

УДК 00.004, 50.152

DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.693-701

## Использование понятия «типовой процесс» в системах машинного обучения и искусственного интеллекта

В. К. Сарьян<sup>1\*</sup>, А. А. Русаков<sup>2</sup>, А. П. Назаренко<sup>1</sup>, Д. В. Дубнов<sup>3</sup><sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт Радио», г. Москва, Россия

105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д. 16

\* sarian@niir.ru

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия

119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78

<sup>3</sup> Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия

123423, Россия, г. Москва, ул. Народного Ополчения, д. 32

### Аннотация

Типовые процессы являются фундаментальным инвариантом многих естественных и искусственных систем. Целью типового процесса является поддержание гомеостаза в системе. Применение концепции типового процесса и семантической аномалии в системах машинного обучения и искусственного интеллекта, в первую очередь систем реального времени, например, сейсмомониторинга, позволит избежать больших вычислений и непредсказуемых результатов, характерных для систем с глубоким обучением. При всей интуитивной очевидности понятие типового процесса и семантической аномалии (по В.К. Сарьяну) трудноформализуемо. Предлагается использование математического аппарата теории возмущений и быстро-медленных динамических систем, медленные переменные интерпретируются как семантические. Рассматривается пример задачи машинного обучения с учителем – вхождение нового объекта в систему, воспроизводящую агрегированный типовой процесс. Система – это в данном случае информационно-управленческая сеть с тремя поколениями объектов (в роли учителя выступает центральный объект сети). Агрегированный типовой процесс – это иерархия взаимосвязанных типовых процессов, воспроизводящихся с частотами, находящимися примерно в рациональном отношении. Агрегирование типовых процессов может быть задано алгебраически, например, групповой операцией. В этом случае нужно рассматривать действие группы на семантическом пространстве. Возможный инструмент моделирования изменения типового процесса под воздействием внешней среды предлагается моделировать при помощи траекторий-уток с использованием склеивающей функции для устойчивого и неустойчивого инвариантных многообразий. Для решения задач управления типовыми процессами в автоматических системах предлагается математический аппарат трубок траекторий Куржанского и схема предиктор-корректор, в данной ситуации имеющая определённый физический смысл: корректирующее воздействие осуществляется центральным объектом локальной сети. В системах искусственного интеллекта потребуется моделирование иерархий типовых процессов, что является нетривиальной математической задачей.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



**Ключевые слова:** быстро-медленная динамическая система, гомеостаз, информационно-управленческая сеть, искусственный интеллект, семантическое пространство, семантическая аномалия, схема предиктор-корректор, типовой процесс, машинное обучение, контролируемое машинное обучение, семантическая аномалия семантическое пространство, траектории-утки, трубки траекторий.

**Для цитирования:** Сарьян В. К., Русаков А. А., Назаренко А. П., Дубнов Д. В. Использование понятия «типовой процесс» в системах машинного обучения и искусственного интеллекта. // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 3. С. 693-701. DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.693-701

© Сарьян В. К., Русаков А. А., Назаренко А. П., Дубнов Д. В., 2019



## The Use of the Concept of “Typical Process” in Machine Learning and Artificial Intelligence Systems

V. K. Sarian<sup>1\*</sup>, A. A. Rusakov<sup>2</sup>, A. P. Nazarenko<sup>1</sup>, D. V. Dubnov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Federal State Unitary Enterprise Radio Research and Development Institute, Moscow, Russia  
16 Kazakova Str., Moscow 105064, Russia

\* sarian@niir.ru

<sup>2</sup> MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia  
78 Vernadsky Prospekt, Moscow 119454, Russia

<sup>3</sup> Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia  
32 Narodnogo Opolcheniya Str., Moscow 123423, Russia

### Abstract

Typical processes are a fundamental invariant of many natural and artificial systems. The purpose of a typical process is to maintain homeostasis in the system. The system is in this case an information control network (ICN) with three generations of objects (the central network object acts as a teacher). Applying the concept of Typical Process and Semantic Anomaly in machine learning and artificial intelligence systems will avoid lots of computations and unpredictable results typical for systems with Deep Learning. While admittedly obvious, the concept of a typical process is difficult to formalize. It is proposed to use the mathematical apparatus of perturbation theory and fast-slow dynamic systems, slow variables are interpreted as semantic. An example of a machine learning problem is considered – the entry of a new object into a system reproducing an aggregated typical process. A possible tool for modeling changes in the typical process under the influence of the external environment is proposed to model using trajectories-ducks. To solve the problems of control of typical processes in automatic systems, the mathematical apparatus of Kurzhanzky trajectory tubes and the predictor-corrector scheme, which in this situation has a certain physical meaning, are proposed. Artificial intelligence systems require modeling hierarchies of typical processes, which is a nontrivial mathematical problem.

**Keywords:** artificial intelligence, fast-slow dynamic system, homeostasis, information management network, semantic space, semantic anomaly, predictor-corrector scheme, typical process, machine learning, semantic anomaly, semantic space, supervised learning, trajectories-ducks, tubes of trajectories.

**For citation:** Sarian V.K., Rusakov A.A., Nazarenko A.P., Dubnov D.V. The Use of the Concept of “Typical Process” in Machine Learning and Artificial Intelligence Systems. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(3):693-701. DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.693-701



## Введение

В настоящее время в связи с развитием цифровой экономики уделяется особенно большое внимание созданию и эффективному функционированию систем машинного обучения (ML) и систем искусственного интеллекта. В данной статье авторы предлагают использовать понятие «типовой процесс» (Пт) и соответствующие ему родовые понятия «информационно-управляющая сеть» (ИУС) и «гомеостаз» в качестве эффективных инструментов для разработки и функционирования систем машинного обучения (ML) и систем искусственного интеллекта (AI). Авторы в течение длительного времени работают над проблемой применения концепции Пт при взаимодействии пространственно распределенных объектов в формирующейся глобальной конвергентной инфокоммуникационной среде, в рамках так называемых информационно-управленческих сетей, которые по сути дела являются элементами институциональной матрицы общества [1-5]. Хорошо известно, что Пт занимают до 90 % трафика даже в современных сетях. Мы исследовали значение этих процессов в решении проблем взаимодействия объектов при решении таких критических задач, как Чрезвычайная ситуация<sup>1,2,3,4</sup>[6-10]. Мы также используем это понятие для решения задач предотвращения землетрясений. В сентябре 2019 года мы вынесли на обсуждение возрастающее значение типовых процессов для объяснения некоторых параметров природных динамических процессов на V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы физико-математических наук» (СПФМН-2019), которая была организована в Орловском государственном университете имени И.С. Тургенева [11].

Впервые предложение о целесообразности использования понятий ИУС и типового процесса для создания систем машинного обучения была высказана Вильямом Сарьяном<sup>5</sup>, который к тому времени был избран в вице-председателем Оперативной группы МСЭ-Т по машинному обучению для будущих сетей, включая 5G, которая была создана 13-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т на ее собрании в Женеве 6-17 ноября 2017 года.

В данной статье мы исследуем возможность использования понятия Пт для решения конкретной и очень актуальной практической задачи для систем ML и AI - обучение типовому процессу с групповым агрегированием. Новые инфокоммуникационные технологии – IoT системы, дают природным объектам, их сообществам такие же возможности, как и сообществу людей [1, 2, 3].

## Обучение типовому процессу с групповым агрегированием.

Известно, что гомеостаз во многих естественных и искусственных сложных системах поддерживается путём регулярного воспроизведения набора взаимосвязанных Пт (в качестве примера типовых процессов в естественной системе можно назвать микроциркуляции в человеческом и животном организме, целью которых является гомеостаз в тканях [13]), так что типовые процессы являются фундаментальным инвариантом многих естественных и искусственных сложных систем. Практика показала эффективность так называемых информационно-управленческих сетей и массовых информационно-управленческих сетей (МИУС), основанных на воспроизведении типовых информационных процессов [1,2,3].

Пт в понимании авторов – это регулярно воспроизводимый процесс, имеющий определённый смысл и целью которого является поддержание гомеостаза системы [3,5].

Задача математического описания эволюции систем, воспроизводящих типовые процессы, представляется очень сложной. В.К. Сарьяном было предложено понятие семантической аномалии (СА) – структуры, определяющей параметры воспроизводимых Пт [4,5]. Математической моделью семантической аномалии может быть семантическое пространство с взвешенной евклидовой метрикой, и динамической (то есть зависящей от времени) мерой, определённые области которого соответствуют типовым процессам.

Важный случай типового процесса – это типовой процесс в инфокоммуникационной среде. Он представляет собой взаимодействие людей, человеко-машинных (ЧМ) и машинных (М2М) систем, распределенных в пространстве, с использованием персональных или общественных машинных систем и состоящих из трех компонент: технологической, транспортной и информационной. При развитии технологий и общественных отношений и при обеспечении доступа к воспроизводству этих типовых процессов все большего количества ЧМ и М2М систем, что зачастую представляется как повышение уровня жизни населения, пропорции трех составляющих в одном и том же Пт заметно меняются. В последние десятилетия указанные пропорции все более смещаются в сторону информационных технологий. Многие транспортные и технологические составляющие Пт заменяются их инфокоммуникационными аналогами.

Множество Пт, воспроизводимых в данное время в этой сложной динамической системе, составляет набор инвариантов, т.е. обладают значительной инерцией, и позволяют обеспечить определенную (допустимую) стабильность, предсказуемость, прогнозируемость существования общества.

<sup>1</sup> Sarian V. Global Processes Monitoring System with the application of the Internet of Things (IoT). APEC, Auckland, New Zealand, 2015.

<sup>2</sup> Sarian V. Improving the efficiency of the use of ICT to radically reduce losses in the event of global emergencies // Workshop on "Resilient ICT Connectivity for the Knowledge Economy, SDGs and the WSIS Goals", 20-22 September 2016, Kazakhstan, 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unescap.org/resources/improving-efficiency-use-ict-radically-reduce-losses-event-emergencies> (дата обращения: 02.08.2019).

<sup>3</sup> Бутенко В. В., Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А., Лутохин А. С. Обеспечение личной безопасности в чрезвычайных ситуациях. Инновационное предложение для мобильных телефонов // Новости МСЭ. 2012. № 3. С. 47-49. [Электронный ресурс]. URL: <https://historicaljournals.itu.int/viewer/3071/?return=1&css-name=include#page=49&viewer=picture&o=&n=0&q=> (дата обращения: 02.08.2019).

<sup>4</sup> Sarian V., Nazarenko A., Lyubushin A. Creating a hybrid monitoring, network of global processes of natural and man-made disaster of planet Earth using geotehologes of the IoT // GeO IoT World Congress [Электронный ресурс]. Brussels, Belgium, 25-26 May, 2016

<sup>5</sup> Sarian V. ITU -T 13 SG FG 5GFG-ML5G/ Using the information control networks (ICN) as a test area for searching for effective methods of machine learning in the networks of the future generation // Workshop: Machine Learning for 5G [Электронный ресурс]. Geneva, Switzerland 29 January 2018. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20180129/Documents/Sarian.pdf> (дата обращения: 02.08.2019).



Наличие таких инвариантов позволяет «сшивать» прошлое и настоящее и прогнозировать будущее. Исследование изменений или попыток изменения этих базовых инвариантов в различных ИУС позволяет анализировать и вскрывать глубинные мотивы и причины этих изменений, препятствовать им или усиливать, направляя эволюцию общества в нужном направлении.

Будем считать, что система состоит из взаимодействующих (человеко-машинных объектов): одного или нескольких центральных объектов и рядовых объектов трех поколений. В простейшем случае можно говорить об древовидной иерархической структуре, каждый этаж которой состоит из локальных информационно-управленческих сетей, состоящих из одного центрального и рядовых объектов (которые могут быть в свою очередь центрами сетей низшего уровня), воспроизводящих определённый набор Пт с заданными частотами воспроизведения.

Основные задачи, возлагаемые на центральный объект в ИУС:

- аттестовать все рядовые объекты агрегированного Пт, входящие в ИУС на предмет их статуса (это включает в себя определение принадлежности к одному из трех поколений и более детальную характеристику), а также их возможности (пригодности) участвовать в воспроизводстве одного, нескольких или всех Пт, функционирующих в данной ИУС;
- поддерживать (обеспечить достаточную степень пересечения) СА центра и агрегированного Пт;
- определять время начала воспроизводства Пт и обеспечить анализ результатов его воспроизводства и принятие решения о его прекращении за отведенное время периода Т0 Пт в случае как успешной, так и не успешной попытки;
- отслеживать все отклонения от типовых показаний индикаторов Пт и принимать решение об их незначительности и «подтягивание» результатов до типовых. Тем самым центр поддерживает порядок в системе. Если же отклонения имеют системный характер и вызваны, например, тем, что при выполнении ЧМ и М2М системами этапов и Пт использовали самостоятельно, не согласовав с центром, новые технологии или управленческие решения, или же тем, что произошли серьезные изменения параметров внешней среды, то центр может принять решение о коррекции Пт с изменением или сохранением его цели и смысла. Этот шаг требует специальных решений и согласований.

Опишем общую схему воспроизведения Пт. Объекты первого поколения – это обучающиеся объекты. Их связь с центральными элементами односторонняя: их поведение не оказывает влияния на поведение центральных элементов. В случае возникновения синхронизации объекта первого поколения с центральным элементом он может быть переведен во второе поколение. Связь объектов второго поколения с центральными элементами двухсторонняя. Их обучение продолжается, но они, в свою очередь, влияют на характеристики центральных элементов. К третьему поколению относятся те объекты, которые прежде принадлежали ко второму поколению, но не смогли в достаточной степени синхронизироваться с центральными элементами. Поведение центрального объекта не зависит от их поведения, но при этом центральный объект (в зависимости от того, как они воспроизводят типовые процессы) может принять решение либо об их исключении из сети, либо о возвращении в первое или второе поколение.

По результатам воспроизведения Пт центры сетей принимают решение об изменении предписанных частот типовых процессов или же об изменении самих типовых процессов. При необходимости структура локальных сетей перестраивается (то есть можно говорить о цепочке эволюций и перестроек).

Типовые процессы, воспроизводящиеся в ИУС, как правило, агрегированы. Агрегированный Пт, далее  $Agg(P_1, \dots, P_n)$  представляет собой иерархию взаимосвязанных типовых процессов, воспроизводящихся на частотах, находящихся примерно в рациональном отношении друг к другу.

$Agg(P_1, \dots, P_n)$  представляет собой иерархию взаимосвязанных типовых процессов  $P_1, \dots, P_n$ , воспроизводящихся на частотах, находящихся примерно в рациональном отношении друг к другу. Агрегирование типовых процессов может быть задано алгебраически, например, групповой операцией.

Рассмотрим задачу вхождения нового объекта (то есть эволюцию объекта первого поколения согласно введённой выше терминологии) в ИУС, воспроизводящей агрегированный типовой процесс. Это задача контролируемого машинного обучения (Supervised learning) [14], в роли «учителя» здесь выступает центр ИУС. Под групповым агрегированием для набора из  $n$  типовых процессов будем понимать следующее. Семантической аномалии (далее СА) поставим в соответствие пару (G,S): семантическое пространство S с действующей на нём группой G, порождённой  $n$  образующими конечного порядка (соответствующим  $P_1, \dots, P_n$ ). Пара (G,S) является динамическим объектом – действие G изменяется со временем в эволюционный период, само пространство S может изменяться при скачке. Обучение формально можно осуществлять на сходимости типового процесса, которая определяется в примерном совпадении (близости по заданной метрике) полученного смысла с точкой СА (то есть пространства S). Физически точки S означают успешные варианты воспроизведения типовых процессов в данных условиях. Обучение происходит следующим образом: центр ИУС и объекты совместно воспроизводят типовые процессы, действуя элементами G на своих семантических пространствах. Конечным результатом обучения является переход во второе поколение или исключение из ИУС.

Техническим инструментом для построения СА могут стать быстро-медленные динамические системы. Скачкообразные переходы или «срывы» означают структурные перестройки типовых процессов (например, землетрясения для типовых процессов в земной коре). «Медленные» фазовые переходы описывают эволюцию СА, служащую памятью для «быстрой» системы.

В 70-х годах Понтрягиным Л.С. было обнаружено явление затягивания потери устойчивости в быстро-медленных системах: оказалось, что в быстро-медленных системах уже с двумерной быстрой координатой после прохождения границы устойчивости траектория может находиться длительное время вблизи уже неустойчивой части медленной поверхности (проходя вдоль неё отдаленное от нуля расстояние), и лишь затем претерпевать срыв и переключаться на быстрое движение. На конкретном примере этот эффект был исследован в работе Шишковой М.А. в 1973 г. [15], проведенной под руководством Понтрягина; общий случай проанализировал Нейштадт А.И. в 1985 г. [16]. Используя концепцию типового процесса можно сказать, что объект запоминает воспроизводимый им Пт, и продолжает его воспроизводить «по инерции».



Для моделирования типового процесса с изменяющимися параметрами, в перспективе и агрегированного типового процесса, могут быть использованы траектории-утки. В 2012 г. Симонова Т.В. построила склеивающую функцию для устойчивого и неустойчивого инвариантных многообразий, иначе говоря поверхность со сменой устойчивости. При внешнем возмущении траектория решения системы уравнений в этом случае переходит с одной траектории-утки на другую, также описывающую безопасный режим [17].

В перспективе концепция агрегированного типового процесса даёт новый подход к созданию систем искусственного интеллекта (ИИ). При переходе к системам ИИ, основанных на ИУС, воспроизводящих агрегированный типовой процесс, правильные решения должны быть найдены при более широких границах изменений внешних условий, в сравнении с задачей машинного обучения (например, рассмотренной выше задачей вхождения нового объекта в ИУС). Эти решения должны быть найдены автоматически, быстро и без участия человека. Результат Симоновой Т.В. показывает, что в задаче автоматического принятия решения может быть использована быстро-медленная динамическая система с функцией склейки.

Для решения задач управления типовыми процессами в автоматических системах с типовыми процессами может быть использован стандартный аппарат трубок траекторий Куржанского А.Б. [18] и схемы предиктор-корректор (Model predictive control) [19]. На первом этапе (предиктор) происходит построение символьных формул приближённых решений как векторных функций, рассматриваемых как символьные величины. Затем вычисляется область значений этой формулы. На втором этапе (корректор) определяется гарантированная оценка глобальной ошибки приближённого решения и осуществляется корректировка. В данном случае корректировка имеет понятный физический смысл: центр ИУС оценивает качество воспроизведения типового процесса рядовым объектом и осуществляет корректирующие воздействия. Также центр корректирует собственную семантическую аномалию по результатам воспроизведения типовых процессов рядовыми объектами.

## Заключение

Цель данной статьи – обратить внимание разработчиков систем ML и AI на перспективность использования понятия «типовой процесс». На практике оно давно используется, но теория отстаёт. Интуитивно ясное понятие типового процесса нуждается в формализации, и это очень сложная задача. Её решение предполагает, в частности, развитие семантики как отдельной научной области, не только в рамках лингвистики или математической логики. Теория быстро-медленных динамических систем на нынешнем уровне её развития позволяет смоделировать простейшие системы с типовыми процессами, но не сложные многоуровневые иерархии. Траектории утки в последнее время используются в моделировании сложных систем, например, в теории горения или в популяционной динамике [22-24], но в этих моделях не было ничего подобного типовым процессам. С математической точки зрения интересным представляется также алгебраический аспект агрегирования типовых процессов. Создающаяся теория типовых процессов – интересный и практически важный междисциплинарный проект, захватывающий когнитивные науки, радиотехнику и

прикладную математику и требующий скоординированных усилий научного сообщества. Развитие этого проекта способно, по мнению авторов, существенно повысить эффективность систем машинного обучения и искусственного интеллекта, в том числе дать принципиально новые подходы к работе с большими данными (Big Data) [25], основанные на использовании семантических инструментов, связанных с концепцией типовых процессов.

## Список использованных источников

- [1] Бутенко В. В., Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А., Лутохин А. С. Проблемы, возникающие при внедрении новых технологий в инфокоммуникационном сообществе // Труды Научно-исследовательского института радио. 2011. № 1. С. 12-19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16335664> (дата обращения: 02.08.2019).
- [2] Butenko V., Nazarenko A., Sarian V., Suschenko N. Issues effecting the evaluation of beneficial effects of new technologies and way to solve these issues // 23rd European Regional Conference of International Telecommunication Society. Vienna, Austria, 1-4 July 2012, ITS, Wien, 2012. URL: <https://www.econstor.eu/handle/10419/60398> (дата обращения: 02.08.2019).
- [3] Y.2239: Requirements for Information Control Networks and related application. Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-generation Networks Next Generation Networks – Service Aspects: Service Capabilities and Service Architecture, ITU-T, 2015. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2239-201602-1/en> (дата обращения: 02.08.2019).
- [4] Сарьян В. К. Новый способ структуризации сетей передачи данных // Труды Научно-исследовательского института радио. 2001. С. 41-49.
- [5] Сарьян В. К. Модель информационного взаимодействия объектов в сетях передачи данных // Труды Научно-исследовательского института радио. 2001. С. 50-55.
- [6] Сарьян В. К., Назаренко А. П., Левашов В. К., Саломатина Е. В. Влияние развития инфокоммуникационных технологий (ИКТ) на безопасность в экономико-социальной сфере и сфере управления общественными процессами // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем. Сборник научных трудов XI Международной школы-симпозиума АМУР-2017. Изд-во ИП Корниенко А.А., 2017. С. 361-364. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32411752> (дата обращения: 02.08.2019).
- [7] Назаренко А. П., Сарьян В. К. Технология Интернета вещей – мощный катализатор функционирования единого цифрового пространства // Труды Научно-исследовательского института радио. 2016. № 4. С. 16-20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29334919> (дата обращения: 02.08.2019).
- [8] Назаренко А. П., Сарьян В. К. Использование Интернета вещей для радикального снижения риска потерь при возникновении чрезвычайных ситуаций // Технологии информационного общества. Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции. Т. 2. М.: ООО «Изд. дом Медиа публицер», 2019. С. 66-68.



- URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39228401> (дата обращения: 02.08.2019).
- [9] *Sarian V., Nazarenko A.* Draft Recommendation Y.IoT-GP-Reqts «Requirements for an IoT enabled network to support applications for global processes of the Earth» - output of Q2/20 meeting. Geneva, 25 July-5 August 2016. ITU-R, Y3777, 2016.
- [10] *Назаренко А. П., Сарьян В. К., Лутохин А.С.* Использование летающих систем интернета вещей до, во время и после катастрофической фазы ЧС // *Электросвязь*. 2015. № 7. С. 12-15. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23805308> (дата обращения: 02.08.2019).
- [11] *Сарьян В. К., Русаков А. А., Дубнов Д. В.* Типовые процессы в физике и математике // *Современные проблемы физико-математических наук. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 26-29 сентября 2019 г.* / Под ред. Т. Н. Можаровой. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2019. С. 236-238. URL: [https://phys-math.ru/\\_media/conf2019/spfmm-2019-sbornik.pdf](https://phys-math.ru/_media/conf2019/spfmm-2019-sbornik.pdf) (дата обращения: 02.08.2019).
- [12] *Сарьян В. К., Дубнов Д. В.* Помехоустойчивость типовых информационных процессов в массовых сетях передачи данных. Постановка вопроса // *Труды Научно-исследовательского института радио*. 2007. № 2. С. 86-92.
- [13] *Патофизиология: учебник: в 2 т.* / Под ред. В. В. Новицкого, Е.Д. Гольдберга, О.И. Уразовой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012.
- [14] *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М.: Мир, 1992. 240 с.
- [15] *Шишкова М. А.* Рассмотрение одной системы дифференциальных уравнений с малым параметром при высших производных // *Доклады Академии наук СССР*. 1973. Т. 209, № 3. С. 576-579. URL: <http://www.mathnet.ru/links/6e388c3b1b29e16296f39409af10a583/dan37550.pdf> (дата обращения: 02.08.2019).
- [16] *Нейштадт А. И.* Асимптотическое исследование потери устойчивости равновесия при медленном прохождении пары собственных чисел через мнимую ось. Заседания семинара имени И.Г. Петровского по дифференциальным уравнениям и математическим проблемам физики // *Успехи математических наук*. 1985. Т. 40. Вып. 5. С. 300-301.
- [17] *Симонова Т. В.* Медленные интегральные многообразия со сменой устойчивости // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия*. 2012. № 6. С. 49-57. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18248710> (дата обращения: 02.08.2019).
- [18] *Kurzhanski A. B., Vályi I.* Ellipsoidal techniques for dynamic systems: The problems of control synthesis // *Dynamics and Control*. 1991. Vol. 1, Issue 4. Pp. 357-378. DOI: 10.1007/BF02169766
- [19] *Samacho E. F., Bordons Alba C.* Model Predictive Control // *Advanced Textbooks in Control and Signal Processing*. Springer-Verlag London, 2007. 405 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-398-5
- [20] *Nikolaou M.* Model predictive controllers: A critical synthesis of theory and industrial needs // *Advances in Chemical Engineering*. 2001. Vol. 26. Pp. 131-204. DOI: 10.1016/S0065-2377(01)26003-7
- [21] *Lucia S., Finkler T., Engell S.* Multi-stage nonlinear model predictive control applied to a semi-batch polymerization reactor under uncertainty // *Journal of Process Control*. 2013. Vol. 23, Issue 9. Pp. 1306-1319. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.08.008
- [22] *Голодова Е. С., Щепакина Е. А.* Оценка затягивания потери устойчивости в дифференциальных системах с траекториями-утками // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия*. 2013. № 3(104). С. 12-24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19062477> (дата обращения: 02.08.2019).
- [23] *Соболев В. А., Щепакина Е. А.* Траектории-утки в одной задаче теории горения // *Дифференциальные уравнения*. 1996. Т. 32, № 9. С. 1175-1184. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38243989> (дата обращения: 02.08.2019).
- [24] *Трошкина Е. В.* Траектории-утки в динамической модели численности популяции вредителей леса // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия*. 2013. № 9-2(110). С. 215-220. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21288624> (дата обращения: 02.08.2019).
- [25] *Чехарин Е. Е.* Большие данные: большие проблемы // *Перспективы Науки и Образования*. 2016. № 3(21). С. 7-11. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26286829> (дата обращения: 02.08.2019).

Поступила 02.08.2019; принята к публикации 01.09.2019;  
опубликована онлайн 30.09.2019.

#### Об авторах:

**Сарьян Вильям Карпович**, научный консультант, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт Радио» (105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д. 16), академик Национальной академии наук Республики Армения, доктор технических наук, профессор Заслуженный работник связи РФ, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5980-2452>, [sarian@niir.ru](mailto:sarian@niir.ru)

**Русаков Александр Александрович**, профессор кафедры высшей математики, МИРЭА – Российский технологический университет (119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78), доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3188-0250>, [vmkafedra@yandex.ru](mailto:vmkafedra@yandex.ru)

**Назаренко Анатолий Петрович**, директор НТЦ Спутникового мониторинга и связи, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт Радио» (105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д. 16), кандидат технических наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2228-1854>, [apn@niir.ru](mailto:apn@niir.ru)

**Дубнов Дмитрий Владимирович**, доцент кафедры математического анализа, Московский технический университет связи и информатики (123423, Россия, г. Москва, ул. Народного Ополчения, д. 32), кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1198-2348>, [ddubnov@yandex.ru](mailto:ddubnov@yandex.ru)

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



## References

- [1] Butenko V.V., Nazarenko A.P., Sarian V.K., Suschenko N.A., Lutokhin A.S. Problems that arise when introducing new technologies in the infocommunication community. *Trudy NIIR*. 2011; 1:12-19. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16335664> (accessed 02.08.2019). (In Russ.)
- [2] Suggested Citation: Butenko V, Nazarenko A, Sarian V, Suschenko N. Issues affecting the evaluation of the beneficial effect of new technologies and ways to solve these issues. In: *23rd European Regional Conference of the International Telecommunication Society*, Vienna, Austria, 1-4 July 2012. ITS, Wien, 2012. Available at: <https://www.econstor.eu/handle/10419/60398> (accessed 02.08.2019). (In Eng.)
- [3] Y.2239: Requirements for Information Control Networks and related application. Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-generation Networks Next Generation Networks – Service Aspects: Service Capabilities and Service Architecture, ITU-T, 2015. Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2239-201602-I/en> (accessed 02.08.2019). (In Eng.)
- [4] Sarian V.K. A new way of structuring data transmission networks. *Trudy NIIR*. 2001; 41-49. (In Russ.)
- [5] Sarian V.K. Model of information interaction of objects in data transmission networks. *Trudy NIIR*. 2001; 50-55. (In Russ.)
- [6] Sarian V, Nazarenko A, Levashov V.K., Salomatina E.V. Influence of the development of infocommunication technologies (ICT) on security in the economic and social sphere and the sphere of public process management. In: *Analysis, modeling, management, development of socio-economic systems. Proceedings of the XI International School-Symposium AMUR-2017*, Publishing House of IP Kornienko A.A., 2017, pp. 361-364. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32411752> (accessed 02.08.2019). (In Russ.)
- [7] Nazarenko A., Sarian V. Internet of Things Technology - A Powerful Catalyst Functioning Single Digital Space. *Trudy NIIR*. 2016; 4:16-20. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29334919> (accessed 02.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [8] Nazarenko A., Sarian V. Using the Internet of Things to Radically Reduce the Risk of Losses in Emergencies. In: *Information Society Technologies. Proceedings of the XIII International Industrial Scientific and Technical Conference*. Media Publisher, Moscow, 2019, vol. 2, pp. 66-68. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39228401> (accessed 02.08.2019). (In Russ.)
- [9] Sarian V., Nazarenko A. Draft Recommendation Y.IoT-GP-Reqts "Requirements for an IoT enabled network to support applications for global processes of the Earth" - output of Q2/20 meeting. Geneva, 25 July-5 August 2016. ITU-R, Y3777, 2016. (In Eng.)
- [10] Nazarenko A.P., Sarian V.K., Lutokhin A.S. Using of Flying Internet of Things Before, During and after Critical Stage of a Disaster. *Electrosvyaz*. 2015; 7:12-15. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23805308> (accessed 02.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [11] Sarian V.K., Rusakov A.A., Dubnov D.V. Typical processes in physics and mathematics. In: Mozharova T.N. (ed). *Proceedings of the V Scientific-practical Conference with International Participation "Modern problems of physical and mathematical sciences" (SPFMN- 2019)*. Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol, 2019, pp. 236-238. Available at: [https://phys-math.ru/\\_media/conf2019/spfmn-2019-sbornik.pdf](https://phys-math.ru/_media/conf2019/spfmn-2019-sbornik.pdf) (accessed 02.08.2019). (In Russ.)
- [12] Sarian V.K., Dubnov D.V. Interference immunity of typical information processes in mass data networks. Statement of a question. *Trudy NIIR*. 2007; 2:86-92. (In Russ.)
- [13] Novickij V.V., Gol'dberg E.D., Urazova O.I. *Patofiziologiya* [Pathophysiology]. 4 ed., GEOTAR- Media, Moscow, 2012. (In Russ.)
- [14] Wassermen F.D. *Neural Computing: Theory and Practice*. Coriolis Group, First Edition, 1989. (In Eng.)
- [15] Shishkova M.A. Examination of a system of differential equations with a small parameter in the highest derivatives. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1973; 209(3):576-579. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/6e388c3b1b29e16296f39409af10a583/dan37550.pdf> (accessed 02.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [16] Neystadt A.I. Asymptotic study of the loss of stability of equilibrium during the slow passage of a pair of eigenvalues through the imaginary axis. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk* = Russian Mathematical Surveys. 1985; 40(5):300-301. (In Russ.)
- [17] Simonova T.V. Slow Integral Manifolds with a Change of Stability. *Vestnik of Samara University. Natural Science Series*. 2012; 6:49-57. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18248710> (accessed 02.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [18] Kurzhanski A. B., Vályi I. Ellipsoidal techniques for dynamic systems: The problems of control synthesis. *Dynamics and Control*. 1991; 1(4):357-378. (In Eng.) DOI: 10.1007/BF02169766
- [19] Camacho E.F., Bordons Alba C. Model Predictive Control. *Advanced Textbooks in Control and Signal Processing*. Springer-Verlag London, 2007, 405 pp. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-0-85729-398-5
- [20] Nikolaou M. Model predictive controllers: A critical synthesis of theory and industrial needs. *Advances in Chemical Engineering*. 2000; 26:131-204. (In Eng.) DOI: 10.1016/S0065-2377(01)26003-7
- [21] Lucia S., Finkler T., Engell S. Multi-stage nonlinear model predictive control applied to a semi-batch polymerization reactor under uncertainty. *Journal of Process Control*. 2013; 23(9):1306-1319. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.08.008
- [22] Golodova E.S., Shchepakina E.A. Estimation of Delayed Loss of Stability in Differential Equations with Canards. *Vestnik of Samara University. Natural Science Series*. 2013; 3(104):12-24. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19062477> (accessed 02.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [23] Sobolev V.A., Shchepakina E.A. Duck trajectories in a problem of combustion theory. *Differential Equations*. 1996; 32(9):1177-1186. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13231308> (In Eng.)
- [24] Troshkina E.V. Canard Curves in the Dynamic Model of Forest Insect Pests. *Vestnik of Samara University. Natural Science Series*. 2013; 9-2(110):215-220. Available at: <https://>





- elibrary.ru/item.asp?id=21288624 (accessed 02.08.2019).  
(In Russ., abstract in Eng.)
- [25] Chekharin E.E. Big Data: Big Problems. *Perspectives of Science and Education*. 2016; 3(21):7-11. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26286829> (accessed 02.08.2019).  
(In Russ., abstract in Eng.)

*Submitted 02.08.2019; revised 01.09.2019;  
published online 30.09.2019.*

#### About the authors:

**Villiam K. Sarian**, Scientific Consultant, Federal State Unitary Enterprise Radio Research and Development Institute (16 Kazakova Str., Moscow 105064, Russia), Academician of the Armenian National Academy of Sciences, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Merited Worker of Communications of the Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5980-2452>, [sarian@niir.ru](mailto:sarian@niir.ru)

**Alexander A. Rusakov**, Professor of the Department of Higher Mathematics, MIREA - Russian Technological University (78 Vernadsky Prospekt, Moscow 119454, Russia), Dr.Sci. (Pedagogy), Ph.D. (Phys.-Math.), Professor, Honorary Worker of Higher Education of the Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3188-0250>, [vmkafedra@yandex.ru](mailto:vmkafedra@yandex.ru)

**Anatoly P. Nazarenko**, Director of STC Satellite Monitoring and Communication, Federal State Unitary Enterprise Radio Research and Development Institute (16 Kazakova Str., Moscow 105064, Russia), Ph.D. (Engineering), Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2228-1854>, [apn@niir.ru](mailto:apn@niir.ru)

**Dmitry V. Dubnov**, Associate Professor of the Department of Mathematical Analysis, Moscow Technical University of Communications and Informatics (32 Narodnogo Opolcheniya Str., Moscow 123423, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1198-2348>, [ddubnov@yandex.ru](mailto:ddubnov@yandex.ru)

*All authors have read and approved the final manuscript.*

