НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

Переездчиков Игорь Васильевич

УДК 614.8

РАЗРАБОТКА ОСНОВ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК- МАШИНА- СРЕДА» НА БАЗЕ ЧЕТКИХ И НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Специальность 05.26.03- Пожарная и промышленная безопасность
(в машиностроении)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2005

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Н.А. Северцев

доктор технических наук, профессор Б.Н. Нюнин

доктор технических наук, профессор В.Н. Охитин

Ведущая организация: ИМАШ РАН, г. Москва

Защита диссертации состоится «16» ноября 2005 года в 14^{30} час на заседании диссертационного совета Д.212.141.16 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, Лефортовская наб., д.1, корпус факультета «Энергомашиностроение».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ваш отзыв на автореферат в 2 экз., заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 105005. г. Москва, 2-ая Бауманская д.5, Ученому секретарю диссертационного Совета Д.212.141.16.

Автореферат разослан «27» сентября 2005 г.

Желающие присутствовать на защите должны заблаговременно известить совет письмами заинтересованных организаций на имя председателя Совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.212.141.16
кандидат технических наук / Глухов С.Д. /

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В последние столетия масштабные технические катастрофы стали значительными, при этом можно так же говорить об интенсификации по силе и частоте природных явлений. Ущерб от техногенных аварий становится сопоставимым с ущербом от природных катаклизм и региональных конфликтов, что становится явным препятствием для развития экономики России. Решить проблему безопасности существующими методами не удается. Поэтому при анализе опасностей современных технических систем наряду с традиционными подходами должны применяться новые подходы и новые критерии безопасности.

Цель работы: разработка и систематизация теоретических основ анализа опасностей промышленных систем «человек - машина - среда» (СЧМС) на базе четких и нечетких множеств и создание методологии анализа опасностей на базе отечественного и зарубежного опыта.

Идея работы. Традиционные основы анализа опасностей, позволяющего прогнозировать и предотвращать аварии, несчастные случаи, катастрофы, развиваясь на основе теории вероятности, остаются эффективным инструментом при анализе хорошо структурированных механических систем. Однако на верхнем уровне сложности современных технических систем и систем, в которых поведение человека играет важную роль, применение теории нечетких множеств может иметь определенные преимущества.

Основные задачи работы. В качестве основных задач ставятся:

1. Разработка идеализированной модели системы «человек- машина-среда», органически включающей в себя человеческий фактор, разработка структурного и функционального блоков анализа и управления опасностями;
2. Разработка теоретической модели обобщенного защитного устройства;
3. Систематизация и разработка основных качественных и количественных методов анализа опасностей на базе аппарата четкой логики и создание алгоритмов анализа;
4. Разработка на базе нечеткой логики математической модели СЧМС, компьютерное исследование модели и разработка методики лингвистической оценки риска;
5. Разработка метода ранжирования систем компонента "машина" по классам опасности на базе нечетких множеств;
6. Разработка критериев и методики ранжирования СЧМС по видам опасных факторов на базе нечетких множеств;
7. Исследование опасности стенда испытаний модельного жидкостного ракетного двигателя на основе разработанной методол

МГТУ
им. Н. Э. Баумана
Библиотека

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1732192
Переездчиков И.В. Разработ

Методы исследований. В работе использованы: системный подход, компьютерное исследование, теория алгебры высказываний и событий, теория вероятности, уравнения механики жидких сред, теория функции комплексной переменной, импедансный подход, теория нечетких множеств и нечеткая логика.

Обоснованность и достоверность научных результатов обеспечиваются корректностью постановки теоретических задач, принятыми допущениями, использованием современного математического аппарата, сравнением теоретических результатов с существующими реалиями.

Научная новизна.

1 Разработана общая концепция анализа опасностей на базе четких и нечетких множеств.

2 Предложена идеализированная модель СЧМС, структурные и функциональные блоки.

3. Разработана теоретическая модель обобщенного защитного устройства, выделены принципы защиты.

4 На базе четких множеств систематизированы и разработаны основные качественные и количественные методы анализа, включая инструментарий исследований.

5. Применительно к компоненту «среда» получено решение комплексной задачи аварийного сброса нестационарными источниками нестабильных сточных вод в водоемы.

6 Дано обоснование необходимости и возможности применения теории нечетких множеств, как одного из направлений развития анализа опасностей.

7 На базе нечетких множеств разработаны:

- математическая модель нечеткой СЧМС;
- методика лингвистического анализа риска;
- методика определения классов опасности компонента «машина»;
- критерии и методика ранжирования СЧМС по видам опасных факторов.

Практическая ценность исследований. Разработанные теоретические и методологические основы анализа опасностей позволяют:

- прогнозировать опасности простых и сложных технических систем, используя созданные и систематизированные методики;
- управлять опасностями на качественно новом уровне за счет научно обоснованной структуры и выделенных в СЧМС элементов;
- проводить в условиях сильной неопределенности ранжирование систем компонента «машина» по классам опасности;
- ранжировать все виды СЧМС по критериям опасности и соответствию нормативной документации.

Внедрение результатов работы. Работа выполнялась, в частности, как составная часть:

- федеральной целевой программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» по проекту 5.2. «Основы реализации государственной и международной политики в области безопасности»;
- программы сотрудничества Минобразования и Минобороны «Научно-инновационное сотрудничество» по разделу 6 «Создание перспективных летательных аппаратов, импульсных комплексов, роботизированных установок, перспективных конструкторских специальных и топливных материалов и технологий их получения»;

Результаты работы на базе нечетких множеств использованы при проектирования стенда испытаний модельного жидкостного ракетного двигателя, разработанного Научно-исследовательским институтом энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Общее содержание работы явилось основой для разработки автором учебной программы дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск», которая используется в настоящее время при подготовки дипломированных специалистов по направлению 656500-«Безопасность жизнедеятельности».

Личный вклад автора. Все результаты, вошедшие в диссертационную работу, были получены лично автором либо при его непосредственном участии.

Публикации. По теме диссертации опубликовано более 30 научных работ. Содержание работы изложено в учебниках, справочниках, учебных пособиях и в 9 научно-исследовательских отчетах, выполненных по госбюджетной тематике.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на:
- 5-ой международной научно-технической конференции - «Некоторые аспекты управления опасностями системы «человек-машина-среда», Севастополь, 1997;
- 5-ой международной научно-технической конференции «Двигатель 97» - «Модель обобщенного защитного устройства на примере глушителя шума», Москва,1997;
- 3-ей Всероссийской научно-технической конференции: Теплофизика процессов горения и охрана окружающей среды- «Модель обобщенного защитного устройства», Рыбинск,1997;
- V, VI Всероссийских научно-технических конференциях: Теплофизика процессов горения и охрана окружающей среды-«Исследование опасностей стенда испытаний жидкостного ракетного двигателя на базе нечетких множеств», Рыбинск, 2004-11-2;
- 3-ем Всероссийском совещании заведующих кафедрами вузов по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды – «Методология анализа опасностей на базе четких и нечетких множеств», Москва, 2005;

- на Международном симпозиуме «Образование через науку»- «Комплексный расчет аварийного сброса нестабильных сточных вод в водоемы», Москва,2005;
- на Международном симпозиуме «Образование через науку»- «Методология анализа опасностей промышленных систем «человек- машина- среда» на базе теории четких и нечетких множеств», Москва,2005.

Структура и объем диссертации. Диссертация объемом 323 страниц состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы из 167 наименований и включает 69 таблиц.

На защиту выносится:

1. Методология анализа опасностей на базе теории четких и нечетких множеств;
2. Базовая терминология анализа опасностей;
3. Идеализированная модель СЧМС, функциональные и структурные блоки модели;
4. Теоретическая модель обобщенного защитного устройства и принципы защиты;
5. Названия, содержание, алгоритмы методов качественного анализа опасностей;
6. Модель количественного анализа опасностей на базе четких множеств и методика ранжирования внешних опасностей методом иерархий;
7. Решение задачи аварийного сброса нестабильных сточных вод в водоёмы и определение полей концентраций в нестационарных условиях;
8. Математическая модель СЧМС на базе нечетких множеств;
9. Методика анализа риска на базе нечеткой логики;
10. Методика определения классов опасности систем компонента «машина» на базе нечетких множеств;
11. Критерии и методика ранжирования СЧМС по видам опасностей на базе нечетких множеств.
12. Анализ опасностей стенда испытаний модельного жидкостного ракетного двигателя на базе нечетких множеств.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы. Отмечено, что ИМАШ РАН предложил концепцию Государственной научно-технической программы по безопасности. Эта программа включает, в частности, разработку теории безопасности как научной основы предотвращения техногенных аварий и катастроф и развитие новых методов и критериев прогнозирования и оценки опасностей. Важным моментом является также подготовка специалистов по направлению безопасности

жизнедеятельности. Выделены комплексное исследование безопасности, которое выполняется в стране при научном руководстве чл.-корр. РАН Махутова Н.А., и научно - образовательный вклад заслуженного деятеля науки Белова С.В. в становление и развитие безопасности жизнедеятельности.

В первой главе *«Состояние вопроса и задачи исследования»* рассматриваются предназначение анализа опасностей, модели объекта исследований, проблемы анализа опасностей на основе теории надежности, возможность применения теории нечетких множеств, а также определяются цель и задачи исследования.

Во второй главе *«Разработка моделей и структурных элементов анализа опасностей системы «человек- машина-среда» на базе четких и нечетких множеств»* представлена основная терминология, изложен математический инструментарий анализа опасностей на базе четких множеств, предложены идеализированная модель СЧМС, её структурный и функциональный блоки, теоретическая модель обобщенного защитного устройства, выделен структурный блок и алгоритм анализа опасностей.

В работе, в частности, используются следующие определения: несчастный случай - чепе, заключающееся в повреждении организма человека; авария - чепе, заключающееся в повреждении элементов СЧМС (конструкционных, структурных, функциональных), изменяющих иерархию целей или затрагивающих целевую функцию, повреждении среды внутри конфигурации или окружающей природной среды за конфигурацией СЧМС. Несчастные случаи, аварии и катастрофы образуют группу н-чепе, при этом понятие опасности разбито на следующие формулировки: опасность - возможность н-чепе и тех чепе, которые к нему ведут, источник опасности - явление, откуда может проистекать опасность, повреждающий фактор - явление причиняющее повреждение.

Модель системы «человек-машина- среда». Среда обитания представлена в работе в виде пары $\langle W, Z \rangle$, где W- непустое множество элементов, а Z – множество событий или состояний, происходящих на W. Биосфера B, состоящая из таких объектов как атмосфера, гидросфера, литосфера, включается в W, также как объекты техносферы T. Взаимодействие компонентов СЧМС описывается множеством Z_M событий, содержащихся в Z. В общем случае СЧМС имеет пространственно - временную конфигурацию. За границей конфигурации СЧМС находится пространство, которое интерпретируется в работе, как окружающая среда.

На рис. 1 представлено схематическое изображение структурного блока СЧМС. Компоненту «человек» отданы функции системы управления и, в частности, СУО – системы управления опасностями.

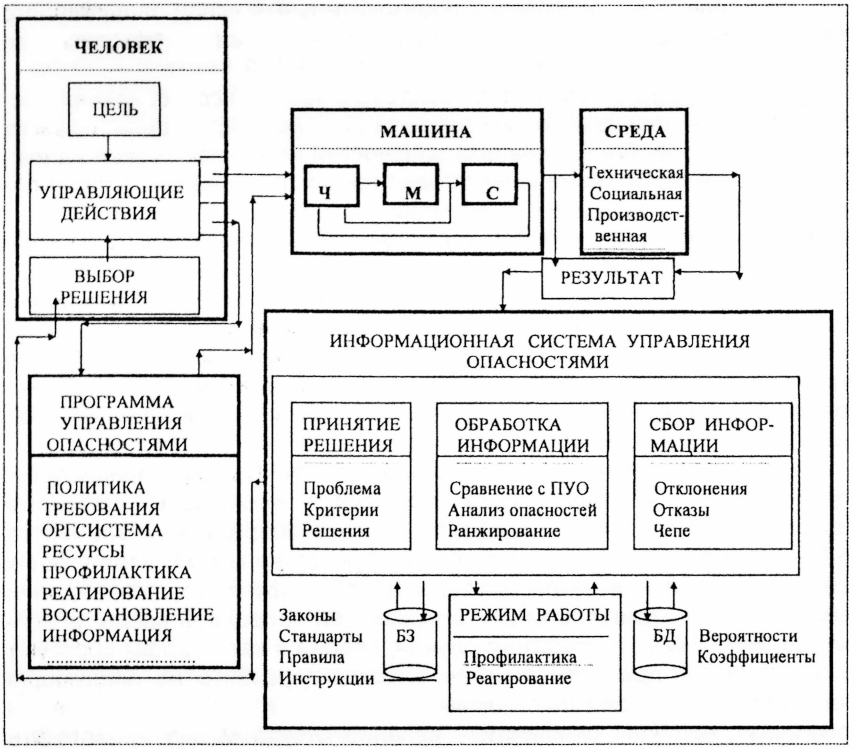


Рис. 1

На рис. 2 представлено схематическое изображение функционального блока СЧМС.

Режим работы СУО зависит от типов чепе, происходящих в СЧМС. При режимных чепе СЧМС функционирует штатно и работа СУО не выходит за рамки РПиГ, при этом обеспечивается высокая защищенность компонентов СЧМС. При проектных и запроектных чепе СЧМС функционирует за пределами штатного режима; СУО работает в режиме реагирования и восстановления, при этом, если имеют место проектные чепе, то исполняются некоторые элементы РР и РВ, а при запроектных чепе- практически все элементы, заложенные в эти подсистемы и, в частности, необходимый комплекс восстановительных работ (рис. 2).

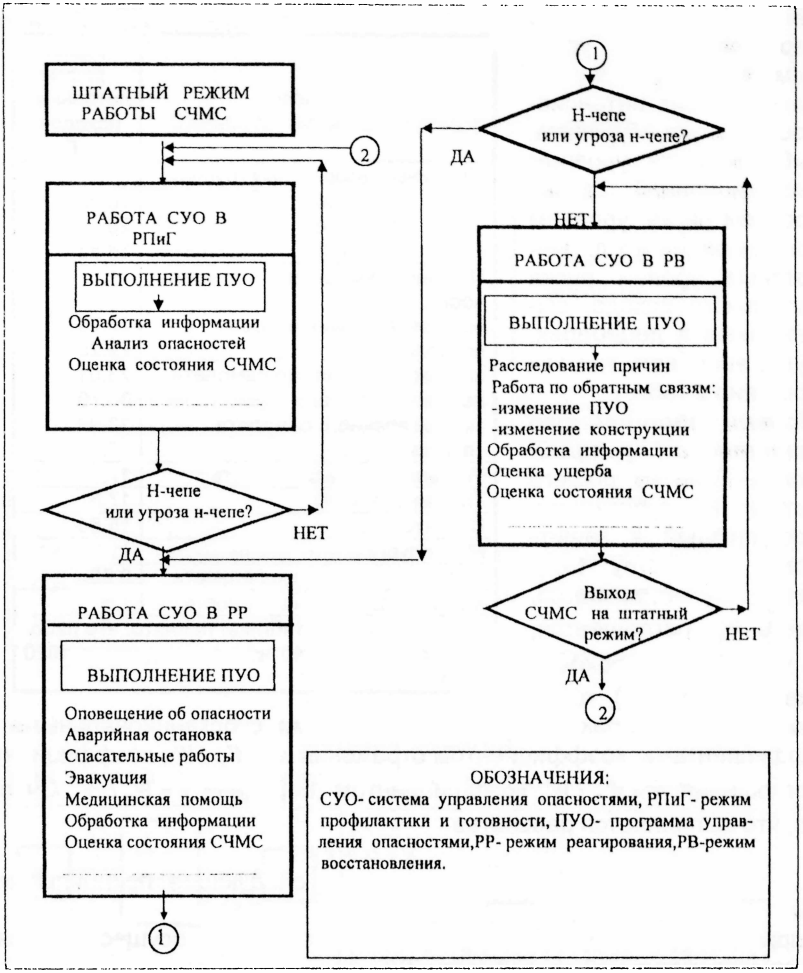


Рис. 2

Компонент «среда» может пребывать в неповрежденном состоянии, принятом за нормативное состояние, или может пребывать в течение определенного времени в состоянии повреждения.

Степень повреждения среды в работе характеризуется уровнями величин в децибелах: уровнем интенсивности звука, уровнем виброскорости, уровнем экспозиционной дозы, уровнем риска, уровнем концентрации и т.д. Некоторые уровни риска летального исхода, выраженные в децибелах, будут выглядеть так, как показано в табл.1.

Таблица 1

Условия	Уровень риска летальных исходов, дБ
Мужчины в возрастных группах:	
0...19 лет	18.92
20..49 лет	20
50...80	26.23
Профессиональная деятельность:	
рабочий промышленности	20.79
верхолаз	29.29
экипаж гражданского самолета	23.01
летчик-испытатель	30.79
экипаж военного самолета	33.98
спортсмен	16.02
Угольная промышленность[1)]	17.6
Транспорт	17.6
Строительство	15.84
Металлургия	11.28
Электронная промышленность	8.85
Химическая промышленность	7.6
[1)] Здесь и ниже в таблице принято, что рабочий работает по 40 часов в неделю и 1920 часов в году.	

Модель обобщенного защитного устройства. Если из общего потока W субстанции, поступающей к защитному устройству (ЗУ), часть W_κ отражается, часть W_α поглощается, и часть W_τ проходит сквозь ЗУ (рис 3), то ЗУ может быть охарактеризовано следующими субстанциональными коэффициентами: коэффициентом отражения $\kappa = W_\kappa / W$, коэффициентом поглощения $\alpha = W_\alpha / W$, коэффициентом передачи $\tau = W_\tau / W$. Очевидно, что выполняется равенство

$$\kappa + \alpha + \tau = 1$$

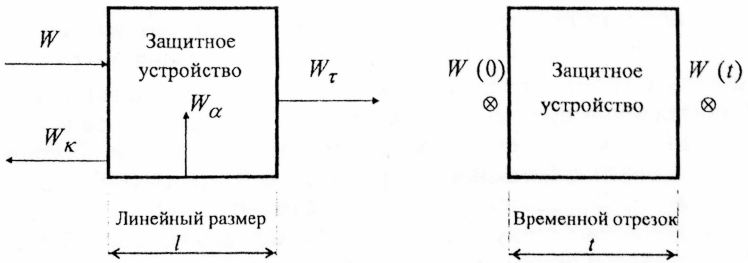
Это равенство позволяет выделить следующие принципы защиты:

- принцип, при котором коэффициент $\kappa \to 1$, защита осуществляется за счет отражательной способности ЗУ;
- принцип, при котором коэффициент $\alpha \to 1$, защита осуществляется за счет поглощающей способности ЗУ;
- принцип, при котором коэффициент $\tau \to 1$, защита осуществляется за счет свойств прозрачности защитного устройства.

На практике перечисленные принципы комбинируют, получая различные методы защиты, среди которых наибольшее распространение получили методы защиты изоляцией и поглощением (рис.3).

Методы изоляции используют тогда, когда источник и приемник субстанции, являющийся одновременно объектом защиты, располагаются с разных сторон от ЗУ.

СХЕМА-МОДЕЛЬ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА

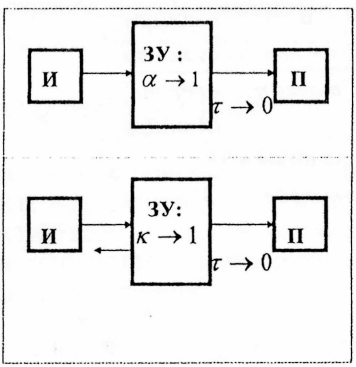


Обозначения:

$\kappa = W_\kappa \setminus W$ - коэффициент отражения;
$\alpha = W_\alpha \setminus W$ - коэффициент поглощения;
$\tau = W_\tau \setminus W$ - коэффициент передачи;
$W(0)$ - параметр на входе;
$W(t)$ - параметр на выходе;

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Схемы защиты методами изоляции



Схемы защиты методами поглощения

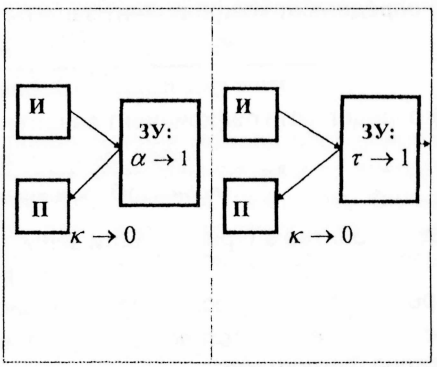


Рис. 3

В основе этих методов лежит уменьшение прозрачности среды между источником и приемником, т. е. выполнения условия $\tau \to 0$. При этом можно выделить два основных метода изоляции: метод, при котором уменьшение прозрачности среды достигается за счет поглощения субстанции ЗУ (т.е. условие $\tau \to 0$ обеспечивается условием $\alpha \to 1$), и метод, при котором уменьшение прозрачности среды достигается за счет высокой отражательной способности ЗУ (т.е. условие $\tau \to 0$ обеспечивается условием $\kappa \to 1$).

В основе методов поглощения лежит принцип увеличения потока субстанции, прошедшей в ЗУ, т.е. достижения условия $\nu = (\alpha + \tau) \to 1$. Принципиально можно различать как бы два вида поглощения субстанции ЗУ: поглощение субстанции самим ЗУ за счет ее отбора в той или иной форме (характеризуется коэффициентом α, рис. 3) и поглощение субстанции в связи с большой прозрачностью ЗУ (характеризуется коэффициентом τ). Так как при $\nu \to 1$ коэффициент $\kappa \to 0$, то методы поглощения используют для уменьшения отраженного потока субстанции; при этом источник и приемник субстанции часто находятся с одной стороны от ЗУ.

При рассмотрении гармонических процессов наряду с энергетическими характеристиками используют амплитудные и наряду с коэффициентом α используют коэффициент потерь, который характеризует количество энергии, рассеянной ЗУ:

$$\eta = W_S / \omega\, \varepsilon = \varepsilon_S / 2\pi\varepsilon,$$

где W_S и ε_S - средние за период колебаний T соответственно мощность потерь и рассеянная за тоже время энергия; ω -круговая частота; ε - энергия, запасенная системой.

В большинстве случаев качественная оценка степени реализации целей защиты может осуществляться двумя способами:

1) определяют коэффициент защиты k_W в виде отношения:

$$k_W = \frac{\textit{поток субстанции в данной точке при отсутствии ЗУ}}{\textit{поток субстанции в данной точке при наличии ЗУ}}$$

2) определяют коэффициент защиты k_W в виде отношения:

$$k_W = \frac{\textit{поток субстанции на входе в ЗУ}}{\textit{поток субстанции на выходе из ЗУ}}$$

Введено понятие эффективности защиты:

$$e = 10 \lg k_W$$

При решении практических задач обычно можно принять $k_W = 1/\tau$, и качественная оценка степени реализации целей защиты может быть выражена формулами:

$e = 10\lg(1/\tau)$ в децибелах, $e = 100(1-\tau)$ в процентах.

На практике при оценке эффективности работы ЗУ иногда используют понятие к.п.д.:

$$\eta = \frac{W - W_\tau}{W} = 1 - \frac{W_\tau}{W}$$

При защите от энергетического воздействия в этой формуле W и W_α соответственно потоки энергии на входе и выходе из ЗУ. Применяя формулу - энергия $E = mc^2$, где m и c соответственно масса вещества и скорость света, приходим к соотношению

$$\eta = \frac{M - M_\tau}{M} = 1 - \frac{M_\tau}{M},$$

в котором M и M_τ - потоки вещества на входе и выходе из ЗУ, при этом очевидны соотношения: $\partial E/\partial t = W$, $\partial m/\partial t = M$, $c = const$. Если объемные расходы на входе и выходе из ЗУ не сильно отличаются, то из последнего выражения имеем формулу для расчета эффективности очистки, выраженную через соответствующие концентрации примеси на входе и выходе из ЗУ:

$$\eta = \frac{c - c_\tau}{c} = 1 - \frac{c_\tau}{c}$$

Математическое описание работы обобщенного ЗУ можно построить на базе дифференциальных уравнений вида

$$dQ_i / dl = f_i(Q_1, Q_2, \ldots, Q_n) \;\; ; \quad i = 1,2,\ldots,n \;,$$

где Q_i - количественная характеристика i – ого элемента ЗУ.

После разложения в ряды Тейлора общее решение этой системы уравнений будет иметь вид ($i = 1,2,\ldots,n$):

$$Q_i = Q_{i\,1}\exp(\lambda_1 l) + Q_{i\,2}\exp(\lambda_2 l) + \ldots + Q_{i\,n}\exp(\lambda_n l) + Q_{i\,11}\exp(2\lambda_1 l) + \ldots$$

где λ_i - корни характеристического уравнения.

Сохраняя в этом выражении только первый член разложения функции $f(Q_\tau)$ в ряд Тейлора, имеем решение

$$\tau \equiv Q_\tau / Q = \exp(a_1 l) \;,$$

где Q равно $Q_\tau\,(l)$ при $l = 0$.

В работе показано, что предложенная модель обобщенного защитного устройства применима как к системам защиты от энергетических воздействий, так и к устройствам очистки (циклонам, фильтрам, скрубберам и т.д.). В частности, для энергетических источников при защите методами изоляции эффективность можно выразить следующими формулами:

Вибрации:

$$e = 10\lg\left[\eta^2 + \left(\omega^2/\omega_0^2 - 1\right)^2\right] - 10\lg\left(1 + \eta^2\right)$$

Звуковое поле:

$$e = 10\lg\left|\left[\cos^2 k_* h + 0{,}5\,(z_{12}^{-1} + z_{12})\sin^2 k_* h\right]\right|$$

Электромагнитное поле: $e = 20\lg\left|\left[\operatorname{ch}\hat{k}_* h + 0{,}5\left(z_{12}^{-1} + z_{12}\right)\operatorname{sh}\hat{k}_* h\right]\right|$

Ионизирующие γ - излучения: $e = 4.34\,\delta h - 10\lg B(\delta h, \varepsilon, z)$

Лазерное излучение: $e = 10D$,

где ω_0, η-соответственно собственная частота вибросистемы и коэффициент потерь; $\hat{k}_*, \delta$ и h- комплексный коэффициент распространения волны в среде, коэффициент затухания и толщина ЗУ; ε и z- энергия γ- квантов и атомный номер защитной среды; $B(\circ)$- функция рассеянного излучения; D- оптическая плотность светофильтра.

Введенное понятие эффективности позволяет однообразно оценивать выполненные на объектах защитные мероприятия и в виде векторных компонент суммировать итог.

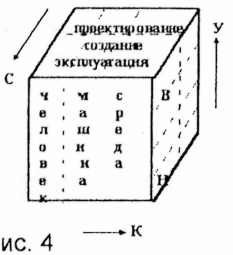


Рис. 4

Алгоритм анализа СЧМС. Кроме уровней (У) и компонентов (К) в СЧМС целесообразно выделить отдельные стадии жизненного цикла (С). Для простоты можно ограничиться следующими из них: стадия проектирования, когда определяются задачи, формируются требования, рассчитываются параметры, разрабатываются чертежи; стадия создания, когда в процессе изготовления или производства концепция и конструкция начинают воплощаться в жизнь; стадия эксплуатации, когда СЧМС осуществляет возложенные на нее рабочие функции и затем ликвидируется. Таким образом, можно получить структурный блок анализа опасностей СЧМС, изображенный на рис. 4 (В- высший, Н- низший уровни).

Согласно предложенному в работе алгоритму анализ СЧМС проводится покомпонентно, при этом имеется в виду, что в соответствии с принципом иерархичности компонентами СЧМС могут быть компоненты "машина", являющиеся по своей сути более простыми комплексами СЧМС. Каждый компонент анализируется как с точки зрения его структуры, так и выполняемого им процесса, которые должны отвечать определенным требованиям безопасности, заложенным, в частности, в стандартах, правилах, инструкциях и т.д. Для очень простых компонентов может оказаться, что такое предварительное исследование достаточно: компонент удовлетворяет нормам и не требует более детального исследования. Тем не менее, в процессе анализа всегда можно обнаружить более сильные и более слабые стороны анализируемого компонента. Поэтому алгоритм концентрирует внимание на тщательном рассмотрении слабых мест, их устранении или на организационных мероприятиях, уменьшающих уровень последствий в случае возможных обстоятельств. В том случае, когда после предварительного анализа

структуры и процесса становится ясной необходимость более детального исследования, то выявление опасностей осуществляется сперва качественными, затем количественными методами. Выбор того или иного качественного метода диктуется характеристиками и предназначением самого компонента, а также опытом исследователя и его знанием методов. Количественный анализ опасностей в первую очередь зависит от имеющейся в распоряжении исследователя информации. Если база данных о вероятностях чепе достаточна, то предпочтение следует отдать анализу на базе четких множеств, который завершается классическим расчетом риска и его интерпретацией. Для сложных систем, характеризующихся неопределенностью вследствие, например, наличия человеческого фактора или недостатка данных, анализ риска и ранжирование могут быть проведены на основе нечетких множеств.

Отметим также, что алгоритм требует, чтобы качественный и количественный анализы опасностей заканчивались также как и предварительный, т.е. анализом слабых мест. Если устранение слабых мест в рамках данной СЧМС невозможно, то следует внести необходимые изменения в конструкцию или процесс. После любых изменений в конструкции, монтаже, технологии, процессе и т.д. анализ опасностей СЧМС начинается заново.

В третьей главе *«Разработка и систематизация методов качественного анализа опасностей»* предложены название и содержание основных методов анализа в виде: предварительный анализ опасностей (ПАО), анализ последствий отказов (АПО), анализ опасностей деревом причин потенциального чепе (АОДП), анализ опасностей деревом последствий потенциального чепе (АОДПО), анализ опасностей методом потенциальных отклонений (АОМПО), анализ ошибок персонала (АОП), причинно- следственный анализ (ПСА), экспертиза СЧМС. Созданные алгоритмы анализа и примеры доведены до уровня практического применения

В четвертой главе *«Разработка и систематизация методов количественного анализа опасностей на базе четких множеств и детерминированного подхода»* рассматриваются математическая модель компонента «машина» и техника вычисления функции опасности, поврежденное состояние компонента «среда» и предлагается решение задачи аварийного сброса нестационарными источниками нестабильных сточных вод в водоёмы. Рассматривается также, отнесенное к компоненту «человек», ранжирование опасностей на базе вероятностного подхода и метода иерархий.

Состояние компонента «машина» в работе описывается: вектором системы $Q = (Q_1, Q_2, ..., Q_n)$; вектором индикаторов чепе $\xi_* = (\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n)$; логической функцией системы; $E = F_E(E_1, E_2, ..., E_n)$; инди-

каторной функцией системы $\xi = F_{\xi}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n)$; функцией опасности $p = F_p(p_1, p_2, \ldots, p_n)$.

В работе изложен подробный инструментарий вычисления функции опасности.

Состояние компонента «среда». Для определения уровня концентрации примеси, содержащейся в атмосфере или в водоёме, рассмотрены оба подхода к описанию поведения примеси в турбулентной среде: вероятностное и временное осреднение полей концентраций. Рассмотрено повреждение среды аварийными выбросами, существенными характеристиками которых являются стационарность или не стационарность источника и временной интервал.

Решалась задача аварийного сброса сточных вод в водоёмы. Учитывалось, что перед сбросом сточные воды могут быть помещены в ёмкость - отстойник, где подвергаются необратимой реакции разложения вида $A \to B$. Для ёмкости объёмом V, в которую сбрасываются аварийные сточные воды с объемным расходом q_0 при концентрации компонента c_0, и из которой они вытекают, имея расход q, получено решение в виде

$$c'(X,Y,Z)=$$

$$\begin{cases} \dfrac{1}{Y}\left(1-e^{-XY}\right) & \text{если } 0 < X < 1 \\ \dfrac{1}{Y+Z}+\left[\dfrac{1}{Y}\left(1-e^{-Y}\right)-\dfrac{1}{Y+Z}\right]e^{-Z(X-1)\left(\frac{Y}{Z}+1\right)} & \text{если } 1 \le X \le X_0 \\ \left[\dfrac{1}{Y+Z}+\left[\dfrac{1}{Y}\left(1-e^{Y}\right)-\dfrac{1}{Y+Z}\right]e^{-Z(X_0-1)\left(\frac{Y}{Z}+1\right)}\right]e^{-(Z+Y)(X-X_0)} & \text{если } X_0 < X < X_1 \end{cases}$$

Здесь $c'=\dfrac{c}{c_0}$, $X=\dfrac{t q_0}{V}$, $Y=\dfrac{kV}{q_0}$, $Z=\dfrac{q}{q_0}$, при X_0 прекращается процесс подачи вод в ёмкость, а при X_1 заканчивается процесс истечения, k - константа скорости необратимой реакции первого порядка. Поля концентраций определялись на базе уравнения

$$c'(x,y,z,t)=\int_0^{t=\theta} S(\tau)\,G(x,y,z,\tau)\,d\tau,$$

где функция влияния точечного источника, выбрасывающего вещество в плоский слой $0 < z < h$, $-\infty < x, y < +\infty$, может быть записана в виде:

$$G(x,y,z,t)=\frac{1}{2\pi tKh}\exp\left[-\frac{(x-Ut-\xi)^2+(y-\eta)^2}{4Kt}\right]\times$$

$$\times\left[\frac{1}{2}+\sum_{n=0}^{\infty}\exp\left[-\left(n\pi\frac{\sqrt{K}}{h}\right)^2 t\right]\cos\left(\frac{n\pi z}{h}\right)\cos\left(\frac{n\pi\zeta}{h}\right)\right]$$

Компонент «человек». При вероятностном подходе ранжирование рисков можно провести в зависимости от тяжести повреждения и частоты потенциального чепе (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика и класс частоты чепе	Категория и тяжесть повреждения			
	Катастрофическое (1)	Критическое (2)	Ощутимое (3)	Пренебрежимое (4)
Частое (A)	1A	2A	3A	4A
Вероятное (B)	1B	2B	3B	4B
Возможное (C)	1C	2C	3C	4C
Допустимое (D)	1D	2D	3D	4D
Нулевое (E)	1E	2E	3E	4E
Классификация риска: 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 3A 1D, 2C, 2D, 3B, 3C 1E, 2E, 3D, 3E, 4A, 4B 4C, 4D, 4E			*Ранжирование риска*: Неприемлем Нежелателен Допустим с пересмотром Допустим	

Если в результате анализа опасностей чепе отнесено по тяжести потенциального повреждения к категории 1 (катастрофическое), а частота чепе классифицирована классом А (частое), то усилия должны быть сосредоточены на устранении опасности конструкторскими мерами. Если потенциальное чепе имеет категорию 1 тяжести повреждения , то класс частоты должен быть Е, а при классе частоты А должна быть категория тяжести 4, тогда величина риска не будет большой.

Для решения некоторых задач, связанных с ранжированием опасностей, может быть применен с небольшими изменениями метод анализа иерархий. Если имеется множество явлений $R=\{R_1, R_2, ..., R_n\}$ (например, источников опасностей, объектов СЧМС), то значимость явлений R_i и R_j можно оценить числами v_i и v_j и представить в виде элемента $a_{ij}=v_i/v_j$ матрицы A $(i,j=\overline{1,n})$. Если A-тензор 2-ого ранга, I-тензорная единица, а v-вектор в n- мерном пространстве, то

$(A - nI)\cdot\nu = 0$, т.е. вектор значимости ν является собственным вектором матрицы A с собственным значением n.

В работе рассмотрены внешние воздействия, которые являются источниками опасности в том смысле, что могут приводить к повреждениям классифицируемым как н-чепе. Степень повреждения СЧМС будет зависеть от уровня внешнего воздействия. Однако при одном и том же уровне внешнего воздействия степень повреждения СЧМС будет определяться ее уязвимостью.

В пятой главе *«Разработка методов анализа опасностей на базе нечетких множеств»* разрабатываются на базе нечетких множеств: математическая модель нечеткой СЧМС, методика лингвистического анализа риска на базе нечеткой логики, методика определения классов опасности систем компонента «машина» и методика классификации опасностей и ранжирования СЧМС.

В качестве теоретической основы для создания моделей нечеткой СЧМС взято нечеткое условное высказывание «если x есть P, то y есть Q, иначе y есть S», где x, y - имена объектов; P, Q, S - нечеткие понятия, которые с помощью функции принадлежности μ (рис. 5) можно записать в виде

$$P = \int_X \mu_P(x)/x;\ Q = \int_Y \mu_Q(y)/y;\ S = \int_Y \mu_S(y)/y$$

Имеется несколько альтернатив для перевода высказывания в нечеткое отношение R:

1. Арифметическое правило или правило Лукашевича

$$R = (P \to Q) \cap (\neg P \to S) = \int_{X\times Y} \{1 \wedge [1 - \mu_P(x) + \mu_Q(y)] \wedge [\mu_P(x) + \mu_S(y)]\}/(x,y)$$

2.Размытое бинарное правило

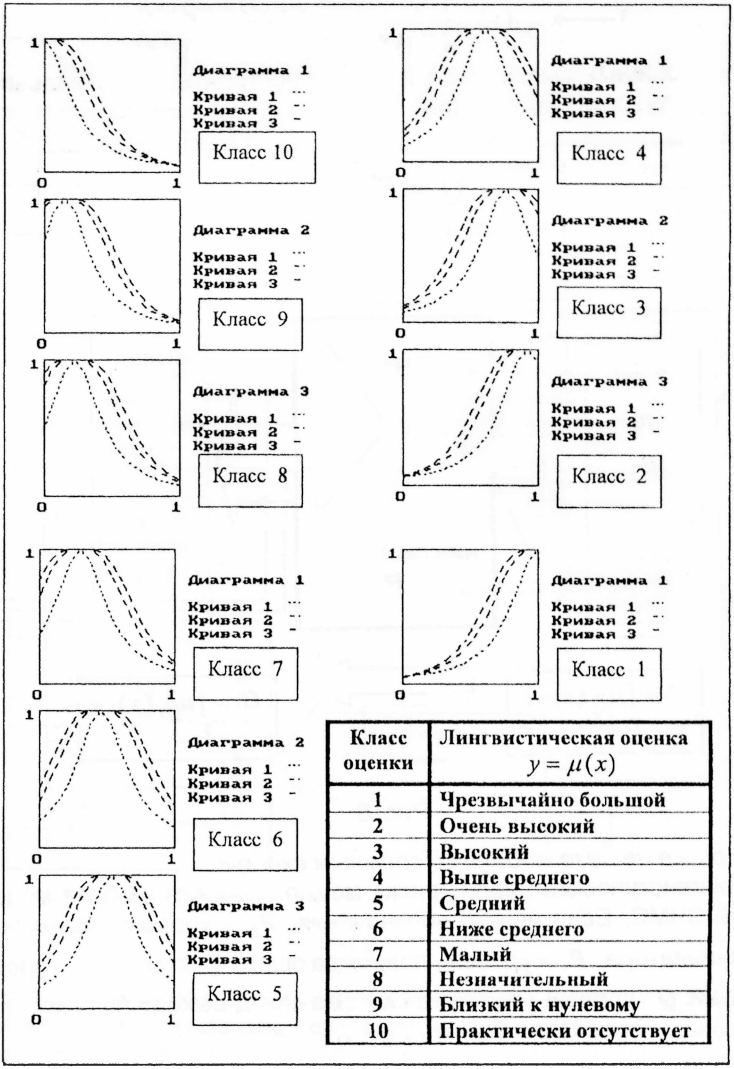
$$R = (\neg P \times Y \cup X \times Q) \cap (P \times Y \cup X \times S) =$$
$$= \int_{X\times Y} \{[(1 - \mu_P(x)) \vee \mu_Q(y)] \wedge (\mu_P(x) \vee \mu_S(y))\}/(x,y)$$

3.Максиминное правило

$$R = (P \times Q) \cup (\neg P \times S) =$$
$$= \int_{X\times Y} \{[\mu_P(x) \wedge \mu_Q(y)] \vee [(1 - \mu_P(x)) \wedge \mu_S(y)]\}/(x,y)$$

4. Правило геделевской логической системы

$$R = [(P \times Y) \to (X \times Q)] \cap [(\neg P \times Y) \to (X \times S)] =$$
$$= \int_{X\times Y} [\mu_P(x) \xrightarrow[g]{} \mu_Q(y)] \wedge [1 - \mu_P(x) \xrightarrow[g]{} \mu_S(y)]/(x,y)$$



Класс оценки	Лингвистическая оценка $y = \mu(x)$
1	Чрезвычайно большой
2	Очень высокий
3	Высокий
4	Выше среднего
5	Средний
6	Ниже среднего
7	Малый
8	Незначительный
9	Близкий к нулевому
10	Практически отсутствует

Рис. 5.

МГТУ
им. Н. Э. Баумана
Библиотека

В последнем выражении

$$\mu_P(x) \xrightarrow[g]{} \mu_Q(y) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_P(x) \le \mu_Q(y); \\ \mu_Q(y), & \text{если } \mu_P(x) > \mu_Q(y); \end{cases}$$

На базе условных высказываний можно построить представление нечеткой технической системы (рис. 6).

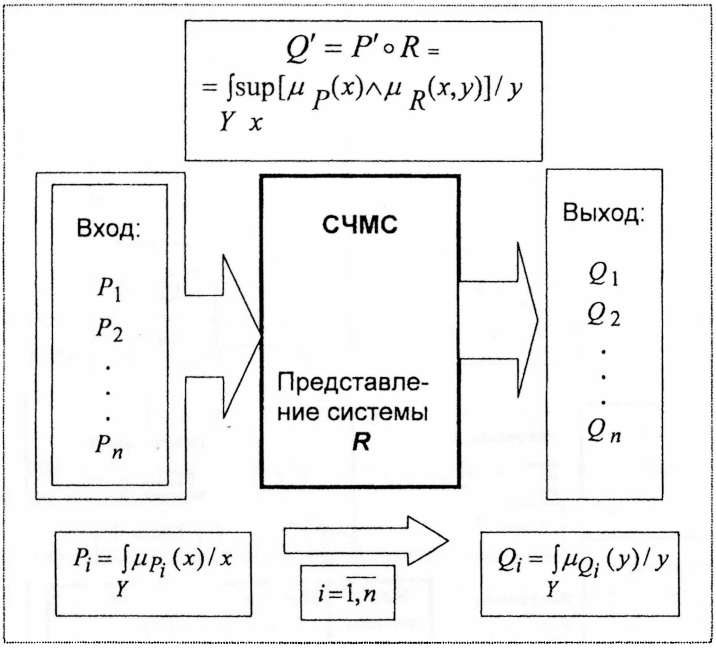


Рис. 6

Оценка риска на базе модели со сложным входом

Лингвистический анализ риска можно провести на базе моделей нечеткой СЧМС. Если ввести обозначения: P_u - уровень возможности чепе - инициатора; P_v - уровень повреждающего фактора; P_w - уровень экспозиции; Q - уровень риска, то система «вход-выход» получит вид:

$$\text{«если } P_u = u,\ P_v = v,\ P_w = w,\ \text{то } Q = z\text{»},$$

Алгоритм анализа риска можно представить в виде этапов, разбитых на два блока: блок формирования исходных данных и блок расчета и классификации риска (рис. 7). В работе проведено компьютерное исследование логических правил на предмет выбора наиболее

удобного для оценки и классификации риска и выполнено сравнение результатов расчета по данной методике с реальными данными.

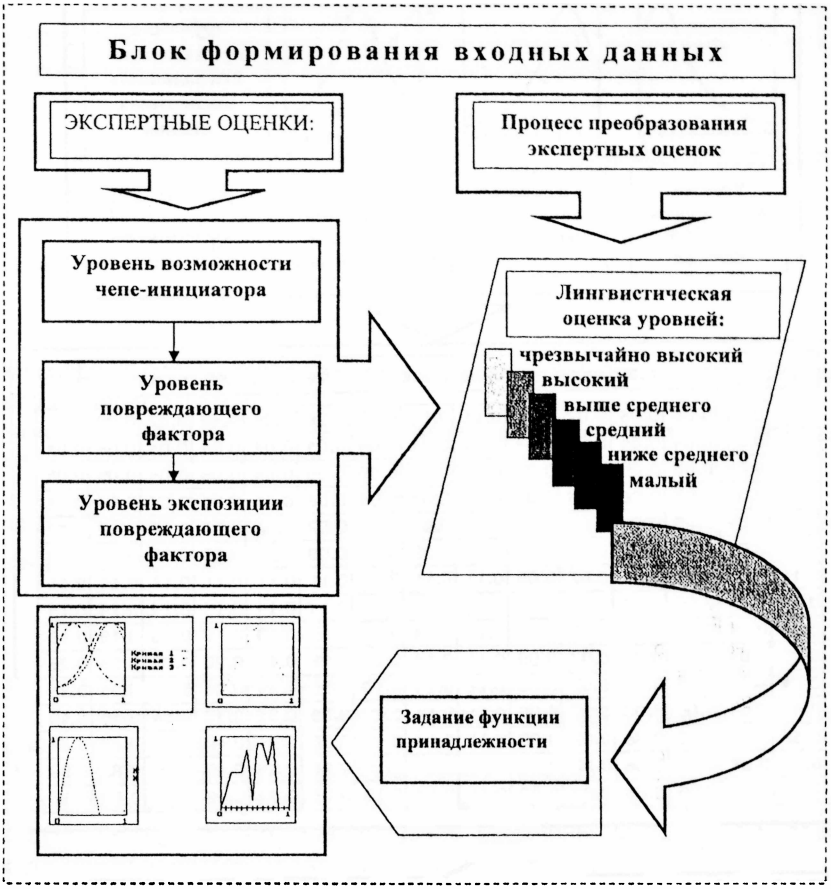
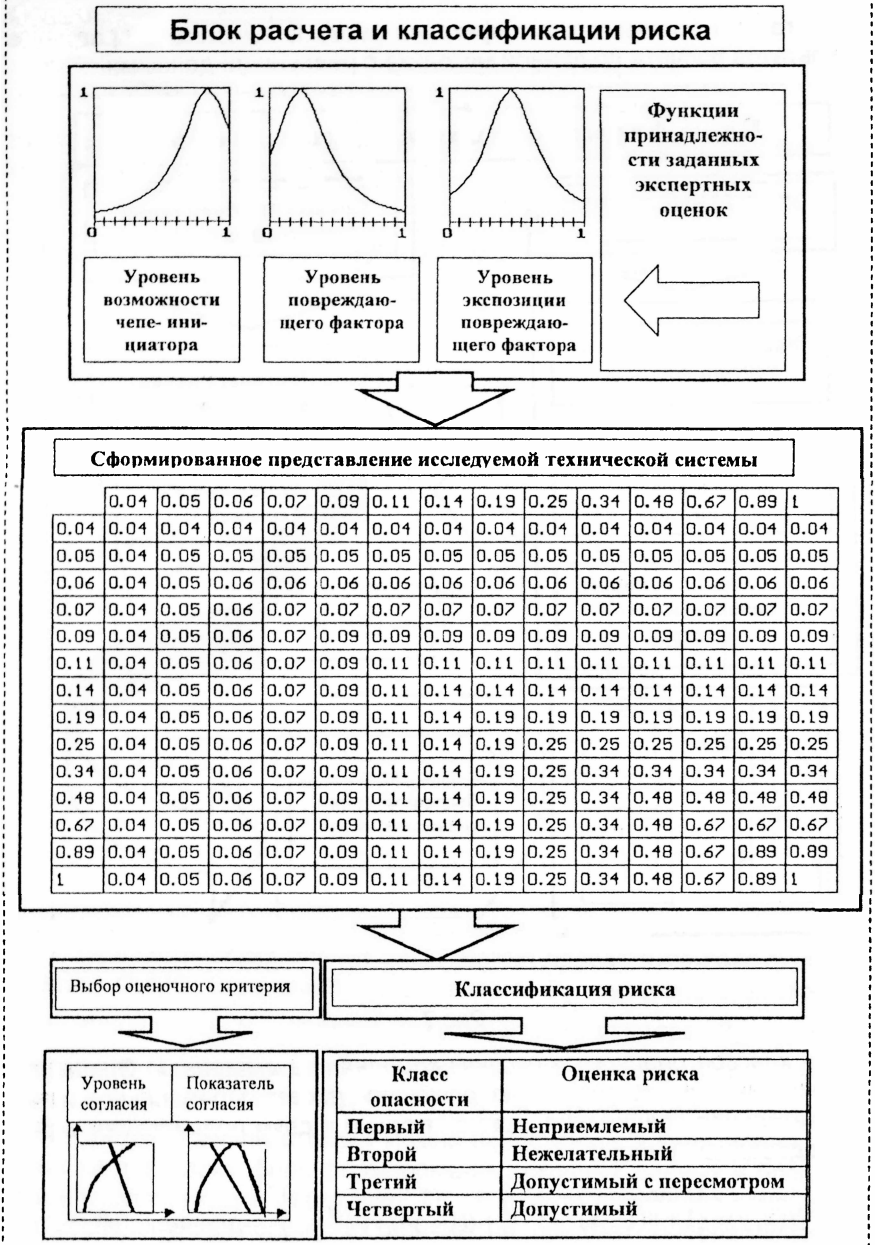


Рис.7

Оценка классов опасности систем компонента «машина». Операции над нечеткими множествами, позволяющие описать параллельное и последовательное соединения, применительно к двум подсистемам в работе задавались в виде:

$$H(x,y)=\left\{1+\left[((1-x)/x)^{1/\alpha}+((1-y)/y)^{1/\alpha}\right]^{\alpha}\right\}^{-1}$$ -для чепе "И";



	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.25	0.34	0.48	0.67	0.89	1
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
0.07	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.09	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
0.11	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
0.14	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
0.19	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
0.25	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.34	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.25	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
0.48	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.25	0.34	0.48	0.48	0.48	0.48
0.67	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.25	0.34	0.48	0.67	0.67	0.67
0.89	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.25	0.34	0.48	0.67	0.89	0.89
1	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.19	0.25	0.34	0.48	0.67	0.89	1

Класс опасности	Оценка риска
Первый	Неприемлемый
Второй	Нежелательный
Третий	Допустимый с пересмотром
Четвертый	Допустимый

Рис. 7 (продолжение)

$$G(x,y)=\frac{\left\{[x/(1-x)]^{\beta}+[y/(1-y)]^{\beta}\right\}^{1/\beta}}{\left\{1+[x/(1-x)]^{\beta}+[y/(1-y)]^{\beta}\right\}^{1/\beta}}$$ -для чепе "ИЛИ".

Здесь значения параметров α и β характеризуют оценку соединений. Функции принадлежности соответствовали выражению:

$$y=\mu(x)=(1+c|x-x_0|^{m})^{-1}$$

Если, $\mu^{*}(x)$ есть функция принадлежности, полученная в результате анализа, то выделив α-уровни нечетких множеств:

$$\mu_{\alpha}^{*}=[x_{1*}(\alpha),(x_{2*}(\alpha)],\qquad \mu_{\alpha}=[x_1(\alpha),(x_2(\alpha)],$$

можно найти расстояние между ними в виде

$$D=\int_0^1\left\{[x_{1*}(\alpha)-x_1(\alpha)]^2+[x_{2*}(\alpha)-x_2(\alpha)]^2\right\}^{0,5}d\alpha$$

Опасность системы классифицируем, приводя функции к стандартному виду по параметрам x_0 и m.

Ранжирование СЧМС на базе нечетких множеств. Пусть идентифицирован некоторый оцениваемый контур

$$E=\{e_1,e_2,\cdots,e_n\}$$

где e_j-элемент контура. Нормативный, целевой и реальный спектры можно трансформировать к виду

$$T=\int_E \mu_E(e)/e;\qquad C=\int_E \mu_C(e)/e;\qquad R=\int_E \mu_R(e)/e,$$

где $\mu_i(e)$-функция принадлежности элемента e к i-ому множеству, i = T, C, R. Несоответствие реального спектра нормативному может указывать на наличие опасности.

В работе получены критерии оценки опасности:

1.Если условие отсутствия опасности может быть задано в виде $Q \le [Q]$, где $[Q]$- допустимое значение величины Q, то наличие опасности может характеризовать следующий критерий

$$K_e(T,R)=1-\{1\wedge[1+\mu_T(e)-\mu_R(e)]\}$$

2. Если условие отсутствия опасности может быть задано в виде $Q \ge [Q]$, то критерий опасности будет

$$K_e(T,R)=1-\{1\wedge[1+\mu_R(e)-\mu_T(e)]\}$$

3. Когда норма задается в виде интервала $[Q^{-},Q^{+}]$, то критерий опасности может быть задан в виде

$$K_e(T,R)=1-\min\{1\wedge[\mu_R^{-}(e)-\mu_T^{-}(e)];\ 1\wedge[1+\mu_T^{+}(e)-\mu_R^{+}(e)]\}$$

С помощью полученных выражений можно сформировать критерий суммарной оценки опасности СЧМС в виде

$$K_S(T,R) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} K_{e_i}(T,R)$$

В качестве критерия соответствия СЧМС нормативным требованиям можно использовать относительные расстояния:

$$\delta(R,T) = \begin{cases} \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |\mu_T(e_i)) - \mu_R(e_i)| \\ \\ \{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} [\mu_T(e_i)) - \mu_R(e_i)]^2\}^{0,5} \end{cases}$$

Предложенные критерии $K_e(T,R)$, $K_S(T,R)$, $\delta(R,T)$ позволяют выполнить следующие виды ранжирования СЧМС по идентифицированному контуру элементов (рис. 8):

1. При наличии единого спектра требований;
2. При наличии κ спектров требований;
3. По критерию суммарной оценки опасностей;
4. По матрице подобия СЧМС друг другу;
5. По степени соответствия нормативным требованиям;
6. По степени близости к различным нормативным требованиям;
7. По степени удовлетворения всем нормативным требованиям.

В шестой главе *«Анализ опасностей стенда испытаний модельного жидкостного реактивного двигателя на базе нечетких множеств»* определяются классы опасности систем и стенда испытаний ЖРД.

Проект стенда для испытаний модельного жидкостного ракетного двигателя разрабатывался Научно-исследовательским институтом энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. Стенд позволяет осуществлять многократный запуск ЖРД с целью исследования его характеристик. В состав стенда входят :

- огневой бокс, в котором размещается стапель с установленным на нем ЖРД, газоотводящее устройство, исполнительные органы пневмогидравлической системы и подводящие трубопроводы, датчики и кабели электрических систем управления и измерения;
- отсек окислителя, в котором расположены баллоны газообразного окислителя и азота и элементы систем подачи окислителя и азота;
- отсек горючего, в котором расположены баки для хранения и подачи горючего и элементы системы подачи горючего; отсек управления, в котором находятся пневматический и электрический пульты управления агрегатами стенда, блок электрического

питания, коммуникационный блок систем управления и измерения, ЭВМ, рабочие места операторов.

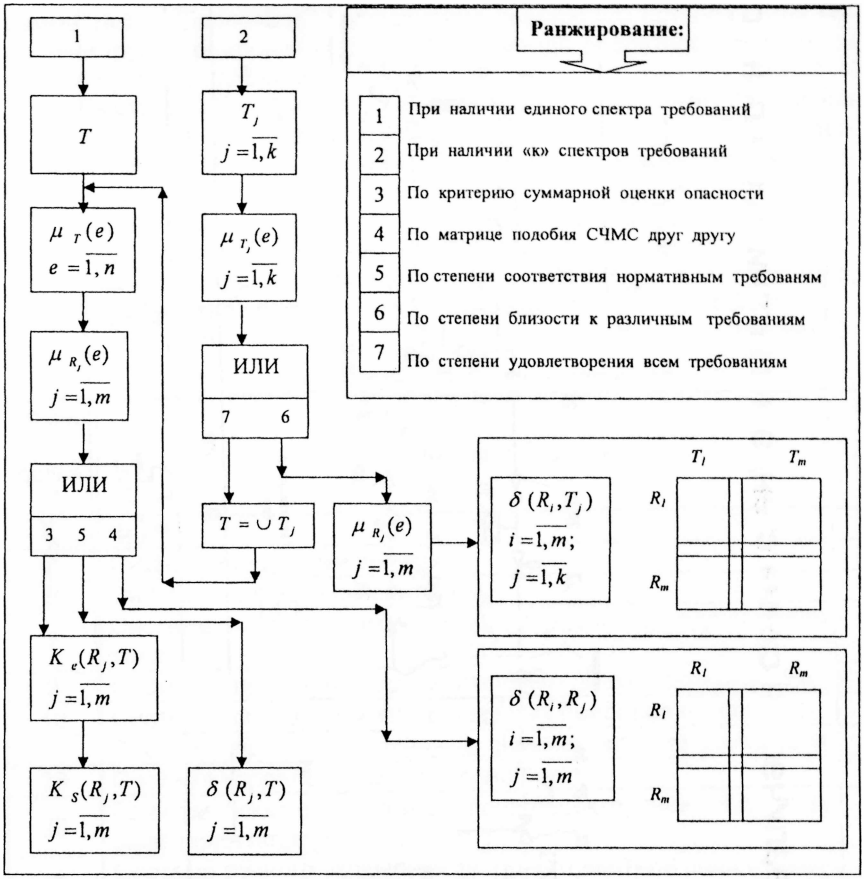


Рис. 8

На рис. 9 представлена принципиальная пневмогидравлическая схема стенда испытаний модельного ЖРД, предусматривающая управление работой двигателя как в автоматическом, так и в полуавтоматическом и ручном режимах.

Стенд состоит из систем подачи окислителя, подачи горючего, подачи охлаждающей камеру жидкости, электропневматического управления агрегатами стенда, стапеля, силоизмерительного устройства и других элементов.

Пневмогидравлическая схема стенда испытаний модельного ЖРД

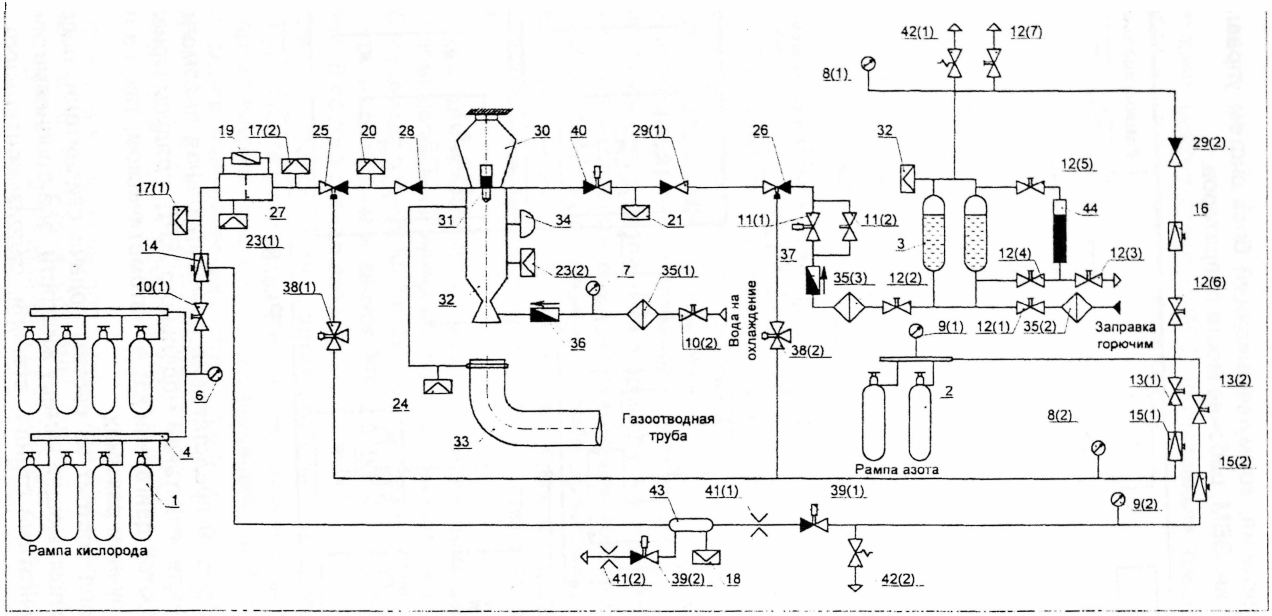


Рис. 9

В автоматическом режиме программа обеспечивает: автоматический запуск двигателя; вывод его на заданные режимы работы; регистрацию параметров на заданном режиме; останов двигателя; формирование файлов результатов испытания. В автоматическом режиме программа также обеспечивает выполнение аварийного останова: при нарушении функционирования стенда; по команде оператора ЭВМ; по команде с пульта управления.

Введены обозначения: X_SQ- система (подсистема) Q подачи окислителя; Y_sQ- система (подсистема) Q подачи горючего; Z_SQ- система (подсистема) Q подачи охлаждающей жидкости; W_SQ- система (подсистема) Q зажигания; X_KQ- компонент Q системы подачи окислителя; Y_kQ- компонент Q системы подачи горючего; Z_KQ- компонент Q системы подачи охлаждающей жидкости ; W_KQ- компонент Q систем

Выделены подсистемы вышеперечисленных систем. Например, подсистемы системы подачи окислителя выделены в виде табл. 3.

Таблица 3.

Подсистемы системы подачи окислителя

Номер индекса Q	Наименование системы
1	2
2	Система подачи окислителя
6	Система заправки окислителем
7	Система электропневматического управления подачи окислителя
9	Система управления исполнительным редуктором окислителя
10	Система контрольно- измерительных приборов окислителя
11	Система управления отсечным пневмоклапаном окислителя
26	Система управления рампой окислителя
28	Электрическая система управления электропневмоклапаном включения подачи окислителя
29	Система ручного включения запорного вентиля подачи окислителя
31	Система электропневматического управления исполнительным редуктором окислителя
33	Система контроля давления окислителя
34	Система мерного участка расхода окислителя
36	Система электропневматического управления отсечным пневмоклапаном окислителя
57	Система автоматического управления электропневмоклапаном включения подачи окислителя

Таблица 3 (продолжение)

1	2
58	Система тумблерного включения электропневмоклапана окислителя
61	Система подвода азота к электропневмоклапану включения подачи окислителя
62	Электрическая система управления электропневмоклапаном на входе в азотный ресивер
63	Система включения подачи азота на исполнительный кислородный редуктор
64	Система управления азотным ресивером
69	Система подвода азота к отсечному пневмоклапану окислителя
70	Система включения подачи азота в магистраль управления отсечным пневмоклапаном окислителя
71	Система управления электропневмоклапаном азота в магистрали управления отсечным пневмоклапаном окислителя
101	Система управления азотным редуктором в магистрали подачи азота на управление исполнительным редуктором окислителя
103	Система автоматического управления электропневмоклапаном на входе в азотный ресивер
104	Система тумблерного включения электропневмоклапана на входе в азотный ресивер
105	Система электрического включения подачи азота в магистраль управления исполнительным кислородным редуктором
106	Система ручного включения запорного вентиля подачи азота в магистраль управления исполнительным кислородным редуктором
107	Электрическая система управления электропневмоклапаном на выходе из азотного ресивера
111	Система управления азотным редуктором в магистрали подачи азота на управление отсечным пневмоклапаном окислителя
113	Электрическая система управления электропневмоклапаном включения подачи азота в магистраль управления отсечным пневмоклапаном окислителя
114	Система ручного включения запорного вентиля подачи азота в магистраль управления отсечным пневмоклапаном окислителя

Таблица 3 (продолжение)

1	2
115	Система автоматического управления электропневмоклапаном азота в магистрали управления отсечным пневмоклапаном окислителя
116	Система тумблерного включения электропневмоклапана азота в магистрали управления отсечным пневмоклапаном окислителя
151	Система автоматического управления включения подачи азота в магистраль управления исполнительным кислородным редуктором
152	Система тумблерного включения подачи азота в магистраль управления исполнительным кислородным редуктором
155	Система автоматического управления электропневмоклапаном на выходе из азотного ресивера
156	Система тумблерного включения электропневмоклапана на выходе из азотного ресивера
159	Система автоматического управления электропневмоклапаном включения подачи азота в магистраль управления отсечным пневмоклапаном окислителя
160	Система тумблерного включения электропневмоклапана включения подачи азота в магистраль управления отсечным пневмоклапаном окислителя

Аналогичным образом выделены базовые компоненты всех систем. Нештатная работа стенда описана логическими выражениями. Для экспертной оценки базовых чепе однотипные компоненты были сгруппированы по множествам, и была проведена специалистами их лингвистическая оценка. Расчет класса опасности стенда и его систем проводился на ПЭВМ по разработанной программе.

Таблица 4.

Фрагмент оценки классов опасности стенда испытаний ЖРД

Наименование узла	Класс опасности	№ класса	Нечеткость
Электропневматическая система управления отсечным пневмоклапаном горючего	Близкий к малому	7	Малая
Система включения подачи охлаждающей жидкости	Близкий к малому	7	Малая

Таблица 4 (продолжение)

Система блокировки подачи горючего и окислителя	Близкий к высокому	4	Большая
Система измерения давления в магистрали охлаждающей жидкости	Близкий к нулевому	10	Малая
Система автоматического управления электропневмоклапаном включения подачи окислителя	Малый	8	Средняя

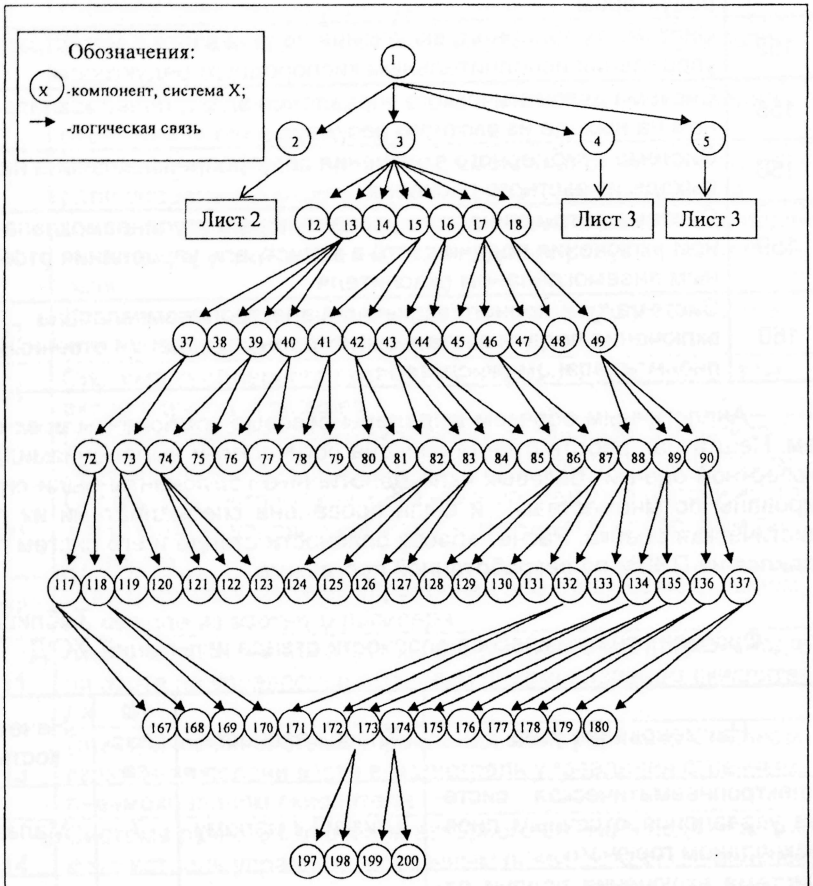


Рис. 10

Системы и их компоненты вводились по уровням логических деревьев (рис. 10), имея сквозную нумерацию на каждом уровне. Все подсистемы систем стенда классифицированы по степени опасности. Фрагмент классификации представлен в табл. 4. Стенду испытаний ЖРД присвоен 6 класс опасности, при этом нечеткость ответа - средняя.

Основные выводы

1. На базе четких и нечетких множеств разработана теоретическая основа и методология анализа опасностей промышленных систем типа «человек- машина- среда», включающая в себя базовые определения, математические и системные модели, методы качественного и количественного анализа, физические критерии и характеристики оценки опасностей и систем защиты, а также структурный блок и алгоритм анализа опасностей.
2. Предложен подход к анализу опасностей, заключающийся в том, чтобы к хорошо структурированным механическим системам СЧМС применять хорошо изученные на практике вероятностные модели, а в условиях сильной неопределенности и наличия человеческого фактора исследование риска и ранжирование опасностей осуществлять на базе теории нечетких множеств и нечеткой логики.
3. Разработана идеализированная модель системы «человек-машина-среда», предложены структурный и функциональный блоки модели, позволяющие выделять базовые элементы анализа и исследовать работу СЧМС в штатном и аварийном режимах. Показано, что идеализированная модель в общем случае является частью среды обитания, имеет свою конфигурацию, и представляет собой пару, состоящую из непустого множества элементов и множества событий и состояний, происходящих на нем.
4. Предложена теоретическая модель обобщенного защитного устройства, которая позволяет сформулировать принципы защиты и методы защиты, применяемые на практике. Введенное при этом понятие эффективности защиты позволяет единообразным способом характеризовать и оценивать работу как систем защиты от энергетических воздействий (шума, вибраций, электромагнитных полей, лазерного и ионизирующего излучений), так и работу устройств очистки (скрубберов, циклонов, фильтров и т.д.). Показана практическая полезность обобщенной модели защитного устройства.
5. Разработана достаточная система качественных методов анализа опасностей, включающая в себя предварительный анализ опасностей, анализ последствий отказов, анализ опасностей деревом причин потенциального чепе, анализ опасностей деревом последствий потенциального чепе, анализ опасностей методом потенциальных отклоне-

ний, анализ ошибок персонала, причинно- следственный анализ, экспертиза СЧМС. Созданные алгоритмы и примеры доводят систему до уровня практического применения.

6. Предложенная модель количественного анализа опасностей на базе четких множеств описывает состояние компонента «машина» вектором системы, вектором индикаторов чепе, логической функцией системы, индикаторной функцией системы, функцией опасности. Представлен инструментарий вычисления функций, характеризующих состояние компонента, и предложены методы ранжирования СЧМС на базе риска и при использовании иерархического подхода. Применительно к компоненту «среда» получено решение комплексной задачи аварийного сброса нестационарными источниками нестабильных сточных вод в водоемы.

7. Разработана математическая модель нечеткой системы, при этом для перевода высказываний в нечеткое отношение были использованы: арифметическое правило, размытое бинарное правило, максиминное правило, правило геделевской логической системы. Проведено компьютерное исследование логических правил на выявление более пригодного для лингвистической оценки и классификации риска.

8. На базе модели нечеткой системы разработана методика прогнозирования риска в условиях сильной неопределенности, при практическом использовании которой необходимы следующие действия: поиск чепе- инициатора повреждающего фактора; оценка чепе- инициатора с точки зрения возможности его реализации; оценка уровня повреждающего фактора; оценка экспозиции; оценка риска.

9. На базе нечетких множеств разработаны методика классификации систем компонента «машина» по классам опасности и методика ранжирования СЧМС по степени опасности. Предложенные нечеткие критерии оценки опасности, позволяют выполнить следующие виды ранжирования СЧМС: при наличии единого спектра требований; при наличии «к» спектров требований; по критерию суммарной оценки опасностей; по матрице подобия СЧМС друг другу; по степени соответствия нормативным требованиям; по степени близости к различным нормативным требованиям; по степени удовлетворения всем нормативным требованиям.

10. На базе нечетких множеств выполнен анализ по определению классов опасности стенда испытаний модельного жидкостного ракетного двигателя, разработанного Научно-исследовательским институтом энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана.

11. Результаты работы внедрены в учебный процесс в виде программы по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск» по направлению 656500-«Безопасность жизнедеятельности» и

использованы при написании учебников, учебных пособий, справочников.

Реализация предложенных в диссертации методов позволит полнее и целенаправленнее прогнозировать и оценивать опасности промышленных систем типа «человек – машина – среда».

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Анализ безопасности на базе теории четких и нечетких множеств: Разработка и систематизация методов качественного и количественного анализа опасностей системы «человек-машина-среда» Отчет о НИР по теме ГЭ55/96Б. / МГТУ им. Н.Э. Баумана. Руководитель темы И.В. Переездчиков. ГР 01.9.90.000554, инв.№ 02.9.70000003. -М., 1996.-55с.
2. Анализ безопасности на базе теории четких и нечетких множеств. Разработка модели анализа и управления опасностями системы «человек-машина-среда». Отчет о НИР по теме ГЭ55/03Б. / МГТУ им. Н.Э. Баумана. Руководитель темы И.В. Переездчиков. ГР 01.9.90.000554, инв.№02.9.80000634. -М., 1997.-61с.
3. Анализ безопасности на базе теории нечетких множеств. Отчет о НИР по теме ГЭ55/03Б. / МГТУ им. Н.Э. Баумана. Руководитель темы И.В. Переездчиков. ГР 01.9.90.000554; Инв. № 02.9.90000181. -М., 1998.-97с.
4. Переездчиков И.В. Примерная программа дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (по направлению 656500-«Безопасность жизнедеятельности») // Безопасность жизнедеятельности. –2002.-№2.-С.35-36.
5. Переездчиков И.В. Методология анализа опасностей сложных технических систем на базе четких и нечетких множеств // Химическое и нефтегазовое машиностроение.-2005.-№7.-С.39 -41.
6. Переездчиков И.В., Крышевич О.В. Модель управления опасностями системы человек-машина-среда. // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение.-1998.-№2. -С.32-43.
7. Особенности применения методов анализа опасностей систем «человек-машина-среда» на базе нечетких множеств. / Н.А. Махутов, О.В. Крышевич, И.В. Переездчиков и др. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. –2001.-№1.-С.99-110. –
8. Возможность ранжирования систем «человек-машина-среда» машиностроительного профиля на базе нечетких множеств / Н.А. Махутов, О.В. Крышевич, И.В. Переездчиков и др. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. -2002. -№2.-С. 94-103.
9. Переездчиков И.В. Введение в теорию защиты от источников гармонических колебаний: Учебное пособие. -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987. -84с.

10. Переездчиков И. В., Крышевич О.В. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебное пособие. Анализ опасностей сложных систем «человек- машина- среда». -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. Ч.2- 47 с.:ил.
11. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / Под общ. ред. С. В. Белова. -М.: Высшая школа, 1999. -448с.: ил.
12. Переездчиков И.В., Крышевич О.В. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебное пособие. Управление риском системы человек-машина-среда. -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. Ч.1 –47с.
13. Охрана труда в машиностроении: Учебник для вузов / Под ред. Е.Я. Юдина. -М.: Машиностроение, 1976. –335с., ил.
14. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова -2-ое изд., перераб. и доп. -М. : Машиностроение, 1983. –432с., ил.
15. Безопасность производственных процессов: Справочник / Под общ. ред. С.В. Белова. -М.: Машиностроение, 1985. –448с., ил.
16. Кирикова О.В., Переездчиков И.В. Защита от электромагнитных полей: Учебное пособие. -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1992. -74с.: ил.
17. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: Справочник / Под ред. С.В. Белова. -М.: Машиностроение, 1989.-368с.: ил.
18. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов-2-е изд., испр. и доп. / Под общ. ред. С. В. Белова. -М.: Высшая школа, 1999. -448с.: ил.
19. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов-3-е изд., испр. и доп. / Под общ. ред. С. В. Белова. -М.: Высшая школа, 2001. -485с.: ил.
20. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов-4-ое изд., испр. и доп. / Под общ. ред. С. В. Белова. -М.: Высшая школа,2004. -606с.: ил.
21. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов-5-ое изд., испр. и доп. / Под общ. ред. С. В. Белова. -М.: Высшая школа,2005. -606с.: ил.
22. Переездчиков И.В. Определение полей концентраций при сбросе сточных вод в водоёмы // Химическое и нефтегазовое машиностроение.-2005.-№5.-С.32-35.
23. Переездчиков И.В. Ранжирование степеней опасности промышленных объектов // Химическое и нефтегазовое машиностроение.-2005.-№6.-С.40-41.

Подписано к печати 15.09.05. Зак.276 Объем 1.0 п.л. Тир. 100
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана