

В. В. Смогунов, Е. А. Кузина, Н. С. Кузнецов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГЕТЕРОСФЕР ЦИВИЛИЗАЦИИ

V. V. Smogunov, E. A. Kuzina, N. S. Kuznetsov

MATHEMATICAL MODELING OF RELIABILITY THE HETEROSPHERE OF CIVILIZATION

Аннотация. Поставлена и решена задача моделирования надежности социоэкономических, технологических и интеллектуальных гетеросфер компьютерной цивилизации. Приведены результаты моделирования, раскрывающие основную проблему современных гетеросфер – недостаточную надежность взаимодействия искусственного интеллекта и человеческого сознания. Рассмотрены теоретические модели надежности технологических гетеросфер с возможностью их применения во всех гетеросферах. Описаны модели и алгоритмы анализа отказов описывающие большинство процессов, приводящих к конфликтам гетеросфер. Дан системный анализ надежности гетероструктур и гетеросфер, их взаимодействия и причин недостаточной надежности в рамках подвидовой гетерогенности от *homo sapiens* к *homo posthuman gumanistic* и *homo intellectus selfgovering*.

Ключевые слова: искусственный интеллект, гетероструктура, моделирование, системный анализ, надежность, теория.

Abstract. The problem of modeling the reliability of socio-economic, technological and intellectual heterospheres of computer civilization has been posed and solved. Simulation results are presented that reveal the main problem of modern heterospheres – insufficient reliability of the interaction of artificial intelligence and human consciousness. Theoretical models of the reliability of technological heterospheres with the possibility of their application in all heterospheres are considered. Based on the statistical analysis of the information, a study of the physics of failures and mathematical modeling of processes occurring in heterostructures was carried out. Both models describing most of the processes leading to heterosphere conflicts and algorithms for their analysis are described. A systematic analysis is given of the reliability of heterostructures and heterospheres, their interaction and the reasons for insufficient reliability within the framework of subtype heterogeneity from *homo sapiens* to *homo posthuman gumanistic* and *homo intellectus selfgovering*.

Keywords: artificial intelligence, heterostructure, modeling, system analysis, reliability, theory.

Введение

Надежность как одна из интегральных характеристик сложных систем весьма детально разработана для технологических гетеросфер машино- и приборостроения, транспорта, строительства, энергетики и т.п. Однако со все большим применением компьютерного искусственного интеллекта, особенно почти полностью заменяющего человека, сложилась катастрофическая ситуация с надежностью такого рода мехатронных систем. Хорошо известны катастрофы в разных районах мира, торговые войны, катастрофы вертолетов, автомобилей, энергосистем, космических средств и т.п.

Надежность такого рода сложных гетеросфер цивилизации освещена в научной литературе весьма поверхностно. Связи в таких системах не исследованы и не опубликованы ни в отечественных, ни в зарубежных публикациях. На наш взгляд очевидным является обращение к системному анализу, включающему статистический анализ информации по проблеме, исследование физики отказов и математическое моделирование процессов, протекающих в гетероструктурах.

Теоретические модели надежности

К настоящему времени разработано бесчисленное множество теоретических моделей надежности технических систем.

Работы последних лет убедительно свидетельствуют о том, что в основе процессов, приводящих к отказам мехатронных систем, в том числе и электронных подсистем, лежат процессы накопления повреждений.

Задача о накоплении повреждений в общей постановке формулируется следующим образом: на систему через случайные интервалы времени воздействует нагрузка, наносящая системе некоторый случайный ущерб. Предполагается, что случайные величины взаимно независимы и одинаково распределены, т.е. последовательность приращений повреждений образует рекуррентный процесс, величина ущерба y является случайной величиной, зависящей от величины предшествующего интервала τ .

Отказ или разрушение системы наступает в момент t , когда величина накопленного ущерба превысит критический уровень, т.е. $\sum_{i=1}^{N(t)} y > y_0$.

Каждая отдельно взятая величина y является относительно небольшой.

Известны следующие теоретические модели накопления повреждений:

Модель 1. Система нагружается циклически с периодом τ , увеличивая повреждения на некоторую величину y_i , являющуюся случайной, с распределением

$$F(x) = P \{y_i \leq x\}.$$

Отказ системы происходит в момент, когда суммарное повреждение конструкции достигнет предела y_0 .

За n циклов нагружения суммарное повреждение составит величину $y_{(n)} = \sum_{i=1}^n y_i$, которая имеет асимптотически нормальное распределение, причем математическое ожидание и дисперсия этого суммарного распределения равны соответственно $M(n) = nM_y$, $\sigma^2(n) = n\sigma^2_y$.

Вероятность безотказной работы системы после n циклов за время нагружения равна

$$P_n = P \{y_n \leq y_0\} = \Phi \left(\frac{y_0 - nM_y}{\sqrt{n} \sigma_y} \right),$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ – табулированная функция.

Модель 2. На систему действует нагрузка через случайное время τ_i , причем каждый раз происходит увеличение повреждений на постоянную величину U . Система отказывает в момент n -го нагружения, когда суммарное повреждение достигает предела U_0 .

Случайное время работы до отказа $\tau_i = \sum_{i=1}^n \tau_i$ имеет нормальное распределение $M_\Sigma = n M_\tau$, где M_τ – математическое ожидание периода между соседними нагружениями и дисперсией $\sigma_\Sigma^2 = n \sigma_\tau^2$, где в свою очередь σ_τ^2 – дисперсия случайной величины τ_i .

Вероятность безотказной работы системы за время t определяется по формуле

$$P(t) = P \{\tau_\Sigma > t\} = 1 - \Phi \left(\frac{nM_\tau - t}{\sqrt{n} \sigma_\tau} \right).$$

Модель 3. Систему нагружают через случайное время τ_i , ущерб от каждого нагружения составляет случайную величину y_i .

Вероятность безотказной работы системы за фиксированное время t определяется с учетом полной группы событий. Находится вероятность того, что за время t произойдет ровно K нагружений

$$P_K(t) = F^{(K)}(t) - F^{(K+1)}(t),$$

где $F^{(K)}(t) = P\left\{\sum_{i=1}^K \tau_i \leq t\right\}$ – вероятность того, что при K нагружении система работает.

Свертки $F^{(K)}(t)$ связаны между собой рекуррентным соотношением

$$F^{(K)}(t) = \int_0^t F^{(K-1)}(t-z) dF(z).$$

Затем, умножая полученную вероятность на условную вероятность безотказной работы P_K при ровно K нагружениях и просуммировав по всем $K = 1, 2, \dots$, получают искомую полную вероятность безотказной работы конструкции за время t : $P(t) = \sum_{K=1}^{\infty} p_K P_K(t)$.

Изделия мехатроники во многих случаях относятся к невосстанавливаемым в процессе применения изделиям, не допускающим перерыв в работе при выполнении программы. Основными показателями надежности таких изделий являются:

- $\omega(t)$ – параметр потока отказов;
- $P(t_1, t_2)$ – вероятность появления отказа в период (t_1, t_2) ;
- $P(t_i)$ – условная вероятность непрерывной безотказной работы в течение наработки $(0, t_i)$.

Для экспоненциального закона распределения времени до отказа $\omega(t) \approx \lambda(t)$ в общем виде плотность распределения $f(x)$ имеет вид

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x).$$

Функция распределения

$$\sigma(x) = 1/\lambda.$$

Основными характеристиками экспоненциального закона распределения являются математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение $M(x) = 1/\lambda$; $\sigma(x) = 1/\lambda$, а также дисперсия $\sigma^2(M) = 1/\lambda^2$ и коэффициент вариации $V(x) = 1$.

В рамках данной модели стандартная вероятность безотказной работы изделия мехатроники

$$P(t) = \int_0^{\infty} \lambda \exp(-\lambda t) dt = \exp(-\lambda t).$$

Вероятность безотказной работы i -го компонента

$$P_i(t) = \exp(-\lambda_i t).$$

Обычно для оценки показателей надежности пользуются параметром потока отказов – интенсивностью отказов λt , определяемой в неких стандартных условиях, а также по результатам эксплуатации компонентов в разного рода изделиях.

Интенсивность отказов программного обеспечения в большинстве случаев превышает суммарную интенсивность отказов механических, электротехнических, электронных компонентов. Наиболее достоверными, на наш взгляд, являются данные независимых центров анализа отказов.

Для конкретных применений в конкретных изделиях пользуются поправочными коэффициентами электрической нагрузки K_z , коэффициентами условий применения K_y и коэффициентами внешних воздействий K_v . Тепловые, виброударные и прочие воздействия оцениваются методами анализов физики отказов.

При назначении коэффициентов, как правило, используют экспертные оценки каждого компонента.

Модели и алгоритмы анализа физики отказов

Модели большинства процессов, приводящих к отказам, могут быть описаны дифференциальными, интегральными или интегро-дифференциальными уравнениями и системами этих уравнений.

В настоящее время в анализе отказов наиболее часто используются линейные дифференциальные уравнения второго порядка в частных производных вида

$$\sum_{i,j=1}^n a_{ij} \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_j} + \sum_{i=1}^n b_i \frac{\partial u}{\partial x_i} + cu = f,$$

где a, b, c – коэффициенты; u – неизвестная функция; $x_{i,j}$ – координаты с квадратичной характеристической формой

$$Q(\lambda_1, \dots, \lambda_n) = \sum_{i,j=1}^n a_{ij}(x) \lambda_i \lambda_j,$$

($\lambda_{i,j}$ – действительные параметры), канонический вид которой $Q = \sum_{i=1}^n \alpha_i \zeta_i^2$, получается в каждой

фиксированной точке $x \in D$ с помощью не особого аффинного преобразования переменных $\lambda_i = \lambda_i(\zeta_1, \dots, \zeta_n)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Здесь D – область n -мерного евклидова пространства.

Классификация данных уравнений строится на том факте, что число нулевых и отрицательных коэффициентов канонической формы не зависит от способа приведения к каноническому виду.

Уравнение – эллиптическое в области D , если в каждой точке $x \in D$, коэффициенты α_i все отличны от нуля и одного знака. Уравнениями этого типа описываются стационарные процессы.

Уравнение – параболическое в области D , если в каждой точке $x \in D$ хотя бы один из коэффициентов α_i , но не все, равен нулю. Уравнениями параболического типа описываются нестационарные процессы.

Уравнение – гиперболическое в области D , если в каждой точке $x \in D$ коэффициенты α_i все отличны от нуля и не все одного знака. Этими уравнениями описываются колебательные процессы.

Среди процессов, приводящих к отказам, особо важное место занимают тепловые процессы, протекающие в элементах конструкций. Данное обстоятельство связано с уникальностью тепловой энергии, поскольку все остальные виды энергий превращаются в тепловую энергию, а также с необратимостью процессов старения. Для исследования тепловых процессов в общем случае, наиболее часто при анализе отказов, используется система уравнений сплошности, движения и тепловой энергии.

Уравнение сплошности в векторном виде выражается

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = -\operatorname{div} \rho \omega,$$

где $\rho \omega$ – компоненты вектора массовой скорости.

Уравнение движения

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \rho \omega = -[\nabla \rho \omega] - \nabla P - [\nabla \tau] + \rho g.$$

Уравнение энергии в векторно-тензорной форме имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \rho \left(\eta + \frac{1}{2} \omega^2 \right) = - \left[\nabla \rho \omega \left(\eta + \frac{1}{2} \omega^2 \right) \right] - (\nabla g) + \rho (\omega g) - (\nabla P \omega) - (\nabla [\tau \omega]),$$

где η – внутренняя энергия на единицу массы.

Уравнение тепловой энергии

$$\rho \frac{D_n}{D_\tau} = -(\nabla g) - P(\nabla \omega) - (\tau \nabla \omega), \quad \rho \frac{D_n}{D_\tau} = \rho, \quad c_x \frac{D_u}{D_\tau}, \quad g_x = -\Psi \frac{\partial u}{\partial x}; \quad g_y = -\Psi \frac{\partial u}{\partial y}; \quad g_z = -\Psi \frac{\partial u}{\partial z}.$$

Общее уравнение тепловой энергии

$$\rho c_v \frac{D_u}{D_\tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Psi \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Psi \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Psi \frac{\partial u}{\partial z} \right) - P(\nabla \omega) + \mu \Phi \omega,$$

$$\Phi_\omega = 2 \left[\left(\frac{\partial \omega_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega_y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial \omega_y}{\partial x} + \frac{\partial \omega_x}{\partial y} \right]^2 +$$

$$+ \left[\frac{\partial \omega_z}{\partial y} + \frac{\partial \omega_y}{\partial z} \right]^2 + \left[\frac{\partial \omega_x}{\partial z} + \frac{\partial \omega_z}{\partial x} \right]^2 - \frac{2}{3} \left[\frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + \frac{\partial \omega_z}{\partial z} \right]^2,$$

где Φ – диссипативная функция.

Из общего уравнения тепловой энергии как частные случаи получаются уравнения теплопроводности, уравнение Лапласа и др.

При решении конкретных задач по исследованию тепловых полей при анализе отказов могут быть использованы четыре типа граничных условий.

В граничном условии первого рода задается распределение температуры на ограничивающих исследуемый объем поверхностях в любой момент времени

$$u(\tau) = f(\tau).$$

В граничном условии второго рода задается плотность теплового потока для каждой точки поверхности в функции от времени

$$q(\tau) = f(\tau).$$

В граничном условии третьего рода тепловой поток предполагается пропорциональным разности температур поверхности и окружающей среды

$$q = \alpha(u - u_c).$$

В граничном условии четвертого рода используется равенство температур и равенство тепловых потоков двух соприкасающихся сред

$$u_1(\tau) = u_2(\tau),$$

$$q_1 = q_2.$$

Распространенными источниками отказов изделий являются динамические механические воздействия – вибрации, удары, акустический шум и пр.

Уравнение колебаний может быть записано в общем виде

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} = \text{div} (P \text{ grad } u) - qu + F(x, \tau).$$

Здесь неизвестная функция $u(x, \tau)$ зависит от пространственных координат и времени, коэффициенты ρ , P , q определяются характеристиками окружающей среды, функция $F(x, \tau)$ определяет интенсивность приложенного воздействия.

Одномерное волновое уравнение

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f,$$

где $f = \frac{F}{\rho}$, $a^2 = \frac{\tau_0}{\rho}$ – постоянные, описывает колебания струны.

Двумерное волновое уравнение $\frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + f$ описывает малые поперечные колебания мембраны.

Трехмерное волновое уравнение $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + f$ описывает процессы распро-

странения звука и электромагнитных волн в однородных средах и другие процессы. Весьма важное значение в анализе отказов имеют классические уравнения переноса, газо- и гидродинамики, уравнения Максвелла, Шредингера, Клейна – Гордона – Фока, Дирака и других, а также бессеточные методы их решения.

В качестве обобщенных алгоритмов анализа неисправностей гетероструктур нами предложены и спроектированы алгоритмы системного анализа неисправностей и отказов.

Системный анализ обеспечивает оптимальное принятие решений в условиях анализа информации различной физической природы.

Действительно, в системном анализе неисправностей и отказов приходится иметь дело с информацией самой различной физической природы: информация об отказах при проектировании (различные испытания), при производстве (механические, тепловые, химические воздействия), при оптимизации применения (климатические факторы, условия применения), при эксплуатации (комплекс условий). Выбор оптимального решения при выработке мероприятий по управлению и недопустимости впредь отказов не может быть сделан без хорошей теории и гибридного интеллекта.

Системный анализ надежности гетеросфер

Системный анализ надежности гетеросфер компьютерной цивилизации, проведенный методами обработки разнородной информации об отказах гетероструктур центров анализа отказов гетеросфер, убедительно свидетельствует о двух основных отказопровоцирующих факторах – электромагнитных полях и сильной гетерогенности гибридного интеллекта [1–3].

Электромагнитные поля и особенно сверхкороткие мегамощные импульсы оказывают существенное влияние на работоспособность природных и искусственных нейроподобных гетероструктур. Под нейроподобными понимаются природные нейронные гетероструктуры и искусственные устройства обработки информации в искусственных нейронных сетях.

Особенностью электромагнитных импульсов является соизмеримость длительности и тактовых частот с аналогичными параметрами при обработке информации в нейронных сетях. В природных нейронных сетях дендриты нейронов присоединяются к аксонам других нейронов, соединение одного нейрона с другим – синапс. Количество синаптических соединений в разных частях нервной системы весьма различно. Тело нейрона на 38 % покрыто синапсами, на одном нейроне их 1500. У нейронов периферической нервной системы аксоны контактируют с аксонами мышечной ткани. Нервные импульсы есть не что иное, как электрические импульсы. Управление мышлением и прочее происходит электрическими импульсами в нейронной сети центральной и периферической нервных систем. Наиболее уязвимыми для внешних импульсов являются синапсы.

В реальных случаях происходит взаимодействие излучения с множеством синапсов компонентов, плат, блоков и узлов. Наращивание структурной сложности и вариации уровней импульсных воздействий приводит к увеличению числа возможных типов сбоев в функционировании систем и понижению пороговых уровней их возникновения.

Уровни уязвимости структур, не защищенных электромагнитным экраном, сильно зависят от параметров воздействующего радиоизлучения и может составлять всего 30 В/м.

Обратимые неисправности и сбои в работе гетероструктур определяются так называемыми антенными эффектами. При воздействии сверхкоротких электромагнитных импульсов в КМОП микросхемах, например, наблюдается эффект «защелкивания», при этом отказы необратимы и могут быть устранены только отключением питания.

Нейроноструктуры, микропроцессоры, микроконтроллеры, ЦАП, АЦП, микроэлектронные модули подвержены функциональным сбоям и нарушающим целостность обрабатываемой информации и режимы функционирования.

Электрическое защелкивание является весьма опасным видом обратимых отказов КМОП микросхем. Микронные размеры элементов и малые расстояния между ними в объеме полупроводниковой подложки ИМС могут приводить к возникновению паразитных 4-слойных структур, которые при быстроизменяющемся напряжении на них могут переходить в низкоимпедансное состояние (защелкивание), даже если воздействующее напряжение не превышает допустимое [4, 5].

Причиной возникновения «защелкивания» помимо большой скорости нарастания фронта входного сигнала может быть наличие входных сигналов, когда питание находится в стадии выключения, с превышением напряжения питания над предельным значением.

Восприимчивость нейроструктур к импульсам намного выше в динамическом режиме, чем в статическом. Это поведение наблюдается на различных сдвиговых регистраторах и цепях микроконтроллеров и различных технологиях.

Повышение степени интеграции микросхем, увеличение функций, выполняемых ИМС и связанное с этим уменьшение размеров активных элементов делает их более чувствительными к импульсам.

Сбои и обратимые неисправности приводят к отказам программного обеспечения.

Программа не может измениться во времени без изменения свойств материального носителя сама по себе. Отказ программного обеспечения есть проявление ошибок, содержащихся в нем.

Анализ отказов программного обеспечения имеет множество проблем: сложность получения аналитических выражений для функций, описывающих работу программ; случайность процессов при операциях с входными данными; уровнем загрузки вычислительных ресурсов; наличие ошибок в программах нелинейно влияют на функциональные особенности [6–7].

Типичные ошибки в программах:

- системные ошибки при постановке целей и задач;
- ошибки программирования в текстах программ;
- алгоритмические ошибки при функционировании требований к функциям программ и ошибки реализации этих требований.

Причиной ошибок является бессознательное в общем «я» сознании программиста.

Проявление бессознательного:

- неосознаваемые мотивы, истинный смысл которых не создается в силу противоречий с другими мотивами;
- поведенческие автоматизмы, действующие в привычной ситуации, осознание которых излишне;
- подпороговое ощущение, которое не осознается из-за низкой интенсивности;
- подсознательные процессы: интуиция, вдохновение, озарение.

Глобальная роль бессознательного – всемогущество человека есть бессознательность, бессилие – память о себе.

В бессознательное вытесняются наши тайные желания и фантазии. Коллективное бессознательное образуется совокупностью архетипов. Это общая основа психики всех людей, совокупность паттернов, образов поведения, которые являются врожденными.

Бессознательное – совокупность психических процессов, не представленных в сознании субъекта, универсальная основа бытия, глубинные процессы в мозге всего живого.

Элементы коллективного бессознательного – архетипы – выступают как творческий, разумный принцип, связывающий индивида с другими людьми. Информация об архетипах содержится в религиях и всемирной мифологии. Общественные идеи, мнения, представления являются архетипами.

Сознание и бессознательное являются самостоятельными сторонами деятельности человека, они составляют основу внутреннего духовного мира человека. Сознание включает в себя бессознательное, самосознание и компоненты: перцептивные, мыслительные, эмоции, память, воля, воображение; состояния: тревога, страх, депрессия, медитация; и формы: убеждения, вера, мнения, сомнения.

Взаимодействие компонентов сознания имеет сложную и противоречивую организацию, а также связанность и целостность.

Алгоритмические ошибки могут быть в процессе тестирования, однако тестовое покрытие не является полным, отсюда проблемы с отказами.

Количество ошибок зависит от объема исходного кода программы, технологии программирования, сложившихся архетипов и средств тестирования.

Самыми проблемными отказами являются отказы, связанные с гетерогенностью операционных систем и прикладных программ в программном обеспечении, а также Я-бессознательным программиста.

Весьма неприятными являются отказы гетеросвязей процессора, сети, периферических устройств, оператора, которые могут быть уменьшены при интеллектуализации программного обеспечения за счет спецалгоритмов.

Практические принципы интеллектуального программного обеспечения должны повторять этапы эволюции соответствующего подвида биовида *homo sapiens*, при этом моделироваться должен объект с соответствующим интеллектом, а интеллектуализация программ возможна только при коммуникативных связях программистов, включенных в совместную работу.

Заключение

Созданный программный продукт для моделирования надежности функционирования гетероструктур компьютерной цивилизации позволяет синтезировать индивидуальные траектории достижения качеств *intellectus selfgovering*, последовательно обретая качества *homo informaticus*, *analist*, *kibernetik* с учетом исторических, географических и экономических критериев конкретного биоподвида.

Библиографический список

1. Гибридный интеллект / В. В. Смогунов, Е. А. Ломтев, О. В. Кузнецова, В. В. Кашаева, В. В. Богонин. – Пенза : Изд-во ПензГУ, 2007. – 138 с.
2. *Смопутм, М.* Гетероструктуры компьютерной цивилизации / М. Смопутм. – Москва : Издательский центр, 2019. – 99 с.
3. Концепция защиты электроники от электромагнитных атак / В. В. Смогунов, Н. К. Юрков, Н. С. Кузнецов, О. А. Вдовикина, В. А. Шорин // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 6. – URL: <http://web.snauka.ru.55303>
4. *Клачек, П. М.* Гибридные интеллектуальные системы / П. М. Клачек, С. Н. Корягин, А. С. Колесников, Е. С. Минкова. – Калининград : Изд-во БФУ им. Канта, 2011. – 374 с.
5. *Кузнецов, Н. С.* Гибридный интеллект инженерии гетероструктур вычислительной техники / Н. С. Кузнецов, В. В. Смогунов, Л. Р. Фионова, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 85–97. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-11.
6. *Северцев, Н. А.* Методология использования динамической системы специального назначения для обеспечения безопасности / Н. А. Северцев, А. В. Бецков, Ю. В. Лончаков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 66–68.
7. *Северцев, Н. А.* Теория преобразования многомерных данных на основе использования пространства характеристик оптимально расположенных элементов / Н. А. Северцев, В. В. Шипилов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 68–71.

References

1. Smogunov V. V., Lomtev E. A., Kuznetsova O. V., Kashaeva V. V., Bogonin V. V. *Gibridnyy intellekt* [Hybrid intelligence]. Penza: Izd-vo PenzGU, 2007, 138 p. [In Russian]
2. Smoputm M. *Geterostruktury komp'yuternoy tsivilizatsii* [Heterostructures of computer civilization]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr, 2019, 99 p. [In Russian]
3. Smogunov V. V., Yurkov N. K., Kuznetsov N. S., Vdovikina O. A., Shorin V. A. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovation]. 2015, no. 6. Available at: <http://web.snauka.ru.55303> [In Russian]
4. Klachek P. M., Koryagin S. N., Kolesnikov A. S., Minkova E. S. *Gibridnye intellektual'nye sistemy* [Hybrid intelligent systems]. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. Kanta, 2011, 374 p. [In Russian]
5. Kuznetsov N. S., Smogunov V. V., Fionova L. R., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 3 (23), pp. 85–97. DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-11. [In Russian]
6. Severtsev N. A., Betskov A. V., Lonchakov Yu. V. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2014, vol. 1, pp. 66–68. [In Russian]
7. Severtsev N. A., Shipilov V. V. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2014, vol. 1, pp. 68–71. [In Russian]

Смогунов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра теоретической и прикладной механики
и графики,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tmpg@pnzgu.ru

Smogunov Vladimir Vasilyevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of theoretical
and applied mechanics and graphics,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Кузина Екатерина Андреевна

магистрант,
Российский технологический университет
(МИРЭА)
(119454, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 78)
E-mail: ketrinkuz97@mail.ru

Kuzina Ekaterina Andreevna

master graduate student,
Russian Technological University (MIREA)
(119454, 78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

Кузнецов Никита Сергеевич

студент,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tmpg@pnzgu.ru

Kuznetsov Nikita Sergeevich

student,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Смогунов, В. В. Математическое моделирование надежности гетеросфер цивилизации / В. В. Смогунов, Е. А. Кузина, Н. С. Кузнецов // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4 (28). – С. 51–59. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-4-5.