

УДК 621.396.96

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Данилин Сергей Николаевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Программная инженерия» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».

E-mail: dsn-55@mail.ru

Щаников Сергей Андреевич

кандидат технических наук, доцент, декан факультета информационных технологий Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».

E-mail: seach@inbox.ru

Борданов Илья Алексеевич

инженер кафедры информационных систем Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».

E-mail: bordanov2011@yandex.ru

Зуев Антон Дмитриевич

инженер кафедры информационных систем Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».

E-mail: ad-nemo@mail.ru

Пантелеев Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Программная инженерия» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».

E-mail: ser-panteleev@yandex.ru

Адрес: 602264, Российская Федерация, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Аннотация: Статья посвящена сфере развития, адаптации и применения методов и средств системной инженерии (СИ) в области всего жизненного цикла искусственных нейронных сетей на базе мемристоров (ИНСМ) произвольной сложности и назначения. В процессе обзора публикаций показано значительное расхождение понятийного аппарата в сфере СИ у различных авторитетных и известных специалистов. Предложен общий подход к понятиям, не получивших в научно-техническом сообществе общепризнанных определений, обозначений, терминов. На основе сформированного авторами общего подхода предложены общенаучные и общетехнические рабочие варианты базовых понятий, обозначений, терминов и определений в сфере СИ и их варианты, согласованные с действующими нормативными документами и адаптированные применительно к ИНСМ. Составлены и обоснованы диаграммы связей между понятиями в сфере СИ. Приведён пример применения компонента СИ — системного проектирования ИНСМ с заданной надёжностью.

Ключевые слова: системная инженерия, системный подход, общая теория систем, терминология, мемристорные нейронные сети, точность, отказоустойчивость, надёжность.

Введение

Разработчики, производители, исследователи и пользователи современных и перспективных искусственных нейронных сетей на базе мемристоров (ИНСМ) различного назначения и сложности [1–8], в той или иной степени используют в своих работах положения и технологии системной инженерии (СИ) [9]. Отме-

ченное явление вызвано сложностью и ярко выраженным системным характером ИНСМ как объектов, так и процессов их создания, эксплуатации и решаемых ими задач.

Научно-практические работы авторов статьи в области ИНСМ и нейроморфных вычислений основаны на применении основных принципов, методов и технологий СИ ко всем

периодам жизненного цикла объектов и процессов.

Опыт ведущих российских специалистов в сфере СИ показал, что его применение даёт большой прирост в эффективности многих проектов, результаты ряда которых не имеют аналогов в мире. Например, подводные лодки и корабли 5-го поколения, комплексы гиперзвуковых ракет и самолетов 5-го поколения, новейшие системы ПВО и ПРО, малогабаритные ядерные реакторы, отечественные программные продукты. По анализу 200 наиболее крупных проектов США за счёт применения СИ эффективность проектов возросла почти в 4 раза (с 15 до 56%) [10] (рис. 1).

Одной из проблем в сфере СИ является отсутствие общепринятых научным и техническим сообществом базовых понятий, обозначений, определений, терминов для предметов и явлений, что мешает однозначному взаимопониманию всех участников работ, снижая его эффективность.

Кроме того, терминология в области базовых понятий является основополагающей. На неё опираются заказчики, разработчики, производители, пользователи продукции, нормативных документов, методов, алгоритмов, что вызывает негативные последствия для применения и реализации СИ в науке и практике.

После выступлений авторов статьи на профильных международных научно-технических

конференциях [11, 12] с докладами по проблемам применения системного подхода при создании ИНСМ, от слушателей поступили вопросы и пожелания в части определения понятия «системный подход» и применения его основных положений на практике. Авторы приняли замечания и предложения к сведению и приступили к работе по их выполнению.

1 Материалы для решения задачи формирования определения СИ

1.1 Общий подход

Авторами предложен общий подход к понятиям в сфере СИ, не получившим в научнотехническом сообществе общепризнанных определений, обозначений, терминов, который включает в себя следующие положения и допущения:

- терминологическую работу следует вести в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р ИСО 704-2010 [13];

- для достижения лучшего взаимопонимания между специалистами в сфере СИ следует сформулировать «рабочие» варианты определений, обозначений, терминов для базовых понятий;

- для анализа необходимо брать определения, обозначения, термины базовых понятий СИ, предложенные известными, авторитетными специалистами науки и практики, опубликованные в высокорейтинговых изданиях;

- «рабочие» варианты определений, обозначений, терминов следует формировать путём обобщения опубликованных версий и собственного научно-практического опыта работы в сфере СИ;

- «рабочие» варианты определений, обозначений, терминов следует составлять с максимальным соответствием современным научно-техническим достижениям, методологиям, стандартам и законам.

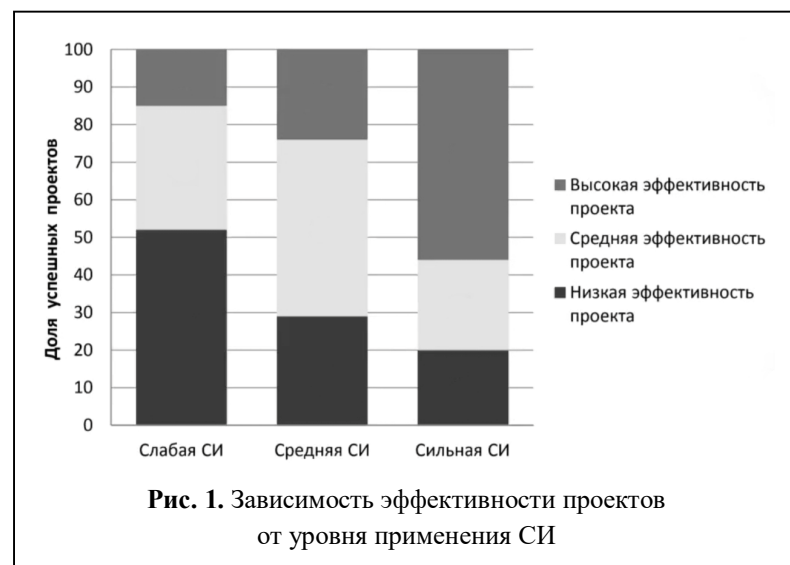


Рис. 1. Зависимость эффективности проектов от уровня применения СИ

1.2 Базовые понятия

Для формирования определения СИ предварительно рассмотрим базовые для него понятия (их термины и определения), которые признаны в научном и техническом сообществе основополагающими и наиболее важными.

1.2.1 Система

1.2.1.1 ГОСТ Р 57306—2016 [14]. Система (system) — совокупность взаимосвязанных и/или взаимодействующих элементов.

1.2.1.2 Большая Российская энциклопедия (БРЭ) [15] Система (греч. σύστημα, позднелатинское systēma, букв. — состав, от συνίστημι — составлять, ставить вместе; лат. букв. перевод — compositio) — совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определённую целостность, единство.

1.2.1.3 Справочник-словарь [16]. Система (System) — совокупность взаимодействующих элементов, организованная для достижения одной или нескольких установленных целей.

1.2.1.4 Новая философская энциклопедия (НФЭ) [9]. Система (от греч. σύστημα — целое, составленное из частей, соединение) — совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определённую целостность, единство.

1.2.1.5 Словарь-справочник. [17]. Система — это совокупность целей, структур (производственная, организационная и др.), реализующих цели; совокупность технологий (методы, средства, алгоритмы), реализующих систему; совокупность факторов, влияющих на ее создание, эксплуатацию, развитие.

1.2.1.6 Большая советская энциклопедия [18]. Система — объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе.

1.2.1.7 Учебное пособие [19]. Система — целенаправленное целое (множество), состоящее из взаимосвязанных между собой частей, которые своим взаимодействием (функционализацией, развитием) обеспечивают достижение

его цели и своей целостности на основе имеющихся в их распоряжении ресурсов.

1.2.1.8 Словарь-справочник [16], ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E) [20]. Система систем (System of Systems) — большая, обладающая уникальными возможностями система, образованная в результате объединения нескольких систем, способных независимо предоставлять полезную продукцию и/или услуги.

1.2.1.9 «Рабочее» определение. Система — совокупность взаимодействующих между собой и внешней средой материальных или абстрактных элементов произвольной природы, структуры, формы существования и представления, организованная или созданная для достижения одной или нескольких установленных целей, выполнения требуемых функций или решения поставленных задач.

Взаимодействие происходит посредством многомерных внутренних и внешних материальных, энергетических, информационных, временных иерархических связей.

Следуя выводам авторов работы [17] о полезности для практических применений уточнить определения системы для каждой её реализации, сформулирован следующий пример.

1.2.1.10 **Пример.** ИНСМ — частный вид многомерных динамических систем управления [21], являющихся едиными физическо-информационными объектами, реализованными аппаратно-программными обучаемыми средствами [22]. ИНСМ и технические средства на базе наномемристорных устройств практического уровня сложности и применения, факторы, дестабилизирующие их работу, а также задачи, решаемые ими, носят вероятностный характер, трудно формализуемые или не формализуемые.

1.2.2 Системности принцип

1.2.2.1 НФЭ [9]. Системности принцип — философское универсальное утверждение, согласно которому **все предметы и явления мира** представляют собой системы той или иной степени целостности и сложности.

Определение принципа системности является вербальным представлением построения бесконечного Мира живой и неживой природы, человеческого общества в пространстве, времени, размерности. Всех его объектов и процессов, явлений или событий, независимо от формы их существования или представления.

Принцип системности применялся в большей или меньшей степени в течение всей истории познания человеком окружающего мира. Он стал исходным основополагающим принципом ряда научных областей: общей теории систем, теории информации, теории управления, кибернетики.

1.2.2.2 «Рабочее» определение. Системности принцип. Все известные, малоизученные и не известные объекты и процессы, явления или события в мире живой и не живой природы, человеческого обществе, представляют собой системы различной степени целостности и сложности.

1.2.3 Системный подход

1.2.3.1 БРЭ [15]. Системный подход (англ. systems approach) — более широкое понятие, чем «общая теория систем» (близкими к нему являются понятия «принцип системности», «системный анализ» и др.). Оно выполняет важные познавательные функции, ориентируя конкретные исследования на определение целостности объекта и реализующих её механизмов, на выявление совокупности связей сложного объекта и сведение их в общую картину.

Примечание. Целостность — принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих её элементов и не выводимость из последних свойств целого.

1.2.3.2 НФЭ [9]. Системный подход (СП) — направление философии и методологии науки, специально-научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем.

1.2.3.3 Учебное пособие [19]. Системный подход — особый метод. Сущность метода достаточно проста: все элементы системы и

все операции в ней должны рассматриваться в ней только как одно единое целое, только в совокупности и только во взаимосвязи друг с другом.

Особенностью СП является оптимизация функционирования не отдельных элементов, а всей системы в целом.

1.2.3.4 «Рабочее» определение. СП — направление методологии науки и практики на основе исследования проектирования, производства, эксплуатации физических и (или) информационных, человеко-машинных, природных и социальных объектов (явлений и процессов) как систем.

Практический эффект от применения СП — это следствие реализации методологических идей, составляющих его базу [23].

1.2.3.5 Пример. ИНСМ является частным типом информационных систем. Методы и алгоритмы их проектирования, производства, эксплуатации, утилизации разработаны и в общих вопросах регламентируются нормативно-техническими документами. Для их применения к ИНСМ требуется объёмная работа по адаптации и развитию многих положений.

1.2.3.6 Принципы системного подхода [24]

1-й принцип заключается в рассмотрении совокупности элементов системы, как единого (целого) объекта. Систему нельзя рассматривать как простое объединение элементов.

Пример. ИНСМ — единый физико-информационный объект, состоящий из нейронов на основе мемристорных устройств с определённой структурой, связями и параметрами. Простое объединение элементов ИНСМ бессмысленно и запрещается для рассмотрения.

2-й принцип заключается в признании того факта, что свойства системы не являются суммой свойств её элементов. Система обладает одним или несколькими свойствами, которых, как правило, не может быть у отдельных элементов.

Пример. ИНСМ — решает задачи

аппроксимации функций, распознавания образов, управления и др. Отдельные её элементы и компоненты не обладают такими свойствами.

3-й принцип состоит в стремлении к максимальной эффективности работы системы, заключающейся в обеспечении заданных параметров функционирования при минимизации потребности в аппаратных, энергетических, временных, финансовых и других ресурсах.

Пример. Для ИНСМ при выполнении заданных функций актуально снижение аппаратных, программных, энергетических, финансовых затрат, повышение точности, быстродействия, надёжности.

4-й принцип заключается в запрете рассмотрения системы в отрыве от окружающей среды, как не имеющую внешних связей и независимую от внешних полезных и деструктивных факторов.

Пример. На ИНСМ извне воздействуют сигналы управления, контроля, диагностики; информационные и электромагнитные шумы и помехи; климатические факторы, и исследование, анализ или синтез ИНСМ в отрыве от внешней среды не представляет теоретического или практического интереса.

5-й принцип заключается в возможности или необходимости деления рассматриваемой системы на части.

Пример. Из многообразия типов связей в ИНСМ различной размерности (в частности, иерархические, структурные, информационные, сигнальные) в системе вытекает возможность и необходимость нескольких вариантов деления её на части для исследования, анализа или синтеза.

6-й принцип заключается в том, что система должна рассматриваться на всех этапах жизненного цикла: происхождение, развитие, разрушение или в научно-технических приложениях: составление задания на проектирование, проектирование, производство, эксплуатация, утилизация.

Пример. ИНСМ является частным типом

информационных систем. Этапы жизненного цикла: формирование цели работы и составление технического задания, проектирование, производство, эксплуатация, утилизация — обязательны для разработки и в общих вопросах регламентируются нормативно-техническими документами.

1.2.4 Системный анализ

1.2.4.1 НФЭ [9]. Системный анализ — совокупность методов и средств, используемых при исследовании и конструировании сложных и сверхсложных объектов, прежде всего — методов выработки, принятия и обоснования решений при проектировании, создании и управлении социальными, экономическими, человеко-машинными и техническими системами.

Теоретическую и методологическую основу системного анализа составляют системный подход и общая теория систем.

1.2.4.2 Учебное пособие [25]. Системный анализ — область деятельности, направленной на выявление причин возникших сложностей и на выработку вариантов их устранения.

1.2.4.3 Справочник-словарь [16]. Анализ (Analysis) — процесс изучения системы путём выделения частей в её составе (функций, элементов или объектов) и определения того, как эти части связаны между собой.

1.2.4.4 «Рабочее» определение. Системный анализ (СА) — совокупность методов и средств процесса изучения системы путём выделения структурных или функциональных компонентов в её составе в течение жизненного цикла и определения характера связи между ними. СА — это компонент СИ.

1.2.5 Общая теория систем

1.2.5.1 НФЭ [9]. Общая теория систем — специально-научная и логико-методологическая концепция исследований объектов, представляющих собой системы. Общая теория систем тесно связана с системным подходом и является конкретизацией и логико-методологическим выражением его

принципов и методов. Она даёт методы реализации СП для анализа и синтеза систем.

1.2.5.2 **«Рабочее» определение.** Общая теория систем — специально-научная дисциплина предметом изучения которой, являются производного назначения и сложности системы: природные, искусственные, физические, информационные, человеко-машинные, социальные во все периоды их жизненного цикла.

1.2.6 Инженерия

1.2.6.1 Справочник — словарь [16], ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E) [20]. Инженерия (Engineering, син. русск.: Инженерное дело) — применение систематизированного, упорядоченного, количественно измеримого подхода к структурам, машинам, продукции, системам или процессам.

1.2.6.2 ГОСТ Р 57306—2016 [14]. Инженерное дело (engineering). Профессиональная деятельность, связанная с применением систематического, строгого, количественного подхода для создания и применения информации о физических объектах, системах, процессах и их взаимодействии в целях создания новых существ.

1.2.6.3 ГОСТ Р 57306—2016 [14]. Инжиниринг (engineering) — это инженерно-консультационная деятельность, содержанием которой является решение инженерных задач, связанных с созданием или совершенствованием продукции, систем и(или) процессов.

Примечание. Два одинаковых термина обозначают два разных предмета.

1.2.6.4 Словарь Кембриджского университета [26]. Инженерное дело (инженерия) — это использование научных принципов для проектирования и строительства машин, сооружений и других объектов, включая мосты, туннели, дороги, транспортные средства и здания. (Engineering is the use of scientific principles to design and build machines, structures, and other items, including bridges, tunnels, roads, vehicles, and buildings)

1.2.6.5 Encyclopaedia Britannica [27]. Инженерия — применение науки для оптимального

преобразования природных ресурсов в пользу человечества. (Engineering, the application of science to the optimum conversion of the resources of nature to the uses of humankind)

1.2.6.6 Толковый словарь русского языка [28]. Инженерия:

а) Инженерное дело - творческая техническая деятельность.

б) В некоторых сочетаниях: конструирование новых, не существующих в природе органических единиц. клеточная инженерия, генная инженерия.

1.2.6.7 Инженерия. Американская авторитетная организация в области обучения, аккредитации и регулирования деятельности инженерных кадров «Совет по профессиональному развитию инженеров» (Engineers' Council for Professional Development [ECPD]) сформулировала следующее определение термина «инженерия» [29].

Творческое приложение научных принципов:

а) к проектированию или разработке сооружений, машин, аппаратуры или процессов их изготовления, или к объектам, в которых эти устройства или процессы используются разрозненно или комплексно;

б) — к конструированию и эксплуатации вышеуказанных инженерных устройств в полном соответствии с проектом;

в) — к прогнозированию поведения инженерных устройств в определённых условиях эксплуатации — руководствуясь соображениями обеспечения их функциональности, экономичности в использовании и безопасности для жизни и имущества.

1.2.6.8 Обратный инжиниринг [30] (reverse engineering), также обратное проектирование, обратное конструирование — инженерный анализ технологии изготовления какого-либо товара с целью раскрытия технологических секретов фирмы-конкурента и последующего незаконного копирования. Возможно обратное значение — анализ изделия конкурента для выявления нарушения патентных прав.

1.2.6.9 Обратная инженерия [16] (Inverse Engineering), ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E) [20]. Процесс получения высокоуровневого представления о программном продукте на основе исходного кода.

Примечание. Два одинаковых термина обозначают два разных предмета.

1.2.6.10 «Рабочее» определение. Инженерное дело (инженерия) — профессиональная деятельность по применению научно-технических достижений для проектирования, производства и эксплуатации физических и (или) информационных объектов (явлений и процессов) различного назначения и сложности.

Предложенное определение относит понятие «инженерное дело» к области профессиональной деятельности человека, в которой для выполнения текущих задач используются научно-практические знания о живой и неживой природе, технике, обществе из различных отраслей науки и практики.

К настоящему времени инженерная деятельность ведётся в ряде отраслей, как с общими, так и со своими специфическими целями, объектами (предметами), методологиями и средствами, формируя отрасли инженерии (рис. 2). В частности:

- Биоинженерия.
- Генная инженерия.
- Инженерия знаний.
- Компьютерная инженерия.
- Клеточная инженерия.
- Машиностроительная инженерия.

- Морская инженерия.
- Программная инженерия.
- Промышленная инженерия.
- Радиотехническая инженерия.
- Системная инженерия.
- Строительная инженерия.
- Структурная инженерия.
- Транспортная инженерия.

2 Системная инженерия

2.1 Справочник-словарь [16], ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E) [20].

Системная инженерия (System Engineering) — междисциплинарный подход, определяющий полный набор технических и управленческих усилий, которые требуются для того, чтобы преобразовать совокупность потребностей и ожиданий заказчика и имеющихся ограничений в эффективные решения и поддержать эти решения в течение их жизненного цикла.

2.2 Косяков А. и др. [31]. Системная инженерия. Термин не предлагается. Назначение СИ состоит в том, чтобы руководить созданием сложных систем.

2.3 Левенчук А. [32]. Системная инженерия — это междисциплинарный подход и способы обеспечения воплощения успешной системы. (Systems engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems).

2.4 Шамие К. [33]. Системная инженерия — это междисциплинарный подход к созданию крупных комплексных систем, которые соот-

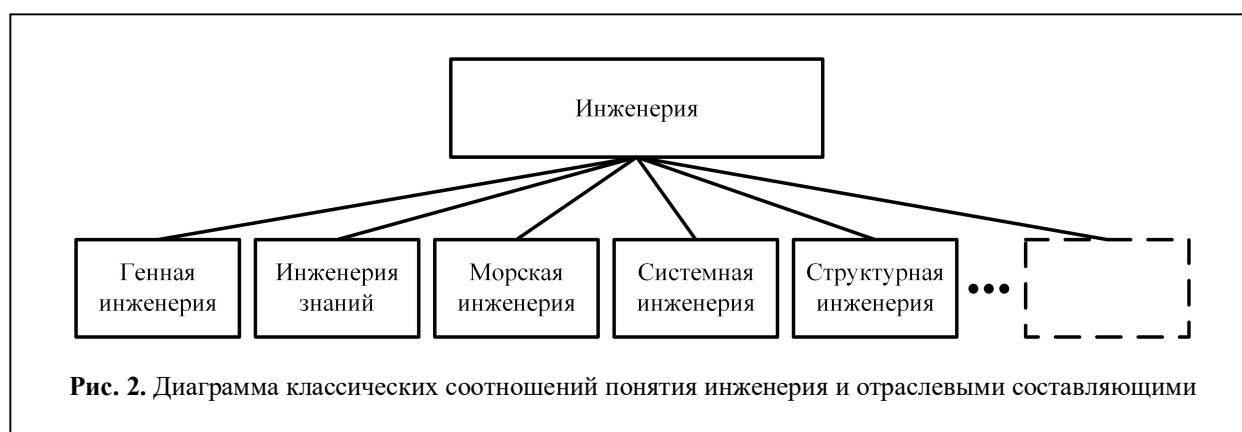


Рис. 2. Диаграмма классических соотношений понятия инженерия и отраслевыми составляющими

ветствуют определенному набору экономических и технических требований.

2.5 «Рабочее» определение. Системная инженерия — профессиональная деятельность по применению научно-технических достижений для исследования, проектирования, производства и эксплуатации физических, (или) информационных, человеко-машинных, социальных систем различного назначения и сложности.

Для объяснения предложенного рабочего определения СИ, подойдем к задаче с «оборотной» стороны — попытаемся найти ответ на вопрос: «Где в Мире нет систем, а в свойствах объектов или явлений — системности?» Ответ дал Л. Фон Берталанфи : «Системы повсюду!!!» [9].

Нет оснований возражать такому заключению в связи с системностью устройства Мира, формализованной общенаучным принципом системности (п. 1.2.2).

То есть, все объекты и процессы, явления и события — системы. Методы и технологии — системы. Мышление человека — система [32].

СИ это изначальный и общий для всех отраслей инженерии вид профессиональной деятельности всё в более многочисленных и масштабных применениях его положений в многомерном пространстве и времени.

Все рассмотренные источники по СИ со времен Архимеда до нынешних отличаются увеличением количества внутренних и внешних элементов, структур, связей, их типом и силой, размерностью, существенных для достижения целей и учитываемых на всех этапах жизненного цикла явлений и процессов.

Любой элемент — резистор, гайка, гвоздь, лекарственный препарат содержит некоторые положение СП: учёт всех периодов жизни в

своих характеристиках и учёт внешних, в частности, климатических, воздействий. Затраты на товары и услуги материалов, энергии, времени, финансов всегда требовалось минимизировать.

Из выше рассмотренного материала следует, что «Инженерия» и «Системная инженерия» не имеют по своим предметам строгих разделяющих их границ, а только очень условные, полезные для решения конкретных задач или достижения поставленных целей.

Все отрасли инженерии — это подсистемы СИ. Методологии в них конкретизированные, но основаны они как СИ на системном подходе и общей теории систем.

Системный анализ является компонентом СИ.

Более наглядно системность любой инженерной деятельности показывает диаграмма на рис. 3.

Вывод. СИ является компонентом всех отраслевых инженерий, по системным принципам, структуре, связям, методологиям и технологиям проектирования, производства, эксплуатации, утилизации в объёмах, необходимых для решения поставленных задач.

Беспредметной СИ не существует.

Вывод: приведённое определение не противоречит вышеприведённым определениям, включая все положения в них содержащиеся.

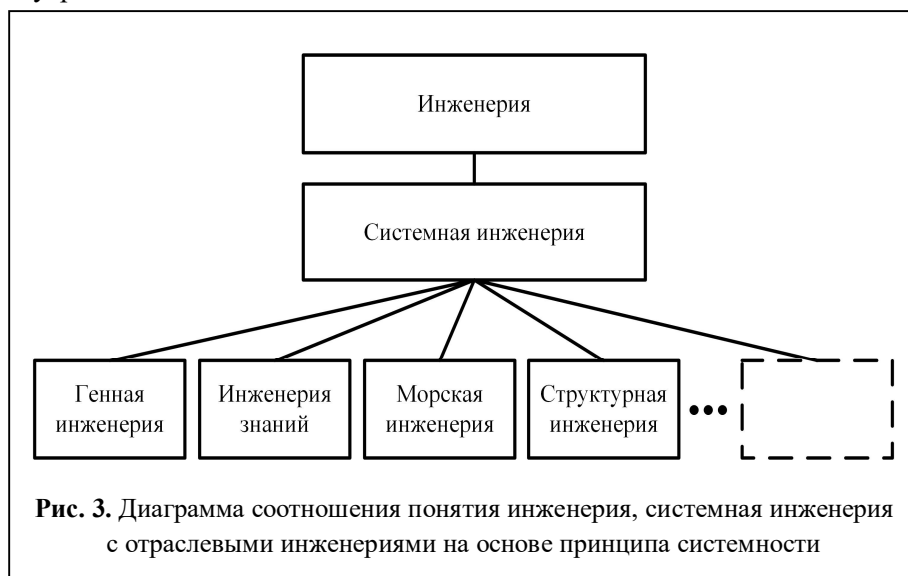
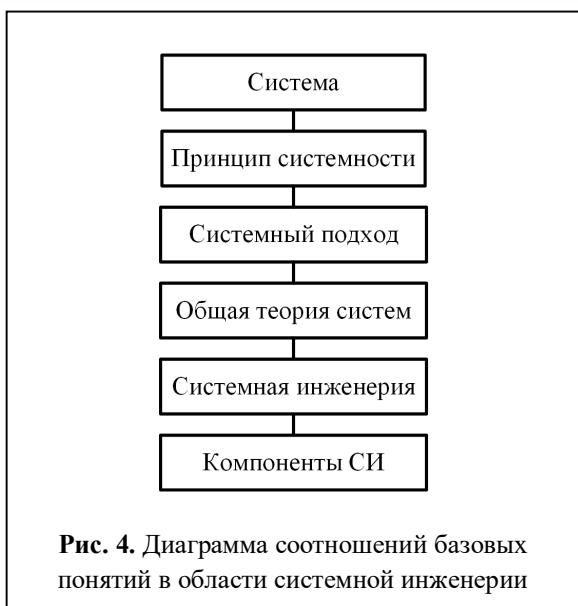


Рис. 3. Диаграмма соотношения понятия инженерия, системная инженерия с отраслевыми инженериями на основе принципа системности



3 Соотношение базовых понятий СИ

Изучив содержание базовых понятий (п. 1.2) в области СИ, их терминов и определений, авторы составили вариант диаграммы соотношений между ними (рис. 4).

4 Технология применения СИ

Технология эффективного применения принципов, методов, алгоритмов СИ находится в стадии интенсивного развития и становления. Это связано как с ростом сложности современных задач и целей для создаваемых систем, так и с множеством специфических особенностей и тонкостей, имеющих место в конкретной области применения СИ.

Одним из удачных и перспективных

направлений разработки технологий реализации процесса СИ является группа моделей, получивших наименование V-модели [34].

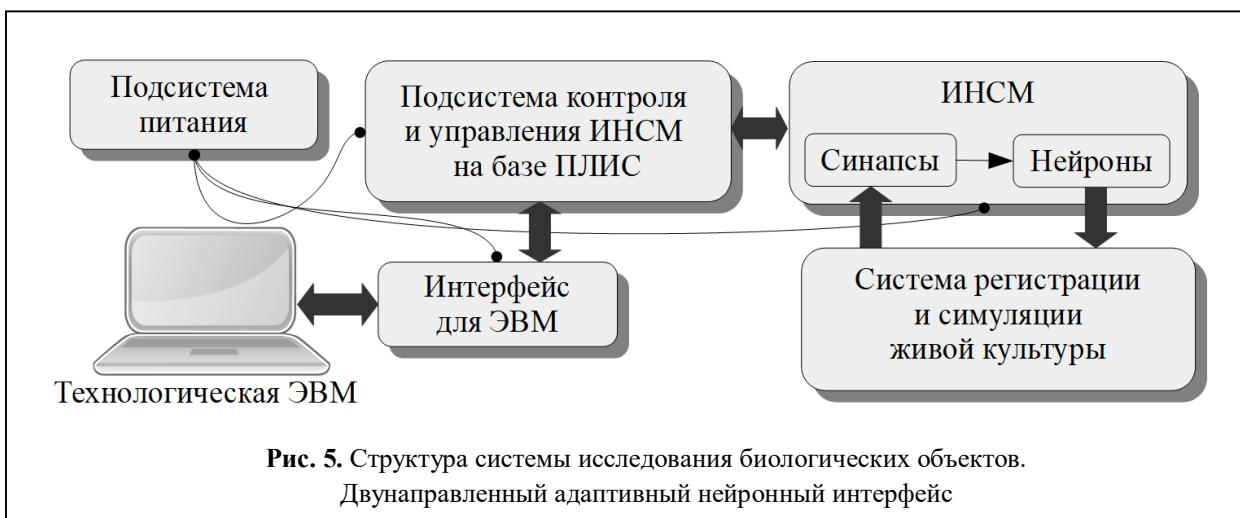
Авторы провели инженерное системное проектирование ИНСМ распознавания и классификации биологических сигналов, входящей в состав системы исследования биологических объектов [35] с заданной надёжностью (рис. 5).

Ранее, на основе положений системного подхода авторы сформулировали и обосновали общенаучное определение термина «информация» [36], а также разработали количественный критерий меры отказоустойчивости (fault tolerance measure — FTM) [6], позволившие разработать новый подход к анализу и синтезу надёжности плохо формализуемых или не формализуемых систем (в частности ИНСМ) любой природы, сложности и назначения от точности через отказоустойчивость.

Основным инструментом проектирования является имитационное моделирование в связи с особенностями ИНСМ как системы, отмеченными в пункте 1.2.1.10. Укрупнённая модель технологии проектирования представлена на рис. 6. и состоит из 9 этапов.

Содержание этапов модели технологии системного проектирования ИНСМ:

1-й этап — формирование системной архитектуры по требованиям к ИНСМ, взаимодействие с другими системами, возможность модернизации. Составление плана валидации и приёмочных испытаний ИНСМ.



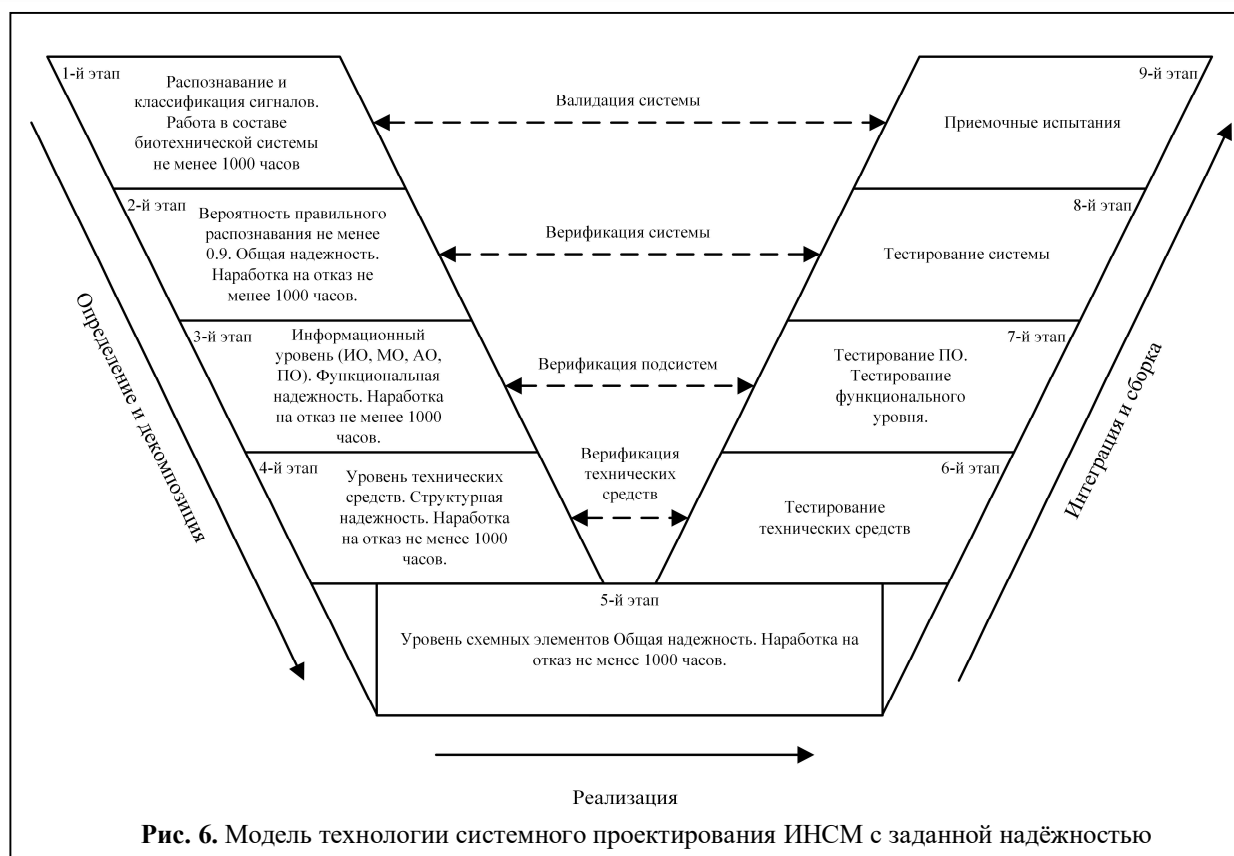


Рис. 6. Модель технологии системного проектирования ИНСМ с заданной надёжностью

2-й этап — формирование технических требований к системе (точность, надёжность, быстродействие, стоимость). Составление плана верификации и тестирования ИНСМ.

3-й этап — информационный уровень. Разработка моделей преобразования поступающей информации с заданным качеством; разработка моделей подуровней: математического обеспечения — МО; алгоритмического обеспечения — АО; программного обеспечения — ПО. Формирование требований к ним по надежности. Составление плана верификации и тестирования информационного уровня ИНСМ.

4-й этап — уровень технических средств. Разработка моделей устройств преобразования сигналов в ИНСМ — носителей информации в виде совокупности алгоритмов преобразования сигналов. Алгоритмы преобразования сигналов и информации, как правило, не совпадают, а их количество — различно. Формирование требований к ним по

надёжности. Составление плана верификации и тестирования технических средств.

5-й этап — уровень схемных элементов составляют модели физических процессов, протекающих в них. Формирование требований к ним по надежности. Составление плана и тестирование надежности схемных элементов.

6-й этап — тестирование и верификация технических средств. Разработка документации по обучению работе с техническими средствами, их обслуживанию, установке и тестированию.

7-й этап — тестирование и верификация информационного уровня ИНСМ. Разработка документации по обучению работе с системой, её обслуживанию, установке и тестированию на информационном уровне.

8-й этап — верификации и тестирования ИНСМ на соответствие техническим требованиям. Разработка документации по обучению работе с ИНСМ, её обслуживанию, установке и

тестированию на соответствие техническим требованиям.

9-й этап — валидация и приёмочные испытания ИНСМ.

Заключение

В данной работе выполнена совокупность работ:

- Проведён обзор базовых понятий в сфере СИ.
- Предложен общий подход к понятиям, не получивших в научно-техническом сообществе общепризнанных определений, обозначений, терминов.
- На основе авторского общего подхода сформулированы и предложены «рабочие» определения понятий «система», «принцип системности», «системный подход», «системный анализ», «общая теория систем».
- Составлены и обоснованы диаграммы связей между понятиями в сфере СИ.
- Приведены примеры определений «система», «принципы системного подхода», адаптированные для сферы ИНСМ.
- Сформулированы определения понятий «инженерия» и «системная инженерия».
- Приведена укрупненная модель системной технологии проектирования ИНСМ с заданной надёжностью.
- Внесён вклад в теорию СИ в части формирования единого понятийного аппарата для принятия научно-техническим сообществом единых базовых понятий, обозначений, определений, терминов.

Авторы не считают результаты проведённой работы лишёнными недостатков. Сделанные выводы и уточнения понятий, терминов и определений сформулированы на основе доступных им источников.

Понятия, термины, определения в сфере СИ авторы предложили, как рабочие для своего научного коллектива, коллег и для тех читателей, которые с ними будут согласны.

Авторы с благодарностью примут все замечания и пожелания, которые будут им направлены по данной работе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-07-01215

Литература

1. Борданов И.А., Щаников С.А., Данилин С.Н. Современное состояние в области аппаратной реализации искусственных нейронных сетей на базе мемристоров // Телекоммуникации. 2020. № 8. С. 35–48
2. Kataeva I., Ohtsuka S., Nili H., Kim H., Isobe Y., Yako K., Strukov D. Towards the development of analog neuromorphic chip prototype with 2.4m integrated memristors // 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 2019. Pp. 1–5.
3. Serb A. et al. A geographically distributed biohybrid neural network with memristive plasticity. 2017.
4. Chua L. Five non-volatile memristor enigmas solved // Applied Physics. 2018. Vol. 124. P. 563–606.
5. Emelyanov A.V. et al. Self-adaptive STDP-based learning of a spiking neuron with nanocomposite memristive weights // Nanotechnology. 2020. Vol. 31, No. 4. DOI: 10.1088/1361-6528/ab4a6d
6. Данилин С.Н., Щаников С.А., Борданов И.А., Зуев А.Д. Количественное определение отказоустойчивости искусственных нейронных сетей на базе мемристоров // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2020. № 1. С. 55–65.
7. Данилин С.Н. и др. Имитационное моделирование искусственной нейронной сети распознавания сигнала // Телекоммуникации. 2019. № 6. С. 10–14.
8. Mikhaylov A.N. et al. One-Board Design and Simulation of Double-Layer Perceptron Based on Metal-Oxide Memristive Nanostructures // IEEE Trans. Emerg. Top. Comput. Intell. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2018. Vol. 2. No. 5. Pp. 371–379.
9. Новая философская энциклопедия. Т. 3 / под общ. ред. В.С. Степин и др. М.: Мысль, 2010. 692 с.
10. Elm J. et al. The Business Case for Systems Engineering Study: Results of the Systems Engineering Effectiveness Survey // SPECIAL REPORT CMU/SEI-2012-SR-009 CERT Program. 2012. P. 173.
11. Danilin S., Shchanikov S., Bordanov I., Zuev A., Sakulin A. The system approach to designing memristor-based neural networks // Proc. MEMRISYS 2019. 2019. P. 1.
12. Щаников С.А., Борданов И.А., Зуев А.Д., Данилин С.Н., и др. Применение системного подхода при создании искусственных нейронных сетей на базе мемристоров // XVIII Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». Тезисы докладов. М: ФГБОУ ВО МГППУ, 2020. С. 16–23.
13. ГОСТ Р ИСО 704-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Терминологическая

работа. Принципы и методы. М.: Стандартинформ, 2012. 57 с.

14. ГОСТ Р 57306—2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга. М.: Стандартинформ, 2018. 10 с.

15. Большая Российская энциклопедия [Электронный ресурс] / ред. *Кравец С.Л.* URL: <https://bigenc.ru> (дата доступа: 20.07.2020).

16. *Батоврин В.К.* Системная и программная инженерия. Словарь-справочник: учеб. пособие для вузов. М.: ДМК Пресс, 2010. 280 с.

17. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / под ред. *В.Н. Волковой, В.Н. Козлова.* М.: Высшая школа, 2004. 616 с.

18. Большая Советская Энциклопедия. Изд. 2-е / под ред. *Б.А. Введенский.* М.: Большая сов. энциклопедия. 1956. Т. 39. 664 с.

19. *Артюхин Г.А.* Теория систем и системный анализ. Практикум принятия решений. Казань: Изд-во Каз. Гос. арх.-строит. Ун-та. 2016. 165 с.

20. ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E). Systems and software engineering — Vocabulary [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec-ieee:24765:ed-2:v1:en> (дата доступа: 20.07.2020).

21. *Галушкин А.И. Пантюхин Д.В.* СуперЭВМ и мемристоры // Информационные технологии. 2016. Т. 22. № 4. С. 304–312.

22. *Galushkin A.I., Danilin S.N., Shchanikov S.A.* The research of memristor-based neural network components operation accuracy in control and communication systems // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings. 2015. Pp. 1–6.

23. *Блауберг И.В.* Проблема целостности и системный подход. М.: Эдиториал УРСС, 1997. 448 с.

24. *Кулик С.Д.* Элементы системного анализа для студентов старших курсов университета. Естественные и технические науки. 2018. № 11 (125). С. 373–377.

25. *Качала В.В.* Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 210 с.

26. Cambridge Academic Content Dictionary. UK: Cambridge University Press, 2008. 1156 p.

27. Encyclopedia Britannica [Электронный ресурс]. URL: <https://www.britannica.com> (дата обращения: 02.08.2020).

28. *Ожегов С. И., Шведова Н. Ю.* Толковый словарь русского языка 4-е изд., доп. М.: ООО «А ТЕМП», 2006. 944 с.

29. Engineers' Council for Professional Development. Canons of ethics for engineers. New York, 1947. No. 30.

30. Экспресс-информация по зарубежной электронной технике // ЦНИИ «Электроника». 2020. № 13 (6712). 56 с.

31. *Косяков А., Свит У* и др. Системная инженерия. Принципы и практика. Пер. с англ. / под ред. *В.К. Батоврина.* М.: ДМК Пресс 2014. 624 с.

32. *Левенчук А.* Системноинженерное мышление. Екатеринбург: Издательское решение, 2019. 590 с.

33. *Шамие К.* Системная инженерия для «чайников». USA, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 76 с.

34. Model-Based Systems Engineering with Rational Rhapsody and Rational Harmony for Systems Engineering - Deskbook 3.1.2 [Электронный ресурс] URL: <https://www.ibm.com/support/pages/model-based-systems-engineering-rational-rhapsody-and-rational-harmony-systems-engineering-deskbook-312> (дата обращения: 02.08.2020).

35. *Shchanikov S., Zuev A., Bordanov I., Danilin S.* et al. Design and Simulation of Memristor-Based Artificial Neural Network for Bidirectional Adaptive Neural Interface. 2020.

36. *Данилин С.Н.* Современное представление об информации // Информационные системы и технологии. 2012. Т. 4. С. 138–146.

Поступила 7 сентября 2020 г.

English

CURRENT PROBLEMS OF THE THEORY AND PRACTICE OF SYSTEM ENGINEERING

Sergey Nikolaevich Danilin — Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of “Software Engineering” Department, Murom Institute (Branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: dsn-55@mail.ru

Sergey Andreevich Shchanikov — Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Dean of Faculty of Information Technologies, Murom Institute (Branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: seach@inbox.ru

Ilya Alekseevich Bordanov — Engineer of Department of Information Systems, Murom Institute (Branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: bordanov2011@yandex.ru

Anton Dmitrievich Zuev — Engineer of Department of Information Systems, Murom Institute (Branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: ad-nemo@mail.ru

Sergey Vladimirovich Pantelev — Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of “Software Engineering” Department, Murom Institute (Branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: ser-pantelev@yandex.ru

Address: 602264, Russian Federation, Vladimir region, Murom, Orlovskaya Street, 2.

Abstract: Experts and users of today’s artificial memristor-based neural networks (AMNN) of various purposes, of technical implementation complexity are using more or less guidelines and practices of systems engineering (SE) in their work. This phenomenon is due to complexity and pronounced AMNN system-level nature of objects, as well as processes of their making, operational use and the tasks they address. Expertise of top Russian and foreign SE experts made it clear that its application gives a large gain in efficiency of many complex projects, the results of which have no their counterparts in the world. Academic and research work of the article’s authors related to AMNN and neuromorphic computation is based on the application of SE basic principles and its methods and practices to all life cycle periods of objects and processes. One of SE problems in general, and of AMNN in particular, is non-existence of basic concepts, designations, definitions, and terms for objects and phenomena that are generally accepted by scientific and technical community. This hinders unequivocal mutual understanding of all those participating in the work impairing its efficiency. The article’s authors proposed general approach to SE concepts that have no generally recognized definitions, designations, and terms in scientific and technical community, and this approach comprises a number of provisions and assumptions. *Operating* definitions of such concepts as *system*, *system-oriented principle*, *system-oriented approach*, *system-oriented analysis*, *system general theory* are formulated and proposed basing on the author’s general approach. Diagrams of relationship between SE concepts are compiled and substantiated. *Operating* definitions of concepts *engineering* and *systems engineering* are formulated. Macro model of system design engineering practice for AMNN with target reliability is presented.

Keywords: systems engineering, system-oriented approach, system general theory, terminology, memristor-based neural networks, accuracy, fault tolerance, reliability.

The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 19-07-01215

References

1. Bordanov I.A., Shchanikov S.A., Danilin S.N. Current state in the field of hardware implementation of artificial neural networks based on memristors. *Telecommunications*. 2020. No. 8. Pp. 35–48
2. Kataeva I., Ohtsuka S., Nili H., Kim H., Isobe Y., Yako K., Strukov D. Towards the development of analog neuromorphic chip prototype with 2.4m integrated memristors. 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 2019. Pp. 1–5.
3. Serb A. et al. A geographically distributed bio-hybrid neural network with memristive plasticity. 2017.
4. Chua L. Five non-volatile memristor enigmas solved. *Applied Physics*. 2018. Vol. 124. Pp. 563–606.
5. Emelyanov A.V. et al. Self-adaptive STDP-based learning of a spiking neuron with nanocomposite memristive weights. *Nanotechnology*. 2020. Vol. 31, No. 4. DOI: 10.1088/1361-6528/ab4a6d
6. Danilin S.N., Shchanikov S.A., Bordanov I.A., Zuev A.D. Quantitative determination of fault tolerance of artificial neural networks based on memristors. *Neurocomputers: development, application*. 2020. No. 1. Pp. 55–65.
7. Danilin S.N. et al. Simulation of an artificial neural network for signal recognition. *Telecommunications*. 2019. No. 6. Pp. 10–14.

8. *Mikhaylov A.N.* et al. One-Board Design and Simulation of Double-Layer Perceptron Based on Metal-Oxide Memristive Nanostructures. *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput. Intell.* Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2018. Vol. 2. No. 5. Pp. 371–379.
9. New philosophical encyclopedia. Vol. 3. Ed. by *V.S. Stepin* et al. Moscow: Mysl, 2010. 692 p.
10. *Elm J.* et al. The Business Case for Systems Engineering Study: Results of the Systems Engineering Effectiveness Survey. SPECIAL REPORT CMU/SEI-2012-SR-009 CERT Program. 2012. P. 173.
11. *Danilin S., Shchanikov S., Bordanov I., Zuev A., Sakulin A.* The system approach to designing memristor-based neural networks. *Proc. MEMRISYS 2019.* 2019. P. 1.
12. *Shchanikov S.A., Bordanov I.A., Zuev A.D., Danilin S.N.* and others. Application of the system approach in creating artificial neural networks based on memristors. XVIII all-Russian scientific conference "Neurocomputers and their application". Thesis of reports. Moscow: MGPPU, 2020. Pp. 16–23.
13. GOST R ISO 704-2010. National standard of the Russian Federation. Terminological work. Principles and methods. Moscow: Standartinform, 2012. 57 p.
14. GOST R 57306-2016. National standard of the Russian Federation. Engineering. Terminology and basic concepts in the field of engineering. Moscow: Standartinform, 2018. 10 p.
15. The Great Russian Encyclopedia [Electronic source]. Ed. by *Kravets S.L.* URL: <https://bigenc.ru> (access date: 20.07.2020).
16. *Batovrin V.K.* System and software engineering. Dictionary-reference: textbook. Handbook for universities, Moscow: DMK Press, 2010, 280 p.
17. System analysis and decision-making: Dictionary-reference. Ed. by *N. Volkova, V.N. Kozlov.* Moscow: Higher school, 2004. 616 p.
18. The Great Soviet Encyclopedia. 2nd edition, ed. by *B. A. Vvedensky.* Moscow: Great Soviet Encyclopedia. 1956. Vol. 39. 664 p.
19. *Artyukhin G.A.* System theory and system analysis. Decision-making workshop. Kazan: Publishing house of Kaz. State Un-ty of Arch. and Engineering. 2016. 165 p.
20. ISO/IEC/IEEE 24765: 2017(E). Systems and software engineering — Vocabulary [Electronic source]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec-ieee:24765:ed-2:v1:en> (access date: 20.07.2020).
21. *Galushkin A.I., Pantyukhin D.V.* Supercomputers and memristors. *Information technologies.* 2016. Vol. 22. No. 4. Pp. 304–312.
22. *Galushkin A.I., Danilin S.N., Shchanikov S.A.* The research of memristor-based neural network components operation, accuracy in control and communication systems. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings. 2015. Pp. 1–6.
23. *Blauberg I.V.* Problem of integrity and systematic approach. Moscow: Editorial URSS, 1997. 448 p.
24. *Kulik S.D.* Elements of system analysis for senior University students. *Natural and Technical Sciences.* 2018. No. 11 (125). Pp. 373–377.
25. *Kachala V.V.* Fundamentals of systems theory and system analysis. Textbook for universities. 2nd ed., ISPR. Moscow: Hotline-Telecom, 2012. 210 p.
26. Cambridge Academic Content Dictionary. UK: Cambridge University Press, 2008. 1156 p.
27. Encyclopedia Britannica [Electronic source]. URL: <https://www.britannica.com> (access date: 02.08.2020).
28. *Ozhegov S.I., Shvedova N.Yu.* Explanatory dictionary of the Russian language 4th ed., additional. Moscow: LLC "A TEMP", 2006. 944 p.
29. Engineers' Council for Professional Development. Canons of ethics for engineers. New York, 1947. No. 30.
30. Express information on foreign electronic equipment. Central Research Institute "Elektronika". 2020. No. 13 (6712). 56 p.
31. *Kosyakov A., Svit U.* and others. System engineering. Principles and practice. Transl. from Engl. Ed. *V.K. Batovrin.* Moscow: DMK Press 2014. 624 p.
32. *Levenchuk A.* System-Engineering thinking. Yekaterinburg: Publishing decision, 2019. 590 p.
33. *Shamie K.* System engineering for "dummies". USA, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 76 p.
34. Model-Based Systems Engineering with Rational Rhapsody and Rational Harmony for Systems Engineering-Deskbook 3.1.2 [Electronic source] URL: <https://www.ibm.com/support/pages/model-based-systems-engineering-rational-rhapsody-and-rational-harmony-systems-engineering-deskbook-312> (access date: 02.08.2020).
35. *Shchanikov S., Zuev A., Bordanov I., Danilin S.* et al. Design and Simulation of Memristor-Based Artificial Neural Network for Bidirectional Adaptive Neural Interface. 2020.
36. *Danilin S.N.* Modern view of information. *Information systems and technologies.* 2012. Vol. 4. Pp. 138–146.