

DOI:

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА САМООРГАНИЗАЦИИ¹

Махутов Н.А. *, Берман А.Ф.**.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия, г. Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4

*kei51@mail.ru

**Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.134

** bafbam@mail.ru

Аннотация. Разработан механизм самоорганизации, обеспечивающий формирование параметров надёжности, живучести и безопасности сложных технических объектов, их компонентов и элементов по критериям прочности и ресурса, основанный на эвристической иерархической модели пространства технического состояния и локальных правилах в виде метаэвристик и эвристик.

Ключевые слова: факторы, технические требования, катастрофический отказ, авария, , междисциплинарная задача, эвристическая модель, метаэвристика, эвристика, правила, искусственный интеллект

Введение

Для сложных объектов с катастрофическими последствиями отказов, нормирование безопасности основано на использовании критерия приемлемого риска [1]. Это принцип имеет очень слабое теоретическое обоснование. Задача сводится к определению минимального риска катастрофического отказа объекта за время функционирования (использования), чтобы риск можно было считать приемлемым для населения и окружающей среды. Назначение таких рисков связано с социальной, экологической и экономической интерпретацией решаемых задач и пока не решается с поддержкой математическими методами, что составляет основную трудность их обоснования.

Структурное резервирование не обеспечивает безопасность при катастрофических отказах, обусловленных разгерметизацией объекта и приводящих к истечению или выбросу опасных веществ в окружающее пространство. В этом и некоторых других случаях, безопасность обеспечивается прочностным и ресурсным резервированием с помощью соответствующих коэффициентов запаса, как характеристик защищенности.

Автоматическое или автоматизированное конструирование сложных технических объектов, безопасность которых обеспечивается только коэффициентами запаса, требует специфических подходов вследствие отсутствия аналитических зависимостей между критериями прочности, ресурса надежности и техногенной безопасностью. Обоснование соответствующих параметров при статических нагрузках, отсутствии активной контактной среды и стабильных воздействующих факторах осуществляется с достаточной степенью точности. Однако, точность оценки несущей способности, ресурса и соответствующих коэффициентов запаса при переменных нагрузках, в присутствии активных сред, а также в условиях недостаточно контролируемых колебаний воздействующих факторов и свойств объектов не всегда обеспечивает требуемую надёжность и безопасность.

Искусственная самоорганизация [2-5], принципиальные основы которой применяются в данной работе, в настоящее время используется для решения различных задач адаптивного управления на основе искусственного интеллекта и в связи с этим, возможностью менять не только закон управления, но и структуру, как системы, так и объекта управления. В этом случае, с приемлемой точностью и эффективности может быть достигнута любая цель в условиях высокой неопределенности используемой информации.

Самоорганизующиеся системы (и процессы) обладают механизмом непрерывной приспособляемости (адаптации) к меняющимся внутренним и внешним условиям на основе прошлого опыта представленного локальными правилами. Самоорганизация - это автоматизация при которой управляющие воздействия осуществляются не системой управления, а формируются и реализуются в пределах объекта управления благодаря соответствующему взаимодействию его компонентов между

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российским фондом фундаментальных исследований: проект РФФИ №18-08-00560.

собой и с окружающей средой. При этом, компоненты обладают некоторыми свойствами, позволяющими им устанавливать новые связи между собой [6].

Целью данного исследования является разработка механизма самоорганизации, обеспечивающего автоматическое/автоматизированное обоснование параметров безопасности сложных технических систем, их компонентов и элементов по критериям прочности и ресурса в условиях неопределенности воздействующих факторов и свойств сложных объектов.

1 Постановка задачи

Разрабатываемый механизм самоорганизации должен реализовать функцию логического вывода для обоснования параметров безопасности объекта с использованием, как неформализованных знаний, так и имеющихся эмпирических и аналитических закономерностей.

Механизм самоорганизации понимается как совокупность операций и средств их выполнения, направленных на обоснование параметров техногенной безопасности.

Для разработки механизма самоорганизации необходимо обосновать метод (подход) к его реализации, затем информационную модель комплексной задачи обоснования параметров техногенной безопасности и алгоритм обработки информации, обеспечивающий различные аспекты представления параметров техногенной безопасности.

Метод, модель комплексной задачи и алгоритм должны отражать принципиальную основу механизма самоорганизации.

Для обеспечения искусственной самоорганизации будет использован подход, базирующийся на понятии локальных правил, отраженных в работе [7].

С помощью модели необходимо сформировать связи между операциями по решению дисциплинарных и междисциплинарных задач, исполняемыми механизмом.

Алгоритм должен обеспечить формирование структуры и функций механизма самоорганизации для обоснования параметров безопасности в условиях меняющихся исходных данных и технических требований, как на основе имеющихся знаний, так и знаний добавляемых различными экспертами в режиме реального времени. Локальные правила разрабатываются экспертами и специалистами соответствующих предметных областей для решения поставленных задач.

Некоторые принципы и алгоритм самоорганизации для решения прикладных проблем техногенной безопасности изложены в работах [8,9].

2 Результаты

Локальные правила представлены метаэвристиками и эвристиками, которые связывают исходные данные, представленные воздействующими на объект факторами и общими техническими требованиями к объекту, его компонентам и элементам, с задачами, обеспечивающими обоснование параметров безопасности, и экспертными и вычислительными системами решающими эти задачи.

Метод (подход). Для реализации механизма Самоорганизации используется эвристический метод (подход), включающий эвристические правила, представленные двумя уровнями. Его суть – в использовании системы метаэвристик и эвристик, взаимодействующих между собой и обеспечивающих некоторую последовательность обработки информации. Метаэвристики и эвристики формализованы в виде общеизвестных моделей правил: ЕСЛИ A_1 И A_2 И ... И A_n , ТО B_1 ИЛИ B_2 ИЛИ ... ИЛИ B_m , где A_i и B_j — некоторые высказывания, к которым применены логические операции И и ИЛИ. Если высказывания в левой части эвристики (условие) истинно, истинно и высказывание в правой части (следствие).

Метаэвристики, выполняющие функцию самоорганизации первого уровня, предназначены для выбора задач, результаты решения которых обеспечивают требуемые параметры безопасности в зависимости от выбранного объекта, исходных данных и технических требований. Метаэвристики для выбора междисциплинарных задач приведены в (табл.1). Для выбора дисциплинарных задач также составляются соответствующие метаэвристики на основе сформулированных задач (табл.2).

Метаэвристики второго уровня предназначены для формирования аналитических модулей (табл.3). С их помощью, для выбранных задач выбираются соответствующие экспертные и вычислительные системы, которые могут решить эти задачи и которые объединяются в аналитические модули. Затем, экспертные и вычислительные системы обосновывают требуемые параметры рассматриваемого объекта.

Для решения дисциплинарных задач используются Эвристики (табл.4) непосредственно направленные на обоснование параметров на основе соответствующих исходных данных.

Метаэвристики и Эвристики составляются экспертами и специалистами и объединяются в базы знаний экспертных систем.

Таблица 1. Обобщенные Метаэвристики для формирования междисциплинарных задач обоснования параметров техногенной безопасности

Факторы опасности	Содержание Метаэвристик, формирующих междисциплинарные задачи обоснования параметров безопасности СТО		
	Уровень функциональных параметров	Уровень технических параметров	Уровень физических параметров
Экстремальные значения параметров функционирования	ЕСЛИ используется технология с опасными параметрами, например, высоким давлением и температурой ТО предусмотреть задачи по снижению величины этих параметров до минимума;	ЕСЛИ используется технология с опасными параметрами, ТО предусмотреть задачи по обеспечению необходимой прочностной и ресурсной надежности соответствующих компонентов и элементов;	ЕСЛИ используется технология с опасными параметрами, ТО предусмотреть задачи по уменьшению влияния параметров на свойства компонентов и элементов;
Экстремальные значения свойств используемых веществ и материалов	ЕСЛИ используется технология с опасными веществами ТО предусмотреть задачи по снижению степени опасности веществ;	ЕСЛИ используется технология с опасными веществами ТО предусмотреть задачи по обеспечению необходимой герметичности компонентов и элементов;	ЕСЛИ используется технология с опасными веществами ТО предусмотреть задачи по уменьшению влияния параметров на свойства герметичности
Экстремальные значения признаков опасности	ЕСЛИ используются технологии с опасными параметрами и опасными веществами ТО предусмотреть задачи для обеспечения мониторинга параметров.	ЕСЛИ используются технологии с опасными параметрами и опасными веществами ТО предусмотреть задачи по диагностированию технического состояния компонентов и элементов.	ЕСЛИ используются технологии с опасными параметрами и опасными веществами ТО <i>предусмотреть задачи</i> по обоснованию адекватных признаков для мониторинга параметров функционирования и диагностирования технического состояния.

Таблица 2. Дисциплинарные задачи докритических стадий обоснования параметров надежности, живучести и техногенной безопасности

	МДЗИУ-2. Определить параметры обеспечивающие безопасности на основе показателей прочностной и ресурсной надежности для:	Основные дисциплинарные задачи	Основные дисциплины, представленные онтологией (увязанные)
МДЭСД.2.1-2.4. Обосновать свойства безопасности для исправного, неисправного, неработоспособного и неработоспособного опасного состояния	Рассчитать параметры технических свойств безопасности для:	Исходного состояния МДЗКЛС-2.1.	ДЗ-2.1.1. Обосновать и обеспечить химический состав, структуру и механические свойства используемых материалов и веществ;
		Металлургия; Материаловедение; Металлография; Спектральный анализ; Обработка металлов давлением; Термическая обработка материалов и др.	
		ДЗ-2.1.2. Обосновать и обеспечить допустимую дефектность изготовления;	Обработка давлением; Технология машиностроения; Сварочное производство; Дефектоскопия и др.
		ДЗ-2.1.3. Обосновать и обеспечить запасы несущей способности, прочности и ресурса по критериям механической прочности, ползучести и коррозионной стойкости;	Сопrotивление материалов; Физико-химическая механика материалов; Детали машин; Механика разрушения; Ползучесть и др.;
		ДЗ-2.2.1. Обосновать возможные и допустимые виды поврежденности различного происхождения;	Детали машин; Физико-химическая механика материалов; Механика разрушения; Коррозионная стойкость; Ползучесть и др.;
		ДЗ-2.2.2. Обосновать методы и средства мониторинга и диагностирования возможных повреждений;	Методы и средства периодического и непрерывного контроля параметров; Дефектоскопия; Металлография;
		ДЗ-2.3.1. Обосновать предельные состояния по критериям прочности, ресурса, трещиностойкости, коррозионной стойкости, тепло- и жаропрочности, химической стойкости; обосновать модели оценки остаточного ресурса и т.п.	Сопrotивление материалов; Механика разрушения; Коррозионная стойкость; Термостойкость; Химическая стойкость; Износостойкость; Биостойкость; Физико-химическая механика разрушения; Физика прочности и ресурса и др.
		ДЗ-2.3.2. Обосновать предвестники и диагностические признаки проектных и возможных предельных состояний. Обеспечить их выявление средствами мониторинга и диагностирования.	Методы и средства периодического и непрерывного контроля параметров;
		ДЗ-2.4.1. Обосновать и обеспечить выявление запредельных состояний по критериям прочности, коррозионной стойкости, трещиностойкости, теплостойкости, жаропрочности, химической стойкости и т.п.;	Физико-химическая механика разрушения; Сопrotивление материалов; Механика разрушения; Коррозионная стойкость; Термостойкость; Химическая стойкость; Износостойкость; Биостойкость; Физика прочности и ресурса; Методы и средства периодического и непрерывного контроля параметров;
		ДЗ-2.4.2. Обосновать предвестники и диагностические признаки проектных и фактических отказов и обеспечить их выявление;	Автоматическое отключение объекта; подключение резерва; нейтрализация опасностей и т.п.
		ДЗ-2.4.3. Обосновать методы и средства защиты, технического обслуживания и ремонта и т.д.	

Таблица 3. Метаэвристики для формирования аналитических модулей

Задачи	Экспертные системы (ЭС) ТО	Вычислительные системы (ВС) ТО
ЕСЛИ		
Задача 1.2. Обосновать и обеспечить приемлемый уровень риска СТС или Компонентов или Элементов.	1.2. ЭС «Анализ рисков СТО или Компонентов или Элементов».	1.2. ВС «Расчет рисков».
Задача 2.2. Определить возможные нежелательные события, процессы и их вероятность.	2.2. ЭС «Определение возможных нежелательных процессов и событий на основе совокупности воздействующих факторов и свойств объектов».	2.2. ВС «Оценка вероятности непланируемых процессов для рассматриваемых объектов».
Задача 3.2. Определить повреждения, оценить ресурс и обосновать критерии отказов и предельных состояний для деградационных процессов сопровождающих функционирование и др.	3.2. ЭС «Определение деградационных процессов в СТО или Компонентах или Элементах. Обоснование КОПС».	3.2. ВС «Расчет необходимого ресурса СТО или Компонентов или Элементов и другие».

Таблица 4. Эвристики для решения дисциплинарных задач

Дисциплинарная задача Обосновать и обеспечить химический состав, структуру и механические свойства используемых материалов (Дисциплины: Металлургия; Материаловедение; Металлография; Спектральный анализ; Обработка металлов давлением; Термическая обработка материалов и др.)	
ЕСЛИ деталь имеет осесимметричную форму	ТО принимается расчетная схема для плоского напряженно-деформированного состояния И коэффициент запаса расчетной схемы принимается равным 1,2.
ЕСЛИ нагрузки статические И Температура рабочая 3000С И Контактная среда слабоактивная	ТО сталь низколегированная И жаростойкая И Механические, Физические, Химические параметры И коэффициент запаса параметров 1,5.
ЕСЛИ длительные проектные и запроектные постоянные растягивающие напряжения И соответствие и несоответствие контактной среды техническим требованиям	ТО возможны деградационные процессы W, E и R И повреждения типа D,F и S И коэффициент запаса параметров деградационных процессов 3.

В качестве обосновываемых параметров техногенной безопасности могут быть приняты:

- *Параметры прочностной и ресурсной надежности:* Коэффициенты Запаса прочности; Коэффициенты Запаса несущей способности, Коэффициенты Запаса ресурса; Коэффициенты Запаса сопротивления хрупкому разрушению; Коэффициенты Запаса на несовершенство методов и средств обеспечения надежности и потенциальные ошибки на всех стадиях жизненного цикла объекта и др.
- *Параметры живучести:* Коэффициенты Запаса живучести по отношению к размеру выявляемых параметров повреждения; Коэффициентов Запаса времени от выявляемых размеров повреждений до критериев предельного состояния; Коэффициенты Запаса на несовершенство методов и средств обоснования и обеспечения живучести; Коэффициенты Запаса на потенциальные ошибки по обоснованию параметров живучести на всех стадиях жизненного цикла объекта и др.
- *Параметры техногенной безопасности:* Коэффициенты Запаса на значение вероятности или частоты катастрофического отказа; Коэффициенты Запаса по возможному ущербу для населения, обслуживающего персонала и природы; Коэффициенты Запаса на несовершенство методов и средств обоснования и обеспечения безопасности; Коэффициенты Запаса безопасности на потенциальные ошибки для всех стадий жизненного цикла объекта.

Информационная модель комплексной задач. Модель также является эвристической и состоит из трех иерархических уровней: уровня структуры СТС; уровня стадий динамики состояний; уровня научно-информационных отраслей. На пересечении уровней представлены междисциплинарные

задачи, решение которых обеспечивает требуемые параметры надежности, живучести и безопасности на докритической стадии развития повреждений (табл.5) и критической стадии, заканчивающейся техногенной катастрофой (табл.6). Модель отражает координацию и взаимосвязь классов пространства технических состояний объекта. Междисциплинарные задачи включают соответствующие дисциплинарные задачи.

Модель включает совокупность взаимосвязанных аналитических модулей и входящих в их состав экспертных и вычислительных систем.

Алгоритм самоорганизации. Последовательность операций формирования параметров объекта, его компонентов и элементов представлена алгоритмом (рис.1). Операции реализуются иерархией соответствующих метаэвристик (табл.1-3) и эвристик (табл.4) на основе исходных данных, включающих воздействующие на объект факторы и технические требования к объекту.

Алгоритм обуславливает функции и структуру механизма самоорганизации

Механизм самоорганизации. Механизм самоорганизации базируется на предложенном методе, информационной модели комплексной задачи и алгоритме самоорганизации. Структурные модули механизма самоорганизации и их принципиальная связь представлены на рис.2. Эксперты участвуют как в формировании задач, так и в формировании аналитических модулей.

Суть предлагаемого механизма самоорганизации – в использовании системы метаэвристик и эвристик, предписывающих область исследования и некоторый алгоритм обработки информации с целью обоснования рациональных параметров объекта в зависимости от цели исследования и решаемой задачи. Процесс инициируется исходными данными и техническими требованиями к объекту.

После отработки «Операция Самоорганизация Аналитических модулей для решения задач» автоматически формируется архитектура программной системы, которая поэтапно завершает обоснование параметров безопасности сначала СТО, затем компонентов и элементов с помощью экспертных (ЭС) и вычислительных систем (ВС) вошедших в состав аналитических модулей. Взаимодействие модулей заключается в обмене результатами решения задач и выполнении итераций, при необходимости.

Обоснование параметров осуществляется в условиях варьирования, как исходных данных, так и технических требований, как на основе имеющихся знаний, так и знаний добавляемых различными экспертами в режиме реального времени.

Система формирования параметров, построенная на основе разработанного механизма, может быть встроена в структуру автоматизированной системы управления СТО. Это позволит обеспечивать обоснование параметров на стадии модернизации, а также обеспечивать мониторинг и диагностику параметров для непрерывного поддержания объекта в безопасном состоянии в процессе эксплуатации. Механизм самоорганизации параметров позволит также выявлять причины их отклонения от проектных и принимать необходимые меры для исключения отклонений и подготовки к ремонту.

Заключение

Проблема повышения безопасности сложных объектов и снижения риска техногенных катастроф требует совершенствования методов и средств решения.

Механизм самоорганизации обеспечивает автоматическое/автоматизированное обоснование параметров техногенной безопасности, при котором управление процессом осуществляются не специализированной системой управления, а формируется и реализуется в пределах интеллектуальной информационной системы с помощью метаэвристик и эвристик формирующих аналитические модули, включающие адекватные решаемой задаче экспертные и вычислительные системы. Аналитические модули решают задачи в соответствии с исходной информацией характеризующей воздействующие на объект факторы и технические требования к нему.

Таблица 5. Эвристическая иерархическая модель обоснования параметров надежности, живучести и безопасности соответственно СТО, компонентов -К и элементов - Э на докритической стадии деградации: МДЗ- междисциплинарные задачи; ЭС- экспертные системы;

ВС – вычислительные системы

Обосновать параметры надёжности, живучести и безопасности СТО, Компонентов и Элементов				
Стадии динамики состояний: Научно-отраслевой уровень исследования:	Стадия 1. В Исправном состоянии (Perfect State)	Стадия 2. В Неисправном состоянии (Imperfect State)	Стадия 3. В неработоспособном состоянии (Down State)	Стадия 4. В Опасном состоянии (Hazardous State)
Уровень 1. (АМ1) Функциональный	Обоснование функциональных свойств, обеспечивающих назначение СТО			
Уровень 2. Технический Аналитические Модули (АМ ₂ (АМ _{2.1} (АМ _{2.1.1}))) (СТО (К (Э)))	Обоснование технических свойств, обеспечивающих функциональные свойства			
	МДЗ-2.1. Исходное состояние <i>ЭС_{2.1} ЭС_{2.N} ; ВС_{2.1}....ВС_{2.M}*</i>	МДЗ-2.2. Допустимое состояние	МДЗ-2.3. Предельное состояние	МДЗ-2.4. Отказовое состояние
Уровень 3. Физический Аналитические Модули (АМ ₃ (АМ _{3.1} (АМ _{3.1.1}))) (СТО (К (Э)))	Обоснование физических свойств, обеспечивающих технические свойства			
	МДЗ-3.1. Фиксируемое состояние <i>ЭС_{3.1} ЭС_{3.N} ; ВС_{3.1}....ВС_{3.M}*</i>	МДЗ-3.2. Состояние допустимого повреждения	МДЗ-3.3. Состояние недопустимого повреждения	МДЗ-3.4. Состояние разрушения
Уровень 4. Деградационных процессов Аналитические Модули (АМ ₄ (АМ _{4.1} (АМ _{4.1.1}))) (СТО(К (Э)))	Обоснование допустимых параметров механо-физико-химических процессов, обеспечивающих физические, технические и функциональные свойства			
	МДЗ-4.1. На субмикрорурвне <i>ЭС_{4.1} ЭС_{4.N} ; ВС_{4.1}....ВС_{4.M}*</i>	МДЗ-4.2. На микроуровне	МДЗ-4.3. На мезоуровне	МДЗ-4.4. На макроуровне
Уровень 5. Решений (АМ ₅)	Обоснование, предупредительных, контрольных и защитных мероприятий, направленных на обеспечение надёжности, живучести и безопасности			

Используемые метаэвристики и эвристики могут совершенствоваться непосредственно в процессе обоснования решений и тем самым изменять как алгоритм процесса, так и механизм его реализующий. Это повышает гибкость технологии и позволяет повысить качество и эффективность процесса обоснования свойств безопасности создаваемых СТО и обеспечивать их динамическую модернизацию.

Подход обеспечивает использование всех имеющихся и дополнительных знаний экспертов благодаря формированию гибкого механизма и алгоритма самоорганизации, обеспечиваемых эвристическим подходом к формированию решений.

Механизм самоорганизации задач и аналитических модулей создает основу технологии автоматической реконфигурации интеллектуальной аналитической системы для обоснования параметров безопасности в соответствии с выбранным объектом, целью и решаемыми задачами без специализированной системы управления. Непосредственная разработка соответствующей технологии и системы требует создания необходимых экспертных и вычислительных систем базирующихся на технологиях онтологического моделирования, продукционных экспертных системах, модельно-управляемом подходе и компонентной разработке программных систем [10].

Таблица 6. Эвристическая иерархическая модель задач обоснования параметров надежности, живучести и безопасности СТО, компонентов (К) и элементов (Э) на критической стадии деградации: МДЗ- междисциплинарные задачи; ЭС- экспертные системы; ВС – вычислительные системы; ТЧС – техногенная чрезвычайная ситуация

Обосновать параметры надёжности, живучести и безопасности СТО, Компонентов и Элементов:				
Стадии динамики	Стадия 4. В Опасном состоянии (Hazardous State)	Стадия 5. В состоянии Аварийной Ситуации (АС) (Emergency situation State)	Стадия 6. В состоянии Аварии (Accident State)	Стадия 7. В состоянии ТЧС (Technogenic emergencies State)
состояний: Научно-отраслевой уровень исследования:	Приемлемый Риск ROC	Приемлемый Риск RAC	Приемлемый Риск RA	Приемлемый Риск RTЧС
Уровень 1. Функциональный Аналитические Модули (AM ₁ (AM _{1.1} (AM _{1.1.1}))) (СТО (К (Э)))	Обоснование функциональных свойств , обеспечивающих назначение СТО			
	МДЗ-1.4. Опасное Состояние	МДЗ-1.5. Состояние АС	МДЗ-1.6. Состояние А	МДЗ-1.7. Состояние ТЧС
	$ЭС_{1.1} \dots ЭС_{1.N}; BC_{1.1} \dots BC_{1.M}^*$			
Уровень 2. Технический Аналитические Модули (AM ₂ (AM _{2.1} (AM _{2.1.1}))) (СТО (К (Э)))	Обоснование технических свойств, обеспечивающих функциональные свойства			
	МДЗ-2.4. Отказовое состояние	МДЗ-2.5. Состояние Живучести	МДЗ-2.6. Состояние Защиты	МДЗ-2.7. Состояние локализации и ликвидации
	$ЭС_{2.1} \dots ЭС_{2.N}; BC_{2.1} \dots BC_{2.M}^*$			
Уровень 3. Физический Аналитические Модули (AM ₃ (AM _{3.1} (AM _{3.1.1}))) (СТО (К (Э)))	Обоснование физических свойств, обеспечивающих технические свойства			
	МДЗ-3.4. Состояние разрушения	МДЗ-3.5. Восстанавливаемое Состояние	МДЗ-3.6. Не Восстанавливаемое Состояние	МДЗ-3.7. Состояние Полномасштабного разрушения
	$ЭС_{3.1} \dots ЭС_{3.N}; BC_{3.1} \dots BC_{3.M}^*$			
Уровень 4. Деградационных процессов Аналитические Модули (AM ₄ (AM _{4.1} (AM _{4.1.1}))) (СТО (К (Э)))	Обоснование допустимых параметров механо-физико-химических процессов, обеспечивающих физические, технические и функциональные свойства			
	МДЗ-4.4. На макроуровне	МДЗ-4.5. На метауровне	МДЗ-4.6. На мегауровне	МДЗ-4.7. На гигауровне
	$ЭС_{4.1} \dots ЭС_{4.N}; BC_{4.1} \dots BC_{4.M}^*$			
Уровень 5. Решений Аналитические Модули (AM ₅ (AM _{5.1} (AM _{5.1.1}))) (СТО (К (Э)))	Обоснование, предупредительных, контрольных и защитных мероприятий , направленных на обеспечение надёжности, живучести и безопасности			
	МДЗ-5.4. В Опасном состоянии	МДЗ-5.5. В состоянии Аварийной С	МДЗ-5.6. В состоянии Аварии	МДЗ-5.7. В состоянии ТЧС
	$ЭС_{5.1} \dots ЭС_{5.N}; BC_{5.1} \dots BC_{5.M}^*$			

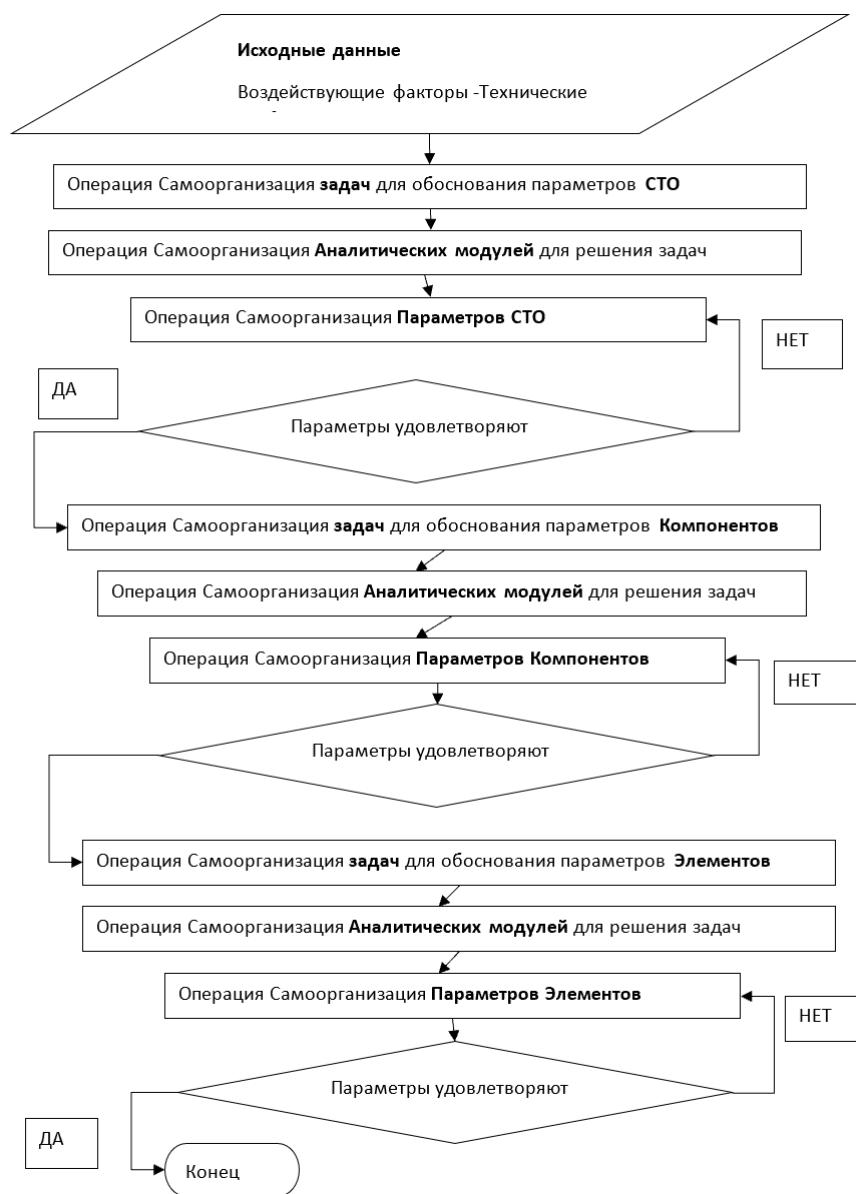


Рис.1. Алгоритм самоорганизации параметров СТО, Компонентов и Элементов

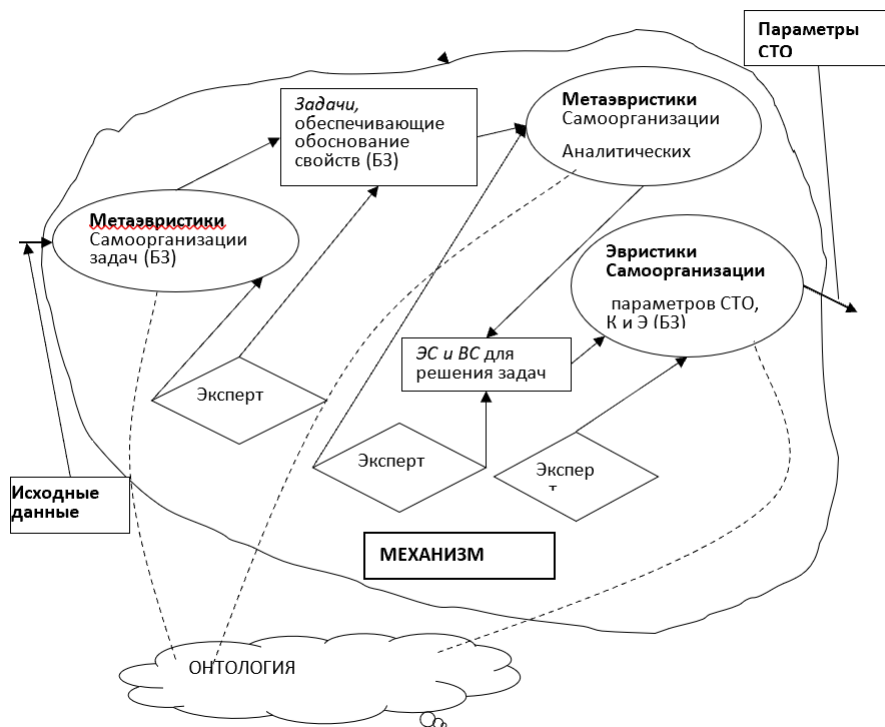


Рис.2. Механизм самоорганизации параметров сложного технического (СТО):

ЭС – экспертные системы, ВС – вычислительные системы, БЗ – базы знаний, К – компоненты, Э – Элементы

Литература

1. Махутов Н.А., Резников Д.О. Многоуровневая оценка живучести сложных технических систем с учетом масштабно-структурной иерархии процессов накопления повреждений и разрушения // Безопасность в техносфере. 2016. №4.- С.3-17.
2. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления:– М.:Наука, 2012. № 2. – С. 92–120.
3. Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. - М.: ИПИ РАН, - 2014. 189 с.
4. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. -240 с.
5. Малинецкий Г.Г. Чтоб сказку сделать былью...Высокие технологии - путь России в будущее. – М.: Ленанд. 2015 – 224 с.
6. Каляев И.А., Капустян С.Г., Гайдук А.Р. Самоорганизация в мультиагентных системах // Известия Южного федерального университета. Технические науки. Выпуск № 3. Том 104. 2010. – С.14-20.
7. Корниенко С.В., Корниенко О.А. Искусственная самоорганизация и коллективный искусственный интеллект: на пути от индивидуума к социуму // От моделей поведения к искусственному интеллекту. Под ред. Редько В.Г.Изд.2, URSS. 2010. - 456 с.
8. Махутов Н.А., Берман А.Ф., Николайчук О.А. Некоторые принципы самоорганизации для управления риском техногенных катастроф // Проблемы анализа риска. 2015. Том 12. № 4. - С. 34–45.
9. Берман А.Ф., Николайчук О.А. Юрин А.Ю., Павлов А.И. Принципы информационной технологии решения междисциплинарных задач обеспечения техногенной безопасности на основе самоорганизации // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 2 (14). - С. 5-15.
10. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Технология создания продукционных экспертных систем на основе модельных трансформаций / Под. ред. О.А. Николайчук. – Новосибирск: СО РАН- 2019. - 144 с. ISBN 978-5-7692-1646-6. DOI: 10.15372/TECHNOLOGY2019DNO.