

УДК 004

DOI 10.17726/phillT.2022.1.1



Самовосстановление киберфизических систем на основе анализа результатов аналитического моделирования

Ткаченко Кирилл Станиславович,

инженер 1-й категории,

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

KSTkachenko@sevsu.ru

Аннотация. Киберфизические системы могут обладать свойством самовосстановления. Для моделирования процессов самовосстановления в киберфизических системах стоит учесть применимость подходов оценки информационных характеристик физических систем к сложным компьютерным системам. Поэтому можно оценить количественно степень деградации и возможности самовосстановления изучаемой киберфизической компьютерной системы на основе аналитического моделирования системы массового обслуживания. Управление процессами самовосстановления компьютерного узла киберфизической системы на основе аналитического моделирования позволяет снизить оперативные затраты ресурсов на ремонт и техническое обслуживание узла, повышает эффективность работы компьютерного узла, в том числе за счет увеличения времени безотказной работы в эффективном режиме, то есть появляются качественные изменения в эксплуатации киберфизической системы. Самовосстановление киберфизической системы за счет самовосстановления компьютерных узлов повышает уровень ее робастности и адаптивности к внешним изменениям.

Ключевые слова: компьютерные узлы; киберфизические системы; системы массового обслуживания; самовосстановление.

Self-healing of cyberphysical systems based on the analysis of the results of analytical modeling

Tkachenko Kirill Stanislavovich,

Engineer 1st cat.,

FSAEI HE «Sevastopol State University»

KSTkachenko@sevsu.ru

Abstract. Cyberphysical systems may have the property of self-healing. To model self-healing processes in cyberphysical systems, it is worth considering the applicability of approaches to assessing the information characteristics of physical systems to complex computer systems. Therefore, it is possible to quantify the degree of degradation and the possibilities for self-healing of the studied cyberphysical computer system based on analytical modeling of the queuing system. Management of self-healing processes of a computer node of a cyberphysical system based on analytical modeling allows to reduce the operational costs of resources for the repair and maintenance of the node, increases the efficiency of the computer node, including by increasing the uptime in an efficient mode, that is, there are qualitative changes in the operation of the cyberphysical system. Self-healing of a cyberphysical system due to self-healing of computer nodes increases the level of its robustness and adaptability to external changes.

Keywords: computer nodes; cyber-physical systems; queuing systems; self-healing.

Новой стадией развития человека и его личности может стать появление принципиально новых киберфизических систем [1; 2]. Киберфизические системы являются расширением телесности человека на кибернетические и физические системы, дополняют человеческую личность функциональными и техническими возможностями восприятия в материально-цифровом ключе. Когда человек становится частью киберфизической системы, свобода его выбора углубляется в невидимые и недоступные ранее области компьютерных и сетевых технологий. Из киберфизических систем могут произрасти киберфизические социальные системы, которые станут новыми типами человеческого общества. Живая природа сама по себе обладает свойствами самовосстановления [3]. Эти свойства позволяют как природе в целом, так и отдельным малым ее составляющим поддерживать разнообразие независимо от прерывания развития по различным факторам. Некоторыми из таких факторов являются вымирание и гибель. Следует корректировать развитие отдельных подсистем живого мира, чтобы фильтровать и направлять развитие природы в целом.

Обработка больших объемов данных для получения на их основе новых знаний затруднена вследствие большого количества внутренних связей [4]. Для управления параллельными информационными потоками в компьютерных сетях и переноса вычисле-

ний с отдельных компьютеров на сети в целом требуются принципиально новые подходы к разработке программного обеспечения и управления им. Для такой разработки требуются, в первую очередь, модели процессов, протекающих в рамках сетевых систем. В частности, на таких моделях можно изучить способы повышения управляемости телекоммуникационных систем, повышения эффективности распределенной обработки информации и повышения надежности компьютерных систем в целом. При киберфизическом управлении телекоммуникационными системами расширяется набор функциональных подсистем и возможностей существующих компьютерных систем за счет активного применения интеллектуального анализа и обработки информации в процессах сетевого управления и передачи информации. Задействование киберфизических систем при решении задач автоматизации и контроля в промышленности служит повышению применимости асинхронного распределения управленческих функций на всех этапах принятия решений. В таких системах замечен рост интенсивности используемых информационных потоков при наличии возможностей снижения управленческой нагрузки.

Внедрение киберфизических систем возможно не только в промышленных системах, но и, например, в библиотечном деле [5]. Библиотечные системы во многих случаях приспосабливаются под внешнюю среду и изменяются для учета всех необходимых технологических и информационных ситуаций, в том числе и при ускорении темпов происходящих изменений. Другими словами, библиотечные системы, равно как и их компьютерные подсистемы, эволюционируют под воздействием информационных изменений. Упорядочивание информации в библиотеке на основе разнообразных структурных и системообразующих подходов приводит, в первую очередь, к выявлению связей и взаимодействий в библиотеке и, в результате, к формированию моделей библиотек, на которых можно проводить изучение существующих библиотек и построение новых. Сформированное многоуровневое и многоконтурное единство технических систем и документов в рамках библиотеки может быть дополнено за счет киберфизических подходов к диагностике и управлению. Взаимная интеграция физических систем и компьютерных ресурсов приводит к функциональному распределению системных элементов, а также к созданию и укреплению синергетических взаимосвязей. Внедрение принципиально новых

цифровых технологий в библиотечную инфраструктуру требует непрерывного мониторинга изменений.

Для управления сложными электроэнергетическими системами применяют цифровые подстанции [6]. Современные комплексные цифровые подстанции являются особыми киберфизическими системами, в которых осуществление кибератак, за счет взаимной интеграции компьютерных и физических объектов, может привести к серьезным последствиям. Организация мер противодействия кибератакам отличается очень высокой сложностью, поскольку требует организации либо реорганизации большого количества разнообразных информационных, управляющих, технических, компьютерных и физических подсистем рассматриваемых цифровых подстанций. Существование возможности неправильной реакции на корректные управляющие воздействия либо выработки неверных управляющих воздействий ухудшает информативность и достоверность циркулирующих в компьютерных системах данных, что приводит, в свою очередь, как к снижению эффективности обработки информации, так и к появлению аварийных, нестандартных ситуаций, выходу из строя и старению оборудования. То есть уровень автоматизации работы и управления физическими системами снижается, что ведет за собой и снижение уровня взаимной интеграции, ухудшение возможностей мониторинга, выход из режима реального времени. Разрыв информационных взаимодействий и обмена данными приводит к отказам работы и всех сложных систем цифровых подстанций на всех уровнях организации управления.

Поэтому и существуют множественные программы, проекты, дорожные карты внедрения киберфизических систем в обыденные и повседневные процессы [7]. Одним из аспектов применения киберфизических систем является имплантация достаточно небольших функционирующих киберфизических устройств, в том числе медицинского назначения, в живые организмы на различных уровнях организации (вплоть до отдельных клеток организма), то есть имплантация киберфизических систем. Высокая сложность имплантируемых киберфизических систем обусловлена характером их использования, например для компенсации ограниченных возможностей. В частности, применение высокотехнологичных протезов позволит достичь восстановления отсутствующих либо утраченных навыков, но сопряжено с размытием границ биологи-

ческого тела и возможным появлением зависимости от высоких технологий, ограничений активной жизни. Профилактика разнообразных заболеваний и компенсация их последствий за счет имплантируемых киберфизических систем приводит к тому, что имплант, в некоторых ситуациях, в полной мере невозможно без последствий отделить от тела, тело лишается неприкосновенности. Но при этом и границы самовосстановления и физиологических возможностей тела расширяются. Автономность таких киберфизических систем невозможна без корректных возможностей обеспечения их безопасности и наладки.

Киберфизические системы становятся ядром киберуправления ресурсами в облачных системах и на основе облачных систем [8]. Вынесение либо полный перенос соответствующей киберфизической инфраструктуры в облако позволяет производить изменения в системах управления и производства без изменения непосредственно в центрах принятия решений. Качественная реализация изменений может быть произведена в ситуациях наличия широких возможностей мониторинга ресурсов, доступных киберфизическим системам, в реальном масштабе времени. В частности, обеспечение контроля качества результата функционирования сервисов этих систем при ресурсных ограничениях требует, во-первых, особого киберинтеллекта, а во-вторых – цифровой процессной идентификации. Динамическое изменение самой инфраструктуры управляющих киберфизических систем позволяет им адаптироваться к управлению различными физическими процессами. Широкое и полное использование вычислительных мощностей параллельных многопроцессорных систем, лежащих в основе облачных технологий, позволяет в некоторых ограниченных ситуациях в полной мере исключить человека из процессов принятия решений, что может привести и к оптимизации работы сложных управляемых физических систем. Полное использование потенциала киберфизических систем при их непрерывном самосовершенствовании приводит к преобразованию либо полной виртуализации отдельных физических систем.

Известны ситуации, когда физические системы, в частности радиоэлектронные компоненты, могут самовосстановиться [9]. Такие системы при работе в форсированном режиме могут потерять некоторые свои свойства либо ухудшить свои характеристики, но после изменения режимов эти свойства с некоторой вероятностью

возвращаются, а характеристики возвращаются к корректным. Но самовосстановление не происходит мгновенно, для него требуется определенное время. Помимо прочего, работоспособность радиоэлектронных компонентов может сохраняться на должном уровне требуемое время лишь при ограниченном соблюдении режимов функционирования. С другой стороны, после самовосстановления не происходит катастрофических отказов компонентов. Моделирование процессов самовосстановления радиоэлектронных компонентов производится на основе аппарата дифференциальных уравнений. Результатами моделирования становятся временные зависимости характеристик компонентов. Негативные изменения характеристик, наблюдаемые после самовосстановления, в форсированном режиме могут приводить к отказам.

Самовосстановление присуще также и разнообразным материалам [10]. Самовосстановление в этих материалах возможно за счет протекающих в них специфичных процессов. Самовосстановление происходит автоматически, без участия внешних по отношению к материалам воздействий. Присущее биологическим системам самовосстановление не всегда в полной мере применимо к рукотворным материалам. Самовосстанавливающиеся материалы в полной мере либо частично могут возвращать себе ранее присущие характеристики. Самовосстановление сильно зависит от качественного уровня повреждений либо изменений в материалах. Если материалу предоставить возможность самовосстановления за счет изменений в его изначальном составе, структуре, либо прочих внедрениях, то характеристики материала могут измениться, что приведет, например, к изменению требуемых ресурсов для производства как материала, так и продукции из него.

Киберфизические системы также могут обладать свойством самовосстановления. Для моделирования процессов самовосстановления в киберфизических системах стоит учесть применимость подходов оценки информационных характеристик физических систем к сложным компьютерным системам [11]. Поэтому можно оценить количественно степень деградации и возможности самовосстановления изучаемой киберфизической компьютерной системы на основе аналитического моделирования системы массового обслуживания (СМО) [12-15].

Аналитическое моделирование СМО типа М/М/1/Н для априори заданных интенсивности входного потока λ , емкости буфе-

ра N , производительности обслуживания заявок μ производится по формулам:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda}{\mu}, \\ p_0 &= \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+2}}, \\ p_j &= p_0 \rho^j, \quad j = 1, 2, \dots, N + 1, \\ p_{отк} &= p_{N+1} = p_0 \rho^{N+1}, \\ L_q &= \rho^2 \frac{[1 - \rho^N(N + 1 - N\rho)]}{(1 - \rho^{N+2})(1 - \rho)}, \\ L_s &= L_q + 1 - p_0.\end{aligned}\tag{1}$$

В (1) ρ – загрузка СМО, p_0 – вероятность простоя, p_j – вероятность пребывания в системе j заявок, $p_{отк}$ – вероятность отказа, L_q – среднее число заявок в очереди, L_s – среднее число заявок в системе.

Предполагается, что моделируемая киберфизическая компьютерная система функционирует неограниченно долго. Ситуация, когда занят только канал обслуживания заявок, определяется вероятностью состояния p_1 . Если занят канал обслуживания заявок и в очереди находится $(j - 1)$ заявок, то в системе j заявок и вероятность такого состояния p_j .

Пусть деградация киберфизической компьютерной системы начинается со значения вероятности, равной p^{krit} . Для определения количества находящихся в системе k заявок, при которых может начаться деградация компьютерной системы, следует оценить превосходящее значение суммы соответствующих вероятностей:

$$\sum_{j=0}^k p_j = p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_k \leq p^{krit}.\tag{2}$$

Для удобства вводится обозначение:

$$\Theta_k = \sum_{j=0}^k p_j.\tag{3}$$

Исходя из (2), можно определить количество заявок k , после которого начнутся деградационные изменения в изучаемой компьютерной системе. Например, пусть $N = 40, 41, \dots, 48$, $k = 20, 21, \dots, 30$, для случая высокой загрузки $\rho=0,95$. Тогда по (1) и (3) получаются результаты расчетов сумм вероятностей Θ_k , которые сводятся в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты расчетов сумм вероятностей Θ_k

N^k	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
40	0,7460	0,7652	0,7835	0,8009	0,8174	0,8331	0,8480	0,8622	0,8756	0,8884	0,9005
41	0,7411	0,7602	0,7784	0,7957	0,8121	0,8277	0,8425	0,8566	0,8699	0,8826	0,8947
42	0,7365	0,7556	0,7736	0,7908	0,8071	0,8226	0,8373	0,8513	0,8646	0,8772	0,8892
43	0,7323	0,7512	0,7691	0,7862	0,8024	0,8178	0,8324	0,8463	0,8595	0,8721	0,8840
44	0,7282	0,7470	0,7649	0,7819	0,7980	0,8133	0,8279	0,8417	0,8548	0,8673	0,8791
45	0,7245	0,7432	0,7609	0,7778	0,7939	0,8091	0,8236	0,8373	0,8504	0,8628	0,8746
46	0,7209	0,7395	0,7572	0,7740	0,7900	0,8051	0,8195	0,8332	0,8462	0,8586	0,8703
47	0,7176	0,7361	0,7537	0,7704	0,7863	0,8014	0,8157	0,8293	0,8423	0,8546	0,8663
48	0,7144	0,7329	0,7504	0,7670	0,7828	0,7979	0,8121	0,8257	0,8386	0,8508	0,8625

Аналогичным образом можно подготовить расчет значений и для других значений N , ρ и k . Руководствуясь сформированными в памяти компьютерного узла таблицами значений Θ_k , система поддержки принятия решений в автоматическом либо автоматизированном режиме (с участием эксперта) может произвести корректировку параметров компьютерного узла.

Указанная параметрическая корректировка киберфизической системы служит, во-первых, увеличению эффективности обработки заявок киберфизическим компьютерным узлом, во-вторых, снижению деградационных эффектов и восстановлению последствий воздействия деградационных событий – деградаторов. В частности, уменьшению средней длины очереди L_q и среднего числа заявок в системе L_s .

Компенсация воздействий деградаторов достигается следующим образом. Путем значительного количества наблюдений определяется эмпирическое значение пороговой величины деградации p^{krit} . Пользуясь аналогом таблицы 1, можно выявить крити-

ческое значение k , после которого процессы деградации станут неуправляемыми и необратимыми, а затем и установить наиболее подходящие значения кортежа параметров $\langle \mu, N \rangle$ на компьютерном узле путем выбора одновременно и подходящих, и эффективных режимов функционирования компьютерного аппаратного и программного обеспечения. Такие коррективы позволят избежать преждевременного деградационного эффекта и инициировать существующие процессы самовосстановления в сложной комплексной киберфизической компьютерной системе.

Другими словами, в рамках сложной киберфизической системы возможно определение такого режима функционирования этой системы, при котором наблюдаются процессы самовосстановления. Процессы самовосстановления могут способствовать исключению негативного влияния деградаторов в рамках не только компьютерного узла, но и тесно связанного с киберфизической системой человека либо человека-оператора. Это означает, что, если человеческое тело либо человеческий разум неразрывно, «киберфизически» связаны с компьютерной системой, то эта тесная связь повлияет и на самовосстановление связанного с ней человека, реорганизует его личность. Например, установка определенного, соответствующего суб- либо околокритичному режиму функционирования этой сложной комплексной системы позволит, во-первых, в полной мере раскрыться личностным возможностям человека, во-вторых, эффективно решать задачи критического применения в киберфизических средах.

Поскольку киберфизические системы, в некотором роде, являются продолжением развития человека и общества, то их можно использовать для совершенствования человека [18]. Совершенствование человека достигается при улучшении его здоровья, которое подразделяется на физиологическое, психологическое и социальное. Окружающая среда в значительной мере влияет на здоровье отдельных людей. Это влияние может быть как положительным, так и отрицательным. Отрицательное влияние можно и нужно компенсировать различными способами. К числу этих способов относится корректировка социальных систем. Изменение социальных систем приводит к возникновению комфортных условий сред. Эти условия могут быть комфортны для конкретного человека и его личности. Изменение факторов среды и условий функционирования киберфизической системы приводит к искажениям в гоме-

остазе человека. Угнетающие деградаторы по отношению к киберфизической системе ухудшают процессы саморегулирования и человека, и компьютерной системы. Деградаторы компьютерных систем могут стать неким аналогом патогенных агентов, что приведет к искажению внутреннего мира человека и восприятия им внешнего мира. Уменьшение уровня доверия к внешним источникам автоматически снижает и защиту человека от неблагоприятных воздействий, а затем и адекватность формируемых подходов к реакции на изменяющиеся факторы среды.

Благодаря переносу части человеческих функций на компьютерные составляющие киберфизических систем становится возможным восстановление внутренних ресурсов организма [19]. Эти внутренние ресурсы берутся из и благодаря совершенствованию ранее скрытых его способностей. Полное раскрытие природных возможностей влияет на способность человека в большей мере управлять жизнью, что, в конечном итоге, является основой личного счастья. Трансформация созданной таким образом целостной личности придает последней свойства уникальности, неповторимости и потребности в творческой реализации. Уменьшение влияния деградаторов путем управления компьютерной частью киберфизической системы снижает потребность человека в организации собственной защиты от внешней среды, что приводит к улучшению протекающих взаимодействий. Эти изменения должны происходить динамически, поскольку влияние деградаторов может, в различные моменты времени, возрастать и убывать неравномерно. Анализ состояния изменений, например путем применения диагностических методик по отношению к конкретному изучаемому человеку, неразрывно связанному с компьютерной системой, позволяет выявить потребности в применении мер по противодействию деградаторам. Полнота использования скрытых резервов при этом также является мерой снижения влияния деградирующих событий.

Для устойчивого развития человека и других сложных открытых систем необходимо учитывать внешние требования, налагаемые законами природы [20]. При развитии открытых сообществ может наступить кризисная ситуация. Выход из этой ситуации возможен, в том числе, путем анализа и последующего учета связей между различными элементами сложных открытых систем, основанных на этих связях взаимодействий, и непосредственно отдель-

ных элементов. Нарушение условий целостного развития живых систем приводит к ухудшению в процессах отдельных людей. Если человек является частью киберфизической системы, то учет ограничений как человеком, так и компьютерной частью позволяет достичь гармоничного развития открытых систем и киберфизических систем, выступающих их частью. Для личности человека в современных реалиях очень важна духовность. Духовность является частью мудрости, совокупностью накопленного жизненного опыта, позволяющего успешно бороться с деградаторами. Духовность – основа и центр для построения плана совершенствования личности, путь для самовосстановления человека в рамках киберфизической системы. Успешное и целенаправленное накопление результатов самовосстановления положительно, гармонически влияет и на все сложные системы, частью которых является человек.

Поэтому решение глобальных ноосферных проблем можно начать с самовосстановления одного человека [21]. Самовосстановление единственного человека несет в себе те же самые общие закономерности, что и самовосстановление всей ноосферы. Взаимодействие человека и ноосферы в ходе их общего и взаимного самовосстановления несет гармонию в окружающие человека системы. Являясь частью киберфизических систем, человек способен оказывать влияние в большей степени, чем достижимо без компьютерных технологий. Ноосфера сама в значительной степени обладает широкими возможностями самовосстановления. Если будет достигнут предел возможностей самовосстановления ноосферы, то произойдет гибель и всех входящих в состав ноосферы элементов, в том числе людей. Поэтому целью существования людей должно стать самовосстановление для повышения качества функционирования ноосферы. Ценности отдельных людей должны находиться в гармонии со всей ноосферой. Тогда и глобальные природные надсистемы смогут в полной мере эффективно не только самовосстанавливаться, но и развиваться. Иллюзорный уход от самовосстановления однозначно приводит к деградации, является частным случаем патологии. Всеобъемлющее самовосстановление не сдерживается никакими ограничениями и рамками.

Поэтому можно считать, что, с одной стороны, управление процессами самовосстановления компьютерного узла киберфизической системы на основе аналитического моделирования позволяет снизить оперативные затраты ресурсов на ремонт и техническое

обслуживания узла, повышает эффективность работы компьютерного узла, в том числе за счет увеличения времени безотказной работы в эффективном режиме, то есть появляются качественные изменения в эксплуатации киберфизической системы. С другой стороны, самовосстановление киберфизических систем является первым шагом к эволюции текущего состояния ноосферы. Самовосстановление киберфизической системы за счет самовосстановления компьютерных узлов повышает уровень ее робастности и адаптируемости к внешним изменениям.

Литература

1. *Чеклецов В. В.* Диалоги гибридного мира // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. – 2021. – № 1(19). – С. 99-116. (*Chekletcov V. V.* Hybrid World Dialogues // Filosofskie problemy informatcionnykh tekhnologii i kiberprostranstva. – 2021. – Vol. 1(19). – S. 99-116.)
2. *Аршинов В. И., Гримов О. А., Чеклецов В. В.* Киберанимизм: искусство быть живым в гибридном обществе // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. – 2021. – № 2(20). – С. 39-60. (*Arshinov V. I., Grimov O. A., Chekletcov V. V.* Cyberanimism: the art of being alive in a hybrid society // Filosofskie problemy informatcionnykh tekhnologii i kiberprostranstva. – 2021. – Vol. 2(20). – S. 39-60.)
3. *Тетиор А. Н.* Закон прерывистой эволюции и самовосстановления живой природы Земли // Евразийский Союз Ученых. – 2020. – № 9-1(78). – С. 57-64. (*Tetior A. N.* The law of discontinuous evolution and self-recovery of the living nature of the Earth // Evraziiskii Soiuz Uchenykh. – 2020. – Vol. 9-1(78). – S. 57-64.)
4. *Кудж С. А., Цветков В. Я.* Сетцентрическое управление и киберфизические системы // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 2(19). – С. 86-92. (*Kudzh S. A., Tsvetkov V. Ia.* Network-centric control and cyber-physical systems // Obrazovatelnye resursy i tekhnologii. – 2017. – Vol. 2(19). – S. 86-92.)
5. *Черный Ю. Ю.* Библиотека будущего как киберфизическая система // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2020. – Т. XXIV, № 1. – С. 209-215. (*Chernyi Yu. Yu.* Library of the future as a cyber-physical system // Sistemnyi analiz v proektirovanii i upravlenii. – 2020. – T. XXIV, Vol. 1. – S. 209-215.)
6. *Колосок И. Н., Коркина Е. С.* Анализ кибербезопасности цифровой подстанции с позиций киберфизической системы // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2019. – № 3(15). – С. 121-131. (*Kolosok I. N., Korkina E. S.* Cybersecurity analysis of a digital substation from the standpoint of a cyber-physical system // Informatcionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. – 2019. – Vol. 3(15). – S. 121-131.)

7. Майоров А.В., Тягай Е.Д. Имплантируемые киберфизические системы: социально-гуманитарные проблемы внедрения // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С.Пушкина. – 2021. – № 1. – С. 194-204. (*Maierov A. V., Tiagai E. D. Implantable Cyber-Physical Systems: Social and Humanitarian Problems of Implementation // Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta im. A. S. Pushkina. – 2021. – Vol. 1. – S. 194-204.*)
8. Хаханов В. И., Обризан В. И. и др. Киберфизические системы как технологии киберуправления (аналитический обзор) // Радиоэлектроника и информатика. – 2014. – № 1(64). – С. 39-45. (*Khakhanov V.I., Obrizan V.I. i dr. Cyber-Physical Systems as Cyber Control Technologies (Analytical Review) // Radioelektronika i informatika. – 2014. – Vol. 1(64). – S. 39-45.*)
9. Белько В. О., Емельянов О. А., Иванов И. О. Процессы самовосстановления пленочных конденсаторов в форсированных режимах // Проблемы региональной энергетики. – 2017. – № 2(34). – С. 13-22. (*Belko V.O., Emelianov O.A., Ivanov I.O. Self-healing processes of film capacitors in forced modes // Problemy regionalnoi energetiki. – 2017. – Vol. 2(34). – S. 13-22.*)
10. Ситников Н. Н., Хабибуллина И. А., Мащенко В. И. Самовосстанавливающиеся материалы: обзор механизмов самовосстановления и их применений // Видеонаука. – 2018. – № 1(9). – С. 2-30. (*Sitnikov N.N., Khabibullina I.A., Mashchenko V.I. Self-Healing Materials: An Overview of Self-Healing Mechanisms and Their Applications // Videonauka. – 2018. – Vol. 1(9). – S. 2-30.*)
11. Ткаченко К. С. Роль физических характеристик при анализе сложных компьютерных систем // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. – 2020. – № 1(17). – С. 80-91. (*Tkachenko K.S. The role of physical characteristics in the analysis of complex computer systems // Filosofskie problemy informatsionnykh tekhnologii i kiberprostranstva. – 2020. – Vol. 1(17). – S. 80-91.*)
12. Ткаченко К. С. Аналитическое узловое моделирование для контроля откликов системы мониторинга окружающей среды под воздействием деградационных событий // Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами. – 2018. – С. 212-213. (*Tkachenko K.S. Analytical nodal modeling to control the responses of the environmental monitoring system under the influence of degradation events // Ekobiologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona i kompleksnoe upravlenie biologicheskimi resursami. – 2018. – S. 212-213.*)
13. Ткаченко К. С., Скاتков И. А. Менеджмент узла с отказами и восстановлением распределенной среды // Развитие методологии современной экономической науки и менеджмента. – 2017. – С. 606-610. (*Tkachenko K.S., Skatkov I.A. Node management with failures and recovery of a distributed environment // Razvitie metodologii sovremennoi ekonomicheskoi nauki i menedzhmenta. – 2017. – S. 606-610.*)

14. *Ткаченко К. С.* Совершенствование средств компьютерной безопасности в организациях путем проведения узловой параметрической корректировки // Вестник Прикамского социального института. – 2021. – № 2(89). – С. 87-92. (*Tkachenko K. S.* Improving computer security in organizations through nodal parametric adjustment // Vestnik Prikamskogo sotcialnogo instituta. – 2021. – Vol. 2(89). – S. 87-92.)
15. *Ткаченко К. С.* Моделирование случайных процессов для повышения надежности измерительных приборов // Альманах современной метрологии. – 2021. – № 2(26). – С. 142-147. (*Tkachenko K. S.* Simulation of random processes to improve the reliability of measuring instruments // Almanakh sovremennoi metrologii. – 2021. – Vol. 2(26). – S. 142-147.)
16. *Ткаченко К. С.* Подход для управления компьютерными узлами инфраструктуры крупных предприятий при изменениях поточных параметров // Информационное общество. – 2020. – № 4. – С. 99-104. (*Tkachenko K. S.* Approach for managing computer nodes of the infrastructure of large enterprises with changes in flow parameters // Informatcionnoe obshchestvo. – 2020. – Vol. 4. – S. 99-104.)
17. *Ткаченко К. С.* Эффективная поддержка цифровых технологий при изменениях требований на производственных предприятиях // Инфокоммуникационные технологии. – 2020. – Т. 18. № 4. – С. 484-488. (*Tkachenko K. S.* Efficient digital support for changing requirements in manufacturing plants // Infokommunikatsionnye tekhnologii. – 2020. – Vol. 18/4. – S. 484-488.)
18. *Базелиук Н. Н.* Социально-философские аспекты здоровья и здорового образа жизни человека // Logos et Praxis. – 2008. – № 2. – С. 237-239. (*Bazeliuk N. N.* Socio-philosophical aspects of health and a healthy lifestyle of a person // Logos et Praxis. – 2008. – Vol. 2. – S. 237-239.)
19. *Бокова О. А., Голубева И. В., Шереметова С. В.* Результаты изучения эффективности психологических показателей групповой арт-терапевтической работы // Мир науки, культуры, образования. – 2015. – № 3(52). – С. 258-260. (*Bokova O. A., Golubeva I. V., Sheremetova S. V.* The results of studying the effectiveness of psychological indicators of group art therapy work // Mir nauki, kultury, obrazovaniia. – 2015. – Vol. 3(52). – S. 258-260.)
20. *Болсанбек К. С.* Устойчивое развитие открытых систем: экоцентрический анализ // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 32(114). – С. 59-62. (*Bolsanbek K. S.* Open Systems Sustainability: An Ecocentric Analysis // Problemy sovremennoi nauki i obrazovaniia. – 2017. – Vol. 32(114). – S. 59-62.)
21. *Володина О. В.* Ноосферно-антропокосмическая направленность решения глобальных проблем // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – № 4-2(64). – С. 150-153. (*Volodina O. V.* Noospheric-anthropocosmic orientation of solving global problems // Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – Vol. 4-2(64). – S. 150-153.)