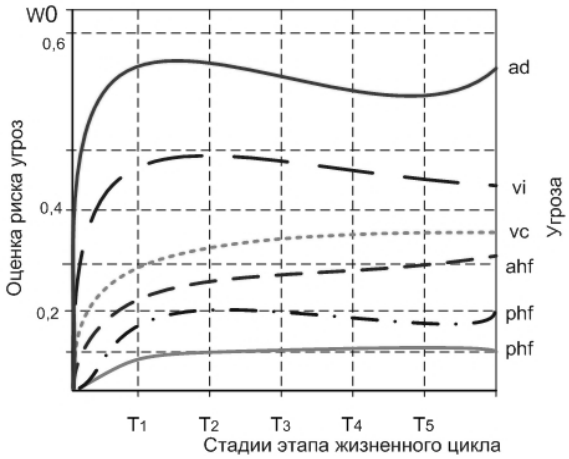


Рисунок 6 - Изменение экспертной оценки влияния угроз.

Численно достоверность экспертизы удобно представить в виде *поправки* функционала средних издержек:

$$\Delta J_T[U_0^T(*)] = \{\Delta J_T[U_1^T(*)], \Delta J_T[U_2^T(*)], \ldots\ldots, \Delta J_T[U_n^T(*)]\} = \frac{J_T[U_0^T(*)]}{J_\infty[U_0^\infty(*)]} \cdot 100\% \qquad (23)$$

Поправки (допуски) к оценкам живучести находится как отношение текущего значения достоверности управления, $\Delta J_T[U_0^T(*)]$ к её максимальному значению $J_\infty[U_0^\infty(*)]$ и выражаются в процентах для каждой стадии текущего этапа жизненного цикла $T_Э$. Значения поправки к оценкам текущего уровня живучести ТСКС, полученные по формуле (23), приведены в таблице 13 (графически - рис.7).

Таблица 13 - Значения поправки функционала средних издержек.

	Изменение функционала средних издержек J_{0_i} на каждой стадии текущего этапа (при $T=T_{этапа}$) жизненного цикла.					
		ΔJ_1^T	ΔJ_2^T	ΔJ_3^T	ΔJ_4^T	ΔJ_5^T
Угроза	Риск угрозы отказа доступа *(ad)*.	34.9 %	15.5 %	12.5 %	11.1 %	9.8 %
	Риск угрозы нарушения целостности *(vi)*.	35.1 %	15.5 %	12.8 %	11.3 %	9.9 %
	Риск угрозы нарушения конфиденциальности *(vc)*.	34.8 %	15.0 %	12.9 %	11.4 %	9.8 %
	Риск угрозы выхода из строя активного сетевого оборудования *(ahf)*.	35.1 %	15.0 %	12.5 %	11.4 %	9.9 %
	Риск угрозы выход из строя пассивного сетевого оборудования *(phf)*	35.5 %	15.8 %	12.8 %	12.3 %	10.1 %
	Риск угрозы нарушения электропитания *(psf)*.	36.0 %	15.6 %	12.3 %	12.2 %	10.5 %

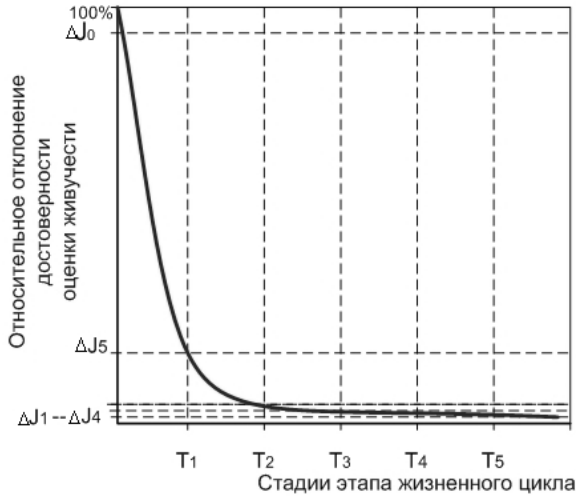


Рисунок 7 - Изменение поправки функционала средних издержек.

<u>В четвертой главе</u> диссертации выполняется разработка **имитационной модели средств повышения достоверности экспертной оценки живучести ТСКС.** Моделирование позволяет отслеживать любые изменения внешних деструктивных воздействий на состояние живучести ТСКС и оперативно реагировать на выявленные деструктивные воздействия. Полученная имитационная модель может служить электронным шаблоном живучести ТСКС. В четвертой главе предлагается программно–аппаратное *средство* интерпретации уровня живучести ТСКС, моделирующее использование системы дуального управления, реализованное в среде MATLAB.

Исходными данными для формирования имитационной модели, структурная схема которой представлена на рисунке 8, являются экспертные оценки (табл. 2), представленные в удобном для ввода виде.

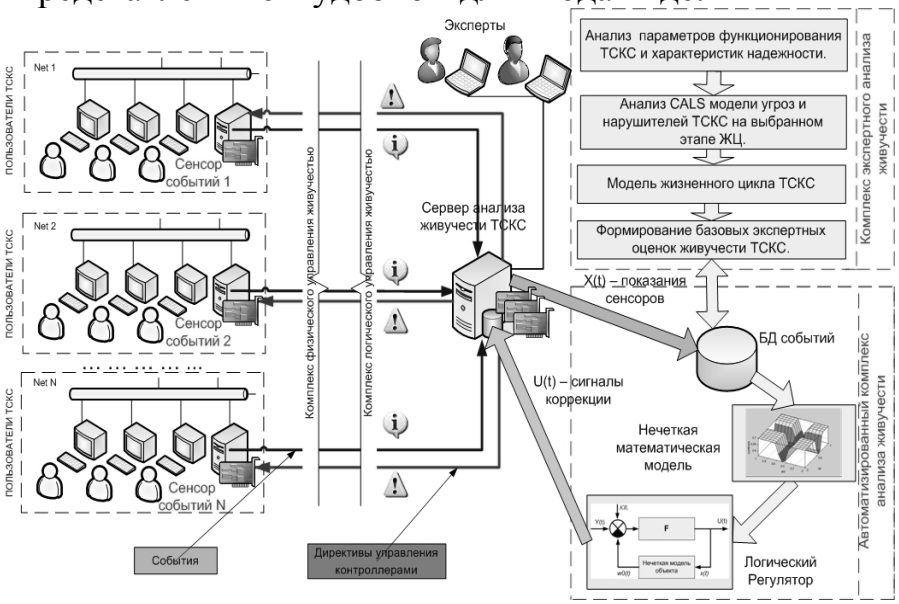


Рисунок 8 - Структурная схема имитационной модели.

Далее, выполняется ввод экспертных оценок в графическом режиме программы MATLAB:

- в графическом интерфейсе пользователя (GUI) редактора *FIS* программы MATLAB устанавливаются обозначения переменных, каждое из которых в отдельности образует элементы нечеткого полихроматического множества угроз;

- вызывается редактор функций принадлежности (Ctrl+2), в котором задаются для каждой из шести входных угроз значение параметров *KBi* (табл. 2), соответствующие настройки выполняются и для всех значений оценки;

- вызывается редактор правил нечеткого вывода (Ctrl+3), в котором задаются для каждого из шести входных параметров правила нечеткого вывода;

- для получения результатов распределения нечеткого вывода вызывается программа просмотра правил нечеткого вывода (Ctrl+5); рассмотренная программа дает возможность просмотреть функции принадлежности в графическом режиме, но не изменять их;

- результаты экспертизы нагляднее всего просматривать в виде поверхности нечеткого вывода, так, например, графически зависимости эталонной функций принадлежности угрозы отказа доступа от угрозы выхода из строя активного сетевого оборудования представлена на рисунке 9 в виде поверхности нечеткого вывода; для отображения был вызван графический интерпретатор нечеткого вывода командой (Ctrl+6); как видно из рисунка (рис. 9.), угроза отказа доступа при выходе из строя активного сетевого оборудования, по оценкам экспертов, наибольшую опасность для живучести ТСКС может представлять в *эпицентре* полученной поверхности.

Наименее критичными являются угрозы выхода из строя пассивного сетевого оборудования и угрозы нарушения электропитания. Это обусловлено дублированием пассивного сетевого оборудования и применением источников бесперебойного питания.

Наиболее критичными, по результатам экспликации экспертных оценок, на протяжении всего этапа внедрения в промышленную эксплуатацию остаются угрозы отказа доступа в результате выхода из строя активного сетевого оборудования. Это связано с высокой степенью рисков сбоя программного обеспечения ТСКС в результате ошибок передачи данных.

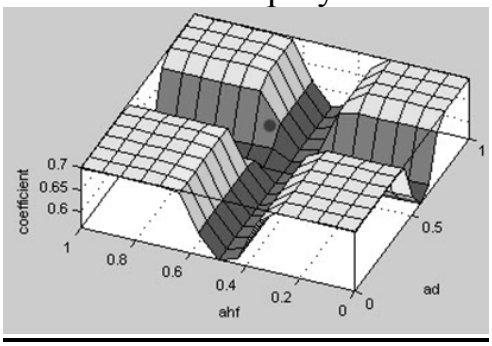


Рисунок 9 - Пример зависимости эталонной функций принадлежности угрозы отказа доступа от угрозы выхода из строя активного сетевого оборудования.

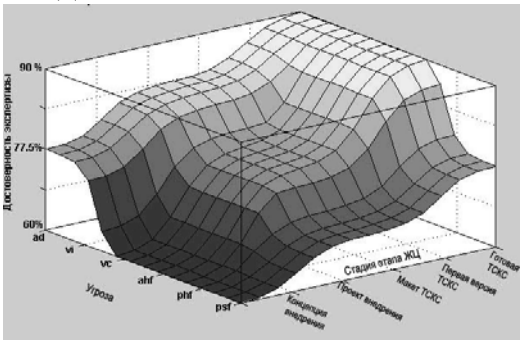


Рисунок 10 - Результирующая оценка достоверности экспертизы в зависимости от стадии текущего этапа жизненного цикла.

Результаты оценки достоверности экспертизы в зависимости от стадии этапа внедрения в промышленную эксплуатацию приводятся в графической форме на рисунке 10, а в аналитической форме - в таблице 14.

Таблица 14 - Значения поправки функционала средних издержек.

	Достоверность экспертных оценок живучести ТСКС на каждой стадии текущего этапа (при $T=T_{этапа}$) жизненного цикла.						
Риск реализации угрозы		$R_{\overline{w0_i}}$ Риск	*Стадия концепции внедрения ТСКС*	*Стадия проекта внедрения ТСКС*	*Стадия создания макета ТСКС*	*Стадия первой версии рабочей ТСКС*	*Стадия готовой ТСКС*
	Риск угрозы отказа доступа *(ad)*.	**55 %**	77.5 %	82.5 %	86.5 %	89.5 %	90.0 %
	Риск угрозы нарушения целостности *(vi)*.	**41 %**	75.5 %	80.0 %	81.5 %	89.5 %	90.0 %
	Риск угрозы нарушения конфиденциальности *(vc)*.	**33 %**	69.5 %	75.0 %	78.0%	86.5 %	90.0 %
	Риск угрозы выхода из строя активного сетевого оборудования *(ahf)*.	**31 %**	69.5 %	75.0 %	78.0 %	86.5 %	90.0 %
	Риск угрозы выход из строя пассивного сетевого оборудования *(phf)*	**17 %**	67.5 %	72.0 %	75.2 %	78.5 %	85.0 %
	Риск угрозы нарушения электропитания *(psf)*.	**14 %**	64.0 %	68.5 %	70.0 %	72.0%	75.0 %

Из анализа полученных результатов видно, что достоверность экспертных оценок возрастает от стадии к стадии. Темпы роста достоверности относительно каждой из угроз приблизительно одинаковы.

Однако, достоверность оценок каждой из угроз не одинакова, так как различным угрозам эксперты с самого начала экспертизы уделяли не одинаковое внимание, а выделяли, на свое усмотрение, более или менее значимые.

Например, риску нарушения конфиденциальности, имеющему высокое значение для оценки живучести ТСКС, эксперты изначально уделили меньшее внимание, ввиду большого количества необходимой для анализа документации.

Наименьшее внимание эксперты уделяли анализу рисков угрозы нарушения электропитания и угрозы выхода из строя пассивного сетевого оборудования, по причине высокой степени *резервирования* указанных компонентов ТСКС.

На основании анализа таблицы 14 подтверждаются, полученные аналитическим способом в Гл. 3, значения поправок к измерениям основных параметров функционирования ТСКС, заложенным в ТЗ и представленным в табл. 15 в виде *допусков*.

Таблица 15 - Таблица результатов имитационного моделирования.

Параметр	**Оценка стадии первой версии рабочей ТСКС**	**Оценка стадии "Готовая ТСКС"**
Время реакции сети	< 5 сек. ± 11.3%	< 5 сек. ± 10%
Пропускная способность	12,2 Мбайт/с. ± 11.3%	12,2 Мбайт/с. ± 10%
Показатель использования сети	70% ± 11.3%	70% ± 10%
Показатели надежности для системы в целом.		
Интенсивность отказов	0.0005 (1/ч) ± 11.3%	0.0005 (1/ч) ± 10%
Время восстановления	8 ч ± 12.8%	8 ч ± 11.3%
Функциональность ПО	0,999 ± 12.8%	0,9997 ± 11.3%
Коэффициент готовности	0,9974 ± 11.3%	0,9974 ± 10%
Средняя оценка живучести ТСКС на этапе внедрения		**68 %**
Средняя оценка достоверности экспертизы на этапе внедрения		**~ 90 %**

Допуски измерения основных параметров функционирования ТСКС для указанных стадий этапа внедрения ТСКС, полученные в результате имитационного моделирования представлены в таблице 15 для двух стадий этапа внедрения ТСКС.

Как показало практическое применение разработанных средств повышения достоверности экспертизы для редактора *FIS* программы MATLAB, время на ввод исходных данных, обработку информации и анализ полученных результатов не превышает 0,5 значения, отведенного для принятия решения (полученного по формуле (20)), что сокращает время накопления исторических данных на 50%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе были выполнены исследование и разработка методов и средств повышения достоверности экспертной оценки живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) в условиях неполноты информации (неопределенности, нечеткости) с учетом текущего этапа жизненного цикла как для нормальных, так и для и специальных приложений.

В ходе выполнения работы были получены теоретические и практические результаты, приведенные ниже.

1. *Выполнен анализ* влияния неполноты информации (неопределенности, нечеткости) на достоверность результатов существующих методов оценки живучести ТСКС. Показано, что в условиях неполноты информации существующие методы и средства не могут обеспечить необходимого уровня достоверности экспертизы.

2. *Разработан* математический метод экспликации (разъяснения) экспертных оценок живучести ТСКС на основе применения нечетких полихроматических множеств и алгоритма нечеткого вывода Мамдани. Показано, что, в *отличие* от существующих, данный метод способен повысить достоверность экспертизы в условиях неполноты (неопределенности, нечеткости) информации до 90% за счет учета взаимного влияния угроз.

3. *Разработан* метод математической интерпретации *уровня неопределенности* текущего этапа жизненного цикла ТСКС. Показано, что на ранних этапах жизненного цикла в условиях неполноты накопленных исторических данных (опыта использования ТСКС) наибольшая достоверность описания жизненного цикла достигается путем применения спиральной модели Боэма и составляет не менее 65%, а оценка степени влияния на достоверность экспертизы состояния неопределенности (нечеткости), возможна на основе определения *нечеткой мощности нечеткого множества* экспертных оценок, среднее значение которой составило 10%.

4. *Разработан* метод повышения достоверности экспертизы живучести для текущего этапа жизненного цикла ТСКС. Показано, что применение систем дуального управления позволяет выполнять оценку влияния издержек, вызванных неполнотой накопленных исторических данных (опыта использования ТСКС), на достоверность экспертных оценок живучести. Значение полученных издержек колеблется от 9.8% до 10.5% на завершающей стадии выбранного этапа жизненного цикла.

5. *Реализована* имитационная модель средств повышения достоверности экспертных оценок живучести ТСКС в условиях неполноты исторических данных с учетом текущего этапа жизненного цикла. Показано, что применение программных средств нечеткого имитационного моделирования для экспликации экспертных оценок живучести ТСКС в условиях неполноты информации способно сократить время накопления необходимых исторических данных на ранних этапах жизненного цикла на 50%.

6. *Особенностью* разработанных методов и средств, предназначенных для применения в условиях неполноты информации (неопределенности, нечеткости) о функционировании ТСКС, является то обстоятельство, что *оценка их эффективности* требует накопления необходимых исторических данных и дальнейшего перехода к стохастическим методам оценки, эффективность которых имеет известные значения. Указанное обстоятельство требует большого количества времени.

Результаты диссертационной работы, выполненной на тему "Методы и средства повышения достоверности экспертной оценки живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей", были внедрены на предприятиях ООО "Ревякинский металлопрокатный завод" и ЗАО "Управляющая Холдинговая компания "Королёвский трубный завод" с целью аудита (экспертной оценки) телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) в рамках системы управления производством.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях.

1. Тюрин М. В. Экспертная оценка живучести телекоммуникационных систем и компьютерных сетей (ТСКС) в условиях неполноты информации // Автоматизация в промышленности. – 2008. - №7. - С.15 - 18. – реферируемое издание рекомендованное ВАК.
2. Тюрин М. В. Некоторые пути повышения живучести телекоммуникационных

систем и компьютерных сетей // Автоматизация в промышленности. – 2007. - №7. - С.11 - 16. – реферируемое издание рекомендованное ВАК.
3. Тюрин М. В. Стандартизация информационной безопасности в банковской деятельности // Банковское дело. – 2006. - №7. - С.50 - 53. – реферируемое издание, рекомендованное ВАК.
4. Тюрин М. В. Некоторые аспекты управления живучестью телекоммуникационных систем и компьютерных сетей // Технологии безопасности. – 2007. - №2. - С.15 - 19.
5. Тюрин М. В. Национальные особенности управления информационными рисками // Byte. – 2006. - №3(91). - С. 62 – 67.
6. Тюрин М. В. Особенности российских стандартов защиты информации // Byte. – 2005. - №12(88). - С. 65 – 68.
7. Тюрин М. В. Особенности национальной стандартизации информационной безопасности // PCWeek/RE. - 2005. - № 36(498). - С. 33 - 35.

Подписано в печать 22.09.2008

Бум. офсетная, Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100

Заказ 835

ЗАО «Копи Центр»

Павелецкая пл., д.2, стр.1.