

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭВОЛЮЦИИ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цветков Виктор Яковлевич,

*д-р техн. наук, профессор, заместитель руководителя Центра стратегического анализа и развития,
e-mail: cvj2@mail.ru,*

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации
и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), г. Москва,*

Козлов Александр Вячеславович,

*заместитель директора Физико-технологического института РТУ МИРЭА по общим вопросам,
e-mail: av-kozlov@mail.ru,*

Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва

В статье рассматривается научная проблема моделирования процессов сложных организационно-технических систем, которые не описываются простыми математическими моделями. Исследуется применение модельных организмов, используемых для изучения свойств и явлений живой природы, их трансформация в область моделирования процессов сложных организационно-технических систем. Рассматриваются свойства сложных организационно-технических систем, представляющих иерархическую структуру разной топологии. Иерархические системы широко применяются в управлении и обработке информации. Основная концепция статьи состоит в том, что сложные организационно-технические системы рекомендуется моделировать аналогами из области живых систем. Определяется эквивалентность и сходство живых и технических систем. Определяются направления исследования в области эволюции организационно-технических систем. В статье рассмотрена теория развития сложных систем по теории Лумана. Проанализирована его концепция аутопойесиса. Показано, что при возрастании внешней и внутренней сложности происходит эволюция иерархических систем в субсидиарные системы, в которых заложен элемент саморазвития.

Ключевые слова: системный анализ, живые системы, сложные системы, цикл гомеостаза, алгоритм развития, иерархические системы, субсидиарные системы, кибернетика

USE OF MODELS OF LIVING ORGANISMS FOR ANALYSIS OF EVOLUTION OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Tsvetkov V.Ya.,

*doctor of technical sciences, professor, Center for strategic analysis and development, the deputy head,
e-mail: cvj2@mail.ru,*

*Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport,
Moscow,*

Kozlov A.V.,

*deputy director of the Physico-Technological Institute of RTU MIREA on general issues,
e-mail: av-kozlov@mail.ru,*

Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow

The article deals with the scientific problem of modeling the processes of complex organizational and technical systems that are not described by simple mathematical models. The application of model organisms used for studying the properties and phenomena of living nature, their transformation into the field of modeling the

processes of complex organizational and technical systems is studied. The properties of complex organizational and technical systems that represent a hierarchical structure of different topologies are considered. Hierarchical systems are widely used in information management and processing. The main concept of the article is that it is recommended to model complex organizational and technical systems using analogs from the field of living systems. The equivalence and similarity of living and technical systems is determined. The directions of research in the field of evolution of organizational and technical systems are determined. The article considers the theory of development of complex systems based on the Luman theory. His concept of autopoiesis is analyzed. It is shown that with increasing external and internal complexity, hierarchical systems evolve into subsidiary systems that contain an element of self-development.

Keywords: system analysis, living systems, complex systems, homeostasis cycle, development algorithm, hierarchical systems, subsidiary systems, cybernetics

DOI 10.21777/2500-2112-2019-4-68-76

Введение

Сложными организационно-техническими системами [10] называют системы интегрирующие: организационные системы, технологические системы, сложные технические системы, информационные системы. Для исследования и управления такими системами необходим комплексный и междисциплинарный подход. Характерным для современных научных исследований является трансдисциплинарность [16] – проведение исследований на стыке разных наук. Точки стыка наук выполняют функции аттракторов [3] и способствуют развитию. При этом важнейшую роль в таком развитии играет моделирование. Характерными примерами являются моделирование в генетике, биологии, медицине, эволюции живых существ, а также моделирование процессов в организме и другие. На стыке информатики и биологии появилась новая наука – биоинформатика. Идея математического описания процессов в организме зародилась давно. Еще Леонард Эйлер пытался сформировать математическую модель циркуляции крови. Естественно, такие модели исследовались в кибернетике [2]. Алан Тьюринг, разработавший основы информатики и темпоральной логики, исследовал химические основы морфогенеза. Идеи, выдвинутые Тьюрингом, развил И.Р. Пригожин [11]. Это характеризует направление переноса методов физики и математики в исследование живых организмов. Существует противоположное направление переноса моделей живой природы в область технических средств и моделирования сложных систем [12; 14]. Важное место в теории систем занимает теория коллективного поведения, которая трансформируется в теорию мультиагентных систем. Другим примером переноса идей живых систем в область социальных систем, а затем в область организационных систем является теория социальных систем, введенная немецким социологом Никласом Луманом (Niklas Luhmann). Она основана на трех концепциях, связанных воедино в его работе [13]. Эти три концепции следующие: теория систем как теория общества; теория связи; теория эволюции. Эти идеи развиты в его последующих работах [8; 19]. Основные категории, которые лежат в основе теории систем Лумана, следующие: комплексность, редукция, рефлексия, аутопойесис, функциональная дифференциация. Указанные категории применимы в области сложных организационно-технических систем [1]. Основной идеей саморазвития является аутопойесис [18]. Луман выделяет аутопойесис как важнейшую категорию системной парадигмы. Этот термин Луман заимствовал у нейробиологов, полагая, что сложная система подобна биологическим системам и способна создавать и воссоздавать все имеющиеся части из себя. В современном синергетическом понимании это свойство называют самоорганизацией и саморазвитием. Аутопойесис является механизмом, соединяющим все принципы развития социальных систем и обеспечивающим функционирование и жизнедеятельность системы. Различение целого и части в теории Лумана трансформировано на различение системы и окружающей среды. Это является новым по отношению к классической теории сложных систем, поскольку сложные системы часто трактуются как замкнутые системы. В целом теория Лумана находится между классической теорией систем и теорией динамических систем.

Данная статья посвящена развитию идей Лумана и трансформации моделей живых организмов в область сложных организационно-технических систем для описания их поведения и эволюции. В

качестве методов исследования используются эволюционный анализ, системный анализ, качественный анализ.

1. Эквивалентность и сходство живых и технических систем

Существует понятие «модельные организмы». Модельными организмами называют такие организмы, которые используют для изучения свойств и явлений живой природы. Использование модельных организмов основано на принципе системности мира, который говорит о том, что мир представляет собой совокупность вложенных и подобных систем. Следует отметить модельные организмы, геном которых был полностью секвенирован. Следует напомнить, что секвенция в математической логике есть операция выводимости. Это подтверждает положительный опыт использования логических и системных методов для анализа живых организмов.

Джеймс Гир Миллер в 1978 году построил общую теорию живых систем (LST) [15]. Через десять лет он выделил восемь «вложенных» иерархических уровней в таких сложных структурах. Вложенность уровней предполагает, что каждый более высокий уровень содержит следующий нижний уровень вложенным образом. Вложенность частей системы и иерархия частей системы не всегда совпадают и в принципе являются разными понятиями. Но в простой модели Миллера вложенность и иерархия совпадают. Хотя новизны в такой модели нет, поскольку системность мира предполагает вложенность систем одной в другую по модели «матрешка».

Эволюцию развития сложных систем и систем управления следует рассматривать в информационном поле [5; 21], а не изолированно. В этом случае их можно анализировать с позиций эволюции живых существ. Развитие живых, сложных технических и организационных систем можно рассматривать как комплементарность внутренних действий и устранение противоречий с внешней средой [6] во внешнем поле. По мере роста систем и их внутренней сложности возрастает противоречие между необходимостью оперативного принятия решений и ростом времени на анализ управленческих действий, включая прямые и обратные информационные потоки.

Оперативное принятие решений в живых системах связано с циклом гомеостаза – саморегуляцией постоянства внутренней среды. «Цикл гомеостаза» – понятие, которое в теории живых систем в явном виде не используют, но де-факто применяют. Существует близкое понятие – механизмы регуляции клеточного цикла как пример поддержания гомеостаза. Выделим два из многих свойств гомеостатических систем: нестабильность системы и стремление к равновесию:

Нестабильность в теории гомеостаза рассматривается как внутренний анализ (процесс) системы, определяющий, каким образом ей лучше приспособиться к воздействиям или тенденциям внешней среды. Стремление к равновесию рассматривается как процесс внутренней структурной и функциональной организации системы, направленной на сохранение баланса. Эти процессы ограничены во времени и являются откликом или реакцией на воздействия внешней среды. Поэтому вполне закономерно говорить о цикле функционирования для этих процессов.

Используем понятие «цикл гомеостаза» как ограниченное суммарное время для периодической функциональной организации системы и реакции на воздействие внешней среды. Понятие «цикл гомеостаза» распространяется на живые и сложные организационно-технические системы. Процессы гомеостаза не являются случайными. Поэтому как характеристику этих процессов введем понятие «алгоритм развития сложной системы» по аналогии с понятием «алгоритм развития», которое Н. Моисеев ввел для социальных систем [9].

2. Топологические структуры систем

Иерархические системы управления возникли как одно из направлений среди классических школ управления и достаточно долго зарекомендовали себя как надежные системы управления. В организационных системах и технических системах используют в основном две модели: модель дерева (сверху вниз) (рисунок 1а) и Е-дерево (слева направо) (рисунок 1б).

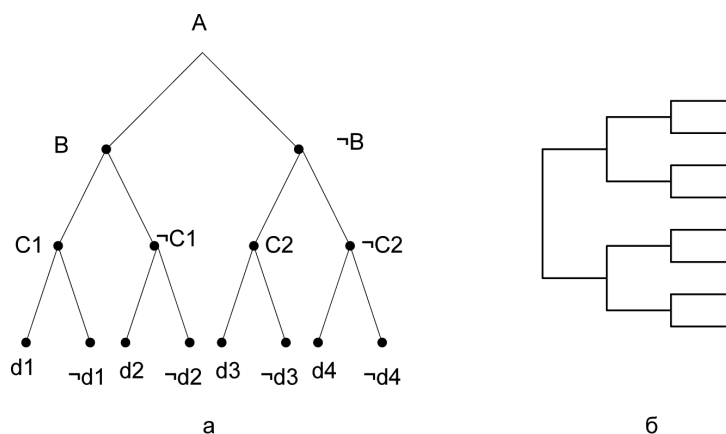


Рисунок 1 – Семантическое дерево и E-дерево

На рисунке 1а в качестве примера приведено бинарное семантическое дерево. Такое построение моделей обусловлено тем, что иерархические модели, как правило, изолированы от внешней среды. Если посмотреть на живые системы, то простейшим аналогом иерархической системы является морская звезда и некоторые простейшие. На рисунке 2 приведена морская звезда (рисунок 2а) и ее модельный иерархический аналог (рисунок 2б). Различие в построении моделей на рисунках 1 и 2 состоит в том, что модели на рисунке 1 стоят изолированно от среды, а модели на рисунке 2 ориентированы на среду. Второе различие состоит в том, что понятие среды в технических науках и теории живых систем трактуется по-разному. В технических науках и, в первую очередь, в теории передачи информации среда трактуется как деструктивный фактор, который создает помехи или выводит систему из состояния равновесия.

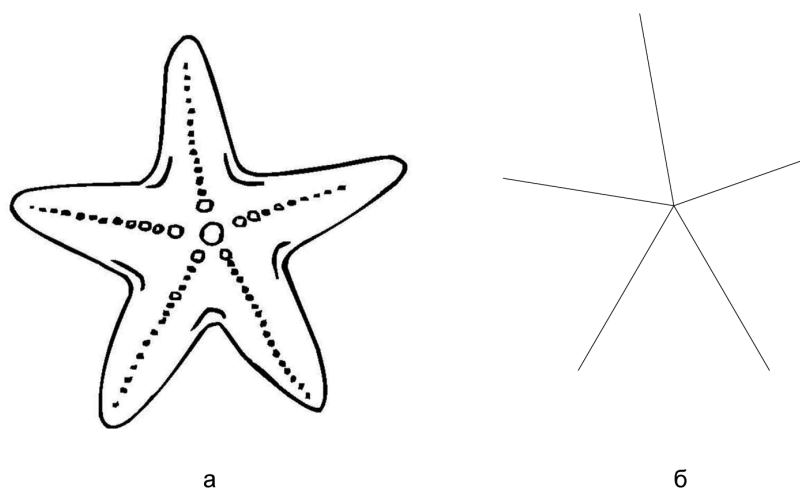


Рисунок 2 – Морская звезда и ее иерархический пространственный аналог

В теории живых систем среда трактуется как деструктивный и конструктивный фактор, который служит основой развития системы и поддержки ее жизнедеятельности. Введение понятия информационного поля [5; 21] в теорию моделирования позволяет создать модель среды, которая не только мешает, но и поддерживает информационную систему.

3. Эволюция иерархической системы

Для сложных систем и их эволюции можно применять теоретико-множественное и топологическое описание. На рисунке 3 приведена теоретико-множественная модель трех информационных ситуаций развития иерархической системы.

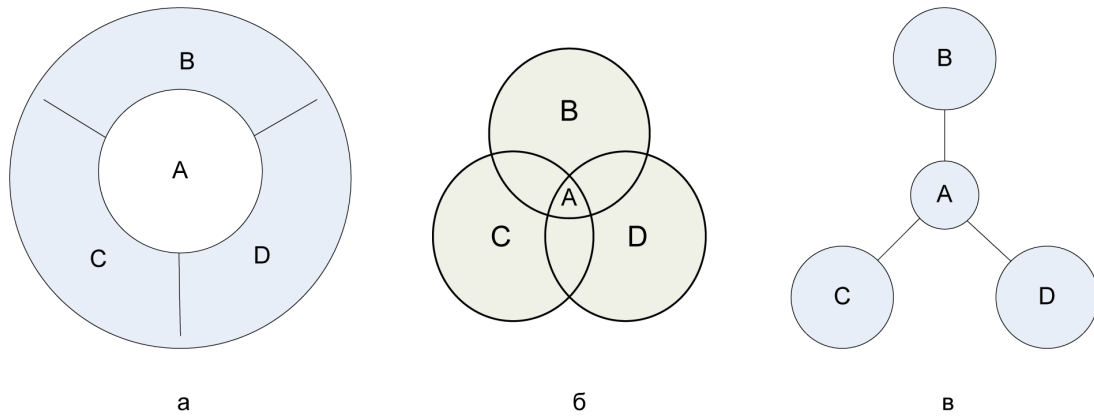


Рисунок 3 – Три ситуации эволюции иерархической системы

На рисунке 3а изображена исходная ситуация существования иерархической системы. Центральное множество A обозначает ядро, головное предприятие или главную часть сложной системы, B, C, D – подсистемы или подразделения предприятия. Состояние такой системы определится теоретико-множественными отношениями:

$$A \approx B \cup C \cup D \tag{1}$$

$$(A \cap B) \cup (A \cap C) \cup (A \cap D) \approx A \tag{2}$$

Выражение (1) интерпретирует информационную ситуацию (рисунок 3а), при которой подсистемы (подразделения) сосредоточены на главном предприятия (ядре сложной системы) и тесно связаны с ним. Выражение (2) означает, что самостоятельная деятельность подсистем незначительна. В процессе эволюции системы имеют тенденцию расширения. Это, в первую очередь, выражается в развитии подсистем. На начальной стадии развития имеет место незначительная территориальная децентрализация подсистем при сохранении управленческой структуры. На рисунке 3б показан пример децентрализации исходной системы. В сравнении информационной ситуации на рисунке 3а с информационной ситуацией на рисунке 3б показаны увеличения масштабов независимой деятельности подсистем пропорционально площадям фигур и децентрализация как смещение подсистем от ядра системы. Структура управления на второй информационной ситуации формально не изменится по сравнению с первой, но теоретико-множественные условия, описывающие вторую информационную ситуацию (рисунок 3б), изменятся:

$$A < B \cup C \cup D \tag{3}$$

$$A \cap B \ll B; A \cap C \ll C; A \cap D \ll D \tag{4}$$

Выражение (3) означает, что деятельность подсистем в новой информационной ситуации на рисунке 3б существенно превосходит деятельность головной системы. Выражение (4) интерпретируется так, что в ситуации на рисунке 3б совместная деятельность подсистем и головной системы невелика в сравнении с самостоятельной деятельностью подсистем.

Дальнейшая эволюция системы (рисунок 3в) приводит к выделению подсистем в новые системы, но зависимые от головной системы. Эта информационная ситуация показана на рисунке 3в. Информационные ситуации на рисунке 3 имеют разное смысловое содержание: рисунок 3а характеризует ситуацию иерархической модели развития системы; рисунок 3б характеризует ситуацию модели распределенной системы (но не сети); рисунок 3в характеризует ситуацию модели субсидиарной системы [4; 13]. Теоретико-множественные условия для информационной ситуации, приведенной на рисунке 3в, имеют вид:

$$A < B \cup C \cup D \tag{5}$$

$$(A \cap B) = (A \cap C) = (A \cap D) = \emptyset \quad (6)$$

Выражение (5) означает, что деятельность подсистем существенно превосходит деятельность ядра системы. Выражение (6) означает, что совместная деятельность подсистем и ядра системы практически отсутствует (символ \emptyset означает пустое множество).

Выражения (1), (2) характеризуют эффективное применение иерархической системы. Выражения (3), (4) характеризуют распределенные системы. Эффективность иерархического управления в этом случае низкая. Выражения (5), (6) характеризуют условия применения субсидиарной системы.

Можно построить топологические модели для ситуаций на рисунке 3. На рисунке 4 приведена топологическая схема иерархической структуры управления, соответствующая информационной ситуации на рисунке 3а.

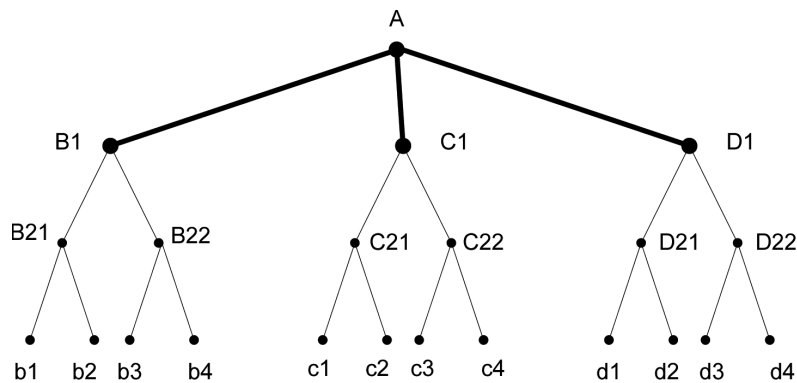


Рисунок 4 – Топологическая модель иерархической системы

Полужирным выделена повышенная интенсивность информационных и управленческих потоков. Такая схема обусловлена тем, что потоки в иерархической системе I суммируются по мере приближения к вершине. Операционный уровень обозначен маленькими буквами. Например, для ветки А-В1 имеет место следующее суммирование потоков:

$$I_{AB1} = I_{B1B21} + I_{B21b1} + I_{B21b2} + I_{B1B22} + I_{B22b3} + I_{B22b4} \quad (7)$$

В выражении (7) индексы обозначают соответствующую дугу на схеме на рисунке 4. Выражение (7) характеризует потоки для дуги А-В1. В вершину А идут также потоки по дугам А-С1 и А-Д1. Это определяет основной недостаток иерархической системы – возрастание нагрузки на головную систему при увеличении числа элементов системы на любом уровне. На рисунке 5 приведена топологическая схема структуры управления, соответствующая информационной ситуации на рисунке 3в. Формально схемы на рисунках 4 и 5 совпадают, но функционально они разные.

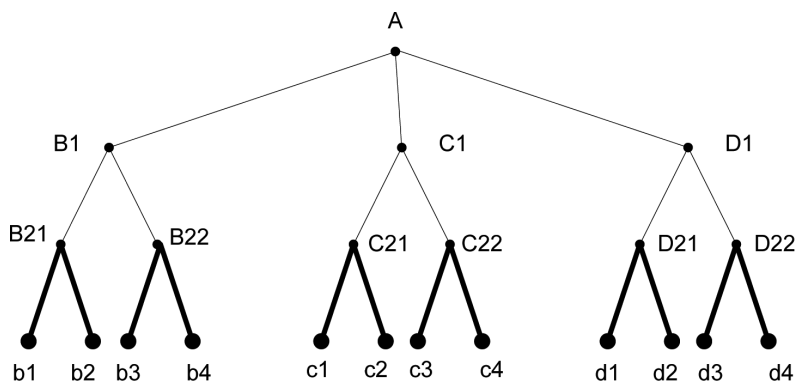


Рисунок 5 – Топологическая модель субсидиарной системы

Полужирными линиями на рисунке 5 выделена повышенная интенсивность информационных и управленческих потоков. Такая схема обусловлена тем, что информационные и управленческие потоки в субсидиарной системе функционируют на нижнем уровне [22]. Верхние уровни задают стратегию и получают информацию. Управление и действия осуществляются на нижних уровнях. Для ветки А-И1 существуют два потока:

$$I_1 = I_{B21b1} + I_{B21b2},$$

$$I_2 = I_{B22b3} + I_{B22b4}.$$

«Цикл гомеостаза» как ограниченное суммарное время (T_r) для периодической функциональной организации системы и реакции на воздействие внешней среды пропорционален времени информационных потоков. Для иерархической системы ($T_{ги}$) типа на рисунке 4 он пропорционален

$$T_{ги} \approx N K_n (I_{AB1}),$$

где N – число главных ветвей, K_n – коэффициент связи.

Для субсидиарной системы типа (рисунок 5) цикл гомеостаза ($T_{гс}$) пропорционален

$$T_{гс} \approx K_c I_1,$$

где K_c – коэффициент между интенсивностью потока и временем реакции системы. На практике $I_1 \ll I_{AB1}$ или $I_{AB1} = Q I_1$, $Q \gg 1$.

В итоге:

$$T_{ги} \approx N Q T_{гс}.$$

То есть время реакции субсидиарной системы на порядки быстрее времени реакции иерархической системы. Это объясняет делимость в эволюции живых систем как необходимость уменьшения времени нестабильности и самой нестабильности в гомеостазе, а также необходимость уменьшения времени стремления к равновесию.

Обсуждение

Субсидиарность и субсидиарные системы являются естественной эволюцией в живых и социальных системах и откликом на воздействие внешней среды. В них заложен элемент саморазвития. В тоталитарных, авторитарных государствах и в сложных технических системах элементы саморазвития, как правило, не закладываются. Поэтому для саморазвития и устойчивости таких систем в них необходимо планировать субсидиарные схемы для сложных ситуаций.

Идеи субсидиарности связывают с воззрениями греческих философов Платона и Аристотеля. Они служили основой средневекового городского права. В католическом учении концепция субсидиарности была зафиксирована после опубликования работы “*Regum Novarum*” (1891) [17] папой римским Львом XIII. После этого принцип субсидиарности является частью официальной доктрины католической церкви. Принцип субсидиарности включен в Права Европейского союза как механизм сдерживания централизации [20]. В область данного принципа субсидиарности попадает теория государства и права, военные действия, распределенный менеджмент, кибернетика, технологии, интернет вещей. Особенно часто субсидиарность используется во время боевых действий.

Применение субсидиарных систем управления эффективно не в любых ситуациях, а только при определенных условиях. Первое условие состоит в заметном снижении эффективности иерархических систем. Второе условие обусловлено ростом сложности системы и сложности взаимодействия с внешней средой, а также необходимостью сокращения цикла гомеостаза. Субсидиарные системы неэффективны в простых ситуациях [7].

Заключение

Цель применения модельных организмов в сложных организационно-технических системах – моделирование процессов, которые не описываются простыми математическими моделями. Сложность и масштабность организационных и технических систем ведет к возрастанию задач второго рода [23], которые нельзя решить алгоритмически. Эти задачи можно решить методом аналогий со сложными

живыми системами, что, например, успешно подтверждается применением искусственных нейронных сетей при решении сложных задач. При этом само понятие алгоритма как устойчивой схемы исчезает, поскольку искусственная нейронная сеть одну и ту же задачу решает разными алгоритмами. В связи с проведенными исследованиями можно ввести новую характеристику сложности для сложных технических, сложных технологических и сложных организационно-технических систем. Характеристикой сложности системы является невозможность ее описания простыми моделями и необходимость ее описания аналогами из теории живых систем.

Список литературы

1. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Аутопойезис сложной организационно-технической системы // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2018. – № 2 (122). – С. 5–11.
2. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. – М.: Наука, 1983. – 344 с.
3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. – 1992. – Т. 11, № 192. – С. 25–32.
4. Козлов А.В. Принципы субсидиарности // Славянский форум. – 2018. – № 2 (20). – С. 28–35.
5. Кудж С.А. Информационное поле: монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 97 с.
6. Липов В.В. Институциональная комплементарность как фактор формирования социально-экономических систем // Journal of Institutional Studies. – 2012. – Т. 4, № 1. – С. 25–42.
7. Логинова А.С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 165–169.
8. Луман Н. Введение в системную теорию. – М.: Логос, 2007. – 360 с.
9. Моисеев Н. Алгоритмы развития. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
10. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект / А.Н. Тихонов, А.Д. Иванников, И.В. Соловьёв, В.Я. Цветков. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 228 с.
11. Пригожин И., Николис Ж. Биологический порядок, структура и неустойчивости // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 109, № 3. – С. 517–544.
12. Цветков В.Я. Теория систем: монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88 с.
13. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. – 2012. – № 6. – С. 40–43.
14. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. – Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. – 498 p.
15. James Grier Miller. Living systems. – New York: McGraw-Hill, 1978.
16. Klein J.T. et al. (ed.). Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology, and society: An effective way for managing complexity. – Birkhäuser, 2012.
17. Leo X. Rerum Novarum. 1891 // Catholic Social Thought: The Documentary Heritage. – 1931.
18. Luhmann N. The autopoiesis of social systems // Sociocybernetic paradoxes. – 1986. – Т. 6, No. 2. – P. 172–192.
19. Niklas Luhmann. Systemtheorie, Evolutionstheorie und Kommunikations theorie // Soziologische Gids. – 1975. – Vol. 22, No. 3. – P. 154–168.
20. Shaw D., Nadin V., Seaton K. The application of subsidiarity in the makng of European environmental law // European Environment. – 2000. – Vol. 10, No. 2. – P. 85–95.
21. Tsvetkov V.Ya. Information field // Life Science Journal. – 2014. – Vol. 11, No. 5. – P. 551–554.
22. Tsvetkov V.Ya. Subsidiarity management // European Journal of Economic Studies. – 2018. – Vol. 7, No. 1. – P. 42–47. – DOI: 10.13187/es.2018.7.42.
23. Tsvetkov V.Ya. Incremental Solution of the Second Kind Problem on the Example of Living System, Biosciences biotechnology research Asia. – 2014. – Vol. 11 (Spl. Edn.). – P. 177–180.

References

1. Buravcev A.V., Cvetkov V.Ya. Autopojezis slozhnoj organizacionno-tekhnicheskoj sistemy // Distancionnoe i virtual'noe obuchenie. – 2018. – № 2 (122). – S. 5–11.
2. Viner N. Kibernetika, ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine. – M.: Nauka, 1983. – 344 s.

3. *Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P.* Sinergetika kak novoe mirovidenie: dialog s I. Prigozhinym // *Voprosy filosofii*. – 1992. – Т. 11, № 192. – С. 25–32.
4. *Kozlov A.V.* Principy subsidiarnosti // *Slavyanskij forum*. – 2018. – № 2 (20). – С. 28–35.
5. *Kudzh S.A.* Informacionnoe pole: monografiya. – М.: МАКС Press, 2017. – 97 с.
6. *Lipov V.V.* Institucional'naya komplementarnost' kak faktor formirovaniya social'no-ekonomicheskikh sistem // *Journal of Institutional Studies*. – 2012. – Т. 4, № 1. – С. 25–42.
7. *Loginova A.S.* Metody subsidiarnogo upravleniya // *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. – 2015. – № 3. – С. 165–169.
8. *Luman N.* Vvedenie v sistemnyuyu teoriyu. – М.: Logos, 2007. – 360 с.
9. *Moiseev N.* Algoritmy razvitiya. – М.: Nauka, 1987. – 304 с.
10. *Osnovy upravleniya slozhnoj organizacionno-tekhnicheskoj sistemoj. Informacionnyj aspekt / A.N. Tihonov, A.D. Ivannikov, I.V. Solov'yov, V.Ya. Cvetkov.* – М.: МАКС Press, 2010. – 228 с.
11. *Prigozhin I., Nkolis Zh.* Biologicheskij poryadok, struktura i neustojchivosti // *Uspekhi fizicheskikh nauk*. – 1973. – Т. 109, № 3. – С. 517–544.
12. *Cvetkov V.Ya.* Teoriya sistem: monografiya. – М.: МАКС Press, 2018. – 88 с.
13. *Cvetkov V.Ya.* Primenenie principa subsidiarnosti v informacionnoj ekonomike // *Finansovyj biznes*. – 2012. – № 6. – С. 40–43.
14. *Hiroki Sayama.* Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. – Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. – 498 p.
15. *James Grier Miller.* Living systems. – New York: McGraw-Hill, 1978.
16. *Klein J.T. et al. (ed.).* Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology, and society: An effective way for managing complexity. – Birkhäuser, 2012.
17. *Leo X.* Rerum Novarum. 1891 // *Catholic Social Thought: The Documentary Heritage*. – 1931.
18. *Luhmann N.* The autopoiesis of social systems // *Sociocybernetic paradoxes*. – 1986. – Т. 6, No. 2. – P. 172–192.
19. *Niklas Luhmann.* Systemtheorie, Evolutionstheorie und Kommunikations theorie // *Soziologische Gids*. – 1975. – Vol. 22, No. 3. – P. 154–168.
20. *Shaw D., Nadin V., Seaton K.* The application of subsidiarity in the makng of European environmental law // *European Environment*. – 2000. – Vol. 10, No. 2. – P. 85–95.
21. *Tsvetkov V.Ya.* Information field // *Life Science Journal*. – 2014. – Vol. 11, No. 5. – P. 551–554.
22. *Tsvetkov V.Ya.* Subsidiarity management // *European Journal of Economic Studies*. – 2018. – Vol. 7, No. 1. – P. 42–47. – DOI: 10.13187/es.2018.7.42.
23. *Tsvetkov V.Ya.* Incremental Solution of the Second Kind Problem on the Example of Living System, Biosciences biotechnology research Asia. – 2014. – Vol. 11 (Spl. Edn.). – P. 177–180.