

При использовании материалов статьи необходимо использовать данную ссылку:

Бурый А.С., Шевкунов М.А. Суррогатное моделирование распределенных информационных систем по большим данным // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2019. № 5 (51). С. 43-50.

УДК: 519.876.5

СУРРОГАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО БОЛЬШИМ ДАННЫМ

Бурый А.С., Шевкунов М.А.

Рассматривается концептуальный подход к организации моделирования распределенных информационно-управляющих систем на основе суррогатного моделирования, нацеленного на выявление новых данных путем интеллектуального анализа Больших данных. Показано место суррогатных моделей в комплексированном направлении структурного анализа систем на основе классических методов исследования. В постановочном плане приведена модель распределенной информационной системы при ранжировании целевого признака на примере структурной сложности.

Подход может быть использован на этапе разработки и проектирования распределенных систем переработки информации, в том числе и сетевой структуры с учетом выбора концептуальных признаков.

Ключевые слова: суррогатные модели, имитационное моделирование, большие данные, распределенные и сетевые структуры.

ВВЕДЕНИЕ

Распределенные информационно-управляющие системы (РИУС), несмотря на почти полувековую историю применения, остаются актуальными и постоянно совершенствуются в современном информационном пространстве [1]. Если в 70-е годы это направление затрагивало задачи управления сложными процессами производства, космическую и авиационную технику, то сегодня уже трудно назвать технико-экономическую область, где не применяются еще информационные комплексы различного назначения. Распределенность информационной системы позволяет пользователям «не чувствовать» свою удаленность от баз данных, обеспечивая им доступ к информации (корпоративной, справочной, технологической), что позволяет решать большой круг аналитических задач. Примером РИУС выступают сетевые структуры различных топологий и масштабов [2, 3].

Развитие направления Больших данных (Big Data), когда из имеющегося набора разнотипных измерительных данных, кроме статистических отчетов, диагностических и прогнозных оценок,

получают новые знания, за счет стремительно развивающегося в последнее десятилетие направления интеллектуального анализа данных. Доминантами Больших данных (БД) выступают: цифровизация современного общества [4]; облачные технологии; развитие социальных сетей; активизация Интернета вещей (IoT); расширение знаний науки о данных. Новый импульс данному направлению придает принятая Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. (Указ Президента РФ от 10.10. 2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»).

Имитационное моделирование предоставляет возможность апробации новых и существующих методов при исследовании сложных распределенных информационных систем, создавая модели описания процессов функционирования, сценарии поведения, достаточно точно воспроизводящие реальную обстановку [5], позволяя получать комплексные оценки моделируемых систем [6].

Бурый Алексей Сергеевич, доктор технических наук, директор департамента, ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». SPIN-код: 4050-2824, AuthorID: 636378
г. Москва,
Шевкунов Михаил Анатольевич, соискатель, ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», г. Москва

Развитие БД открывает новый этап применения имитационного моделирования, связанный с возможностями методов интеллектуального анализа данных в многочисленных практических задачах [7, 8, 9], получивших название суррогатного моделирования, которые предполагают этап «обучения» по заданному сегменту входных данных, а затем применяются для других сегментов, сокращая тем самым общее время получения оценок (результатов эксперимента). Для предварительного агрегирования объемов данных, могут, например, применяться регрессионные модели к измерениям с низкой точностью [10], а если нет жестких ограничений по времени в циклах управления объектами, то применимы многоэтапные процедуры переработки информации [11] для поддержания заданного уровня качества, в том числе и при неполном объеме данных [12].

СУЩНОСТЬ СТРУКТУРНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СИСТЕМ

Распределенность информационных комплексов (информационно-управляющих систем, систем переработки информации и др.) будем рассматривать как пространственную, что чаще относится к аппаратно-программным средствам, так и временную распределенность, когда отдельные операции переработки информации распределены во времени и не могут быть технологически выполнены одновременно, например, в ходе конвейерной сборки оборудования.

Рассмотрение сложных динамических систем сопровождается анализом структурного описания на всех уровнях представления системы

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ В КАЧЕСТВЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СТРУКТУР ЧАЩЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ СЕТЕВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СТРУКТУР, ВКЛЮЧАЮЩАЯ: ФРАКТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ, СИСТЕМЫ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ХОЛОНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ВИРТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, КОТОРЫЕ РАЗЛИЧАЮТСЯ ВИДОМ КООРДИНАЦИИ СЕТЕВЫХ УЗЛОВ И ХАРАКТЕРОМ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ НИМИ.

(топологическом, функциональном, информационном, организационном и т.д.). Структурный аспект представляет важное направление системного анализа для выявления оптимального числа элементов структуры (любого уровня представления) и способы связей между ними. Структурный анализ в узком смысле имеет целью исследования таких структурных свойств, как связность, достоверность, компактность, сложность, иерархичность.

В настоящее время применительно к информационным системам в качестве распределенных структур чаще используется сетевая организация структур, включающая: фрактальные системы, обучающие системы, системы ресурсного обеспечения, холонические системы [3], виртуальные системы, которые различаются видом координации сетевых узлов и характером связей между ними [6, 13].

Некоторые дефиниции (определения) понятия «Структура» представлены в таблице 1, где так же представлена трактовка из большой советской энциклопедии (БСЭ).

Таблица 1

Дефиниции понятия «Структура»

Дефиниции понятия «Структура»	Краткое название источника
Структура отражает определенные взаимосвязи, взаиморасположение составных частей системы, ее устройство (строение)	БСЭ. Изд. 2-е. Т. 41. – С. 154.
Структура – это свойство структурированной системы, инвариантное относительно изменения функций поведения ее элементов	Дж. Клир [14]
Структура особый пространственно-временной образ (паттерн) производимых составляющих (процессов, технологий)	В.Б. Тарасов [13]
Структура как образ объекта исследования в виде связей между элементами, участвующими в рассматриваемом целевом использовании (применении по назначению) на принятом уровне абстракции	Авторская трактовка

Для организационных структур можно выделить экстенсивные структуры, в которых с течением времени может происходить рост числа элементов. И интенсивные структуры, в которых

исследуется рост связей при неизменном числе элементов. Оба вида структур находятся в тесном взаимодействии и в большей части используются при совместном анализе.

В любой организации (организационной структуре) сопрягаются управленческие факторы и ресурсы, вопросы сотрудничества и подчинения, т.е. социальные отношения, требующие формализации представления на этапе составления соответствующих моделей в задачах прогнозирования, оптимизации, планирования, ресурсного обеспечения и др.

Структурные связи следует рассматривать как некоторые инварианты, независимо от элементов структуры, в качестве которых могут выступать технологические блоки (для технологических структур), программные блоки (процедуры, встроенные подпрограммы) – в программных структурах и т.д.

Перечисленные выше показатели структур (сложность, иерархичность, связность и др.) позволяют сравнивать различные структуры, например, при проектировании, легко и оперативно могут быть вычислены и используются на этапах предварительного проектирования или структурного планирования [15], также для сравнительного анализа сложности проектов. Так в [16] при оценке сложности проекта отдельно рассматривают сложность организационной структуры, сложность динамических процессов и функциональную сложность информационной

технологии. Для оценки потенциальных возможностей отказоустойчивых структур РИУС сложность представляется числом связей между отдельными подпространствами измерительных параметров, перерабатываемых на отдельных этапах в соответствии с технологией задачи оценивания состояния системы [1, 11].

Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы с целью постановки экспериментов с этой моделью, чтобы оценить ее поведение, либо стратегии возможного управления для максимизации функционального эффекта [17]. В нашем случае – это вычислительный эксперимент. Имитационное моделирование применяется, когда не существует законченной формализованной постановки задачи исследования, либо математическое представление получено, но расчет по нему чрезвычайно громоздкий и требует больших стоимостных и временных затрат на полномасштабный эксперимент.

На рисунке 1 типовые методы моделирования, в основе которых лежат методы формального описания системы, оставляя «за кадром» интуитивные, экспертные методы, вербальные модели [18]. В основе современных методов моделирования лежит комплексирование классических подходов, представленное в центре рисунка 1.

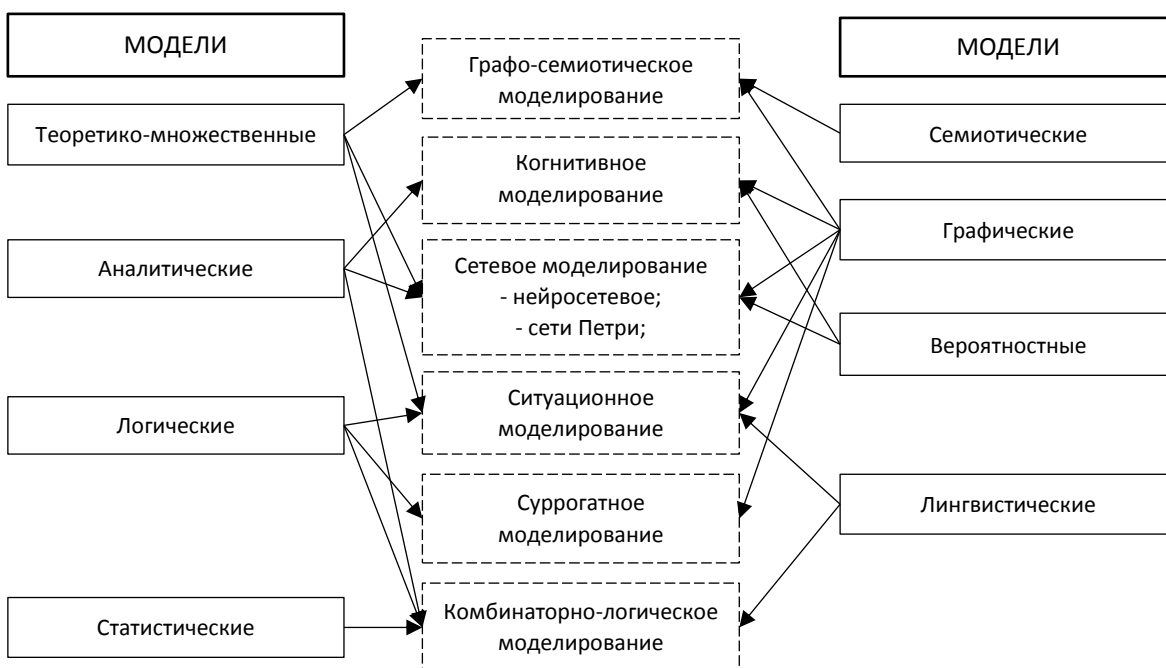


Рисунок 1 – Комплексирование классических методов исследования

Указанные объединения не претендуют на полноту, т.к. это постоянно развивающаяся область знаний с множеством приложений, но подход позволяет понять основные тенденции, а также возможные направления для разработки новых методик исследования. Выбор конкретного метода моделирования сложной системы определяется предметной областью, опытом ее изучения, опирается на системный подход и философию моделирования, как методологию научного исследования [17, 18].

Суррогатное моделирование (surrogate modeling – SM) – современное направление исследований, опирающееся на анализ Больших данных, поэтому аналитический инструментарий практически повторяет методы и алгоритмы исследования БД, большинство из которых основывается на статистических моделях. К основным методам суррогатного моделирования относят:

- о метод опорных векторов;
- о метод адаптивной регрессии;
- о методы стохастического градиентного спуска;
- о метод k - ближайших соседей;
- о кластеризация методом k - средних;
- о метод поиска шаблонов;
- о нейронные сети.

В зависимости от структурно-функционального многообразия информационно-измерительных сетей практически удается учесть ряд факторов, связанных как с их топологией, так и с решаемыми системой функциями [1].

Эффективность системы переработки информации при оценивании определяется точностными характеристиками и пространственной структурой размещения измерителей, а также составом применяемых вычислительных методов и алгоритмов. Основу последних составляют выбранные модели состояния и измерений, которые представим в виде [1, 11]:

$$g(t) = f(g, q, \sigma, t) + \delta(t), \quad (1)$$

где $g \in G$ – вектор состояния объекта исследования (ОИ), а G – множество возможных состояний вектора g ; q – технологические параметры ОИ; $f(*)$ – известная функция связи; σ – параметр состояния структуры; $\delta(t)$ – вектор возмущений; t – параметр времени;

$$y(t) = h[g(t), \Sigma, t] + n(t), \quad (2)$$

где $y(t)$ – вектор измерений; Σ – параметр состояния структуры измерителя, который, в частности, в условиях отказов в канале измерителя позволяет обеспечить варьирование измерительной модели; $n(t)$ – шумы измерителя. Погрешности $\delta(t)$ и $n(t)$ – гауссовы с нулевым средним и известными ковариационными матрицами R_δ и R_n соответственно.

В качестве критерия оптимизации выберем функционал J , минимизирующий функцию потерь W_g определения состояния ОИ:

$$J = \int_y W_g(q, y) \sigma(y) dy = E_y\{W(q)\}, \quad (3)$$

где $\sigma(y)$ – статистические характеристики точности определения y .

Задача статистической оптимизации сводится к задаче минимизации функционала J , т.е.

$$D = [J \rightarrow \min g \in G]. \quad (4)$$

Вид оптимизационного функционала (4) определяется типом решаемой задачи. Для обработки массивов измерительной информации в контурах управления динамическими объектами это могут применяться модификации метода наименьших квадратов, калмановской фильтрации, для задач распределения ресурсов или моделирования структуры конкурентных рынков – методы линейного программирования и так далее.

Методы переработки информации определяются структурой измерительного комплекса, имеющимися вычислительными ресурсами, требованиями к точности оценивания, достоверности и надежности получаемых оценок. Традиционно для реализации РСПИ рассматривать методы централизованной, децентрализованной, последовательной обработки в реальном масштабе времени, последовательной устойчивой многоэтапной обработки измерительной информации [0, 3, 11].

Для централизованной обработки информации (см. рисунок 2а) данные поступают от периферийных пунктов обслуживания (ППО), где осуществляется первичная обработка (предварительное сжатие, линейное или полиномиальное усреднение, кодирование и т.д.) и формируются измерительные векторы y_{1i} , где $i = \overline{1, L}$, а L – общее число ППО, определяемое существом решаемой задачи. Оценки параметров состояния определяются после сбора всех измерительных данных и

формирования суммарного измерительного массива Y_{Σ} , который подвергается централизованной обработке в соответствии с оператором A_{Σ} , после чего формируется вектор оценок g_{Σ}^* .

Существо построения суррогатной модели показано на рисунке 2b, когда на 1-м шаге происходит обучение модели для поиска заданных закономерностей по заданным заранее шаблонам (паттернам) или для поиска таких шаблонов (скрытых закономерностей) в анализируемых данных.

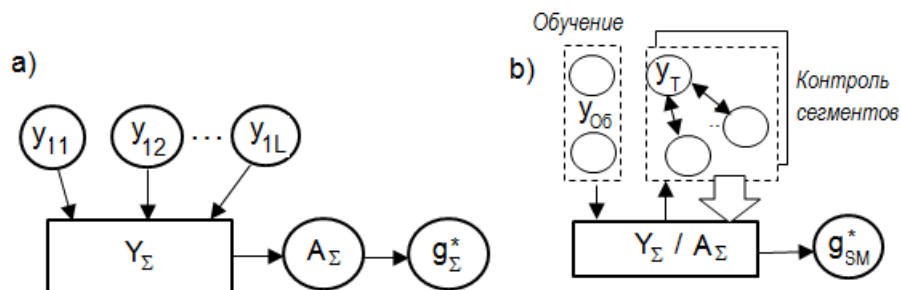


Рисунок 2 – Общие структуры организации переработки информации:
а) в ходе централизованной обработки информации;
б) при организации суррогатного моделирования

На 2-м шаге по сформированному шаблону производится сегментация данных в ходе тестирования, т.е. сравнения образованных сегментов с требуемым вектором Y_T . Сформированные таким образом новые сегменты данных обрабатываются по вышеперечисленным методам для получения вектора оценок параметров объекта исследования по результатам суррогатного

моделирования g_{SM}^* в соответствии с решаемой задачей.

Типовыми источниками Больших данных могут выступать интернет ресурсы, корпоративные порталы, разнообразные базы данных специализированных измерительных систем, примеры которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Примеры источников Больших данных

Источники Big Data		
Интернет ресурсы	Корпоративные порталы	Измерительные системы
Соц. сети; IoT – интернет вещей; сайты различного направления общего доступа (библиотеки)	Операционные транзакции; базы данных (товарная номенклатура, клиентская база); совместные проекты	Показания датчиков, измерительных приборов (метеослужбы, системы наблюдения, ГИБДД и т.д.); GPS навигация; общественный транспорт

В концептуальном плане модель исследуемой распределенной системы (MS_B) представлена в виде открытого кортежа по

выбранным концептуальным признакам, ранжированным на мере структурной (системной) сложности [5, 11]:

$$MS_B = \left\langle \begin{array}{lll} \text{Элементы: } \{ \dots \}; & \text{Структура: } \{ \dots \}; & \text{Функции: } \{ \dots \}; \\ \text{Д_свойства: } \{ \dots \}; & \text{Управление: } \{ \dots \}; & \text{Поведение: } \{ \dots \}; \\ \text{Цели: } \{ \dots \}; & \text{Развитие: } \{ \dots \}; & \text{Эволюция: } \{ \dots \} \end{array} \right\rangle. \quad (5)$$

Здесь за основу взято общетеоретическое представление К. Боулдингом свойств систем относительно выбранных признаков. В качестве одного из них рассматривается сложность [5]. На уровне *элементов* сложность считается нулевой, хотя число элементов может быть сколь угодно большим. *Структура* позволяет учесть элементы и связи между ними. В [0] рассматриваются элементы входных и выходных множеств, преобразуемых в ходе переработки информации в конкретном узле. *Функциональный* уровень считается более сложным, хотя бы на основании того, что одна и та же структура может выполнять несколько функций, что отразится в увеличении объема выходных данных, а следовательно и сложности для данного уровня.

Исследование динамических свойств – *Д*свойства определяется числом применяемых математических моделей, что также выражается ростом сложности, так как на этапе проектирования системы разработчик стремится заложить достаточное количество математических моделей в состав специального программного обеспечения, чтобы уменьшить область возможной неопределенности в задачах автономного управления. Исследование *поведения* больше относится к животному миру, а также, например, к робототехническим комплексам, самолетным беспилотным системам, реализующих функции *самоорганизации* [19] в процессе выполнения целевых задач.

Рассматриваемое представление исследуемых систем в виде кортежа (5) может формироваться под решаемую задачу, исключая или добавляя уровни представления анализируемого концептуального свойства, либо декомпозируя отдельные уровни [11] с целью выявления новых возможностей при решении конкретных задач исследования и повышения устойчивости управления сложными объектами.

iea

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бурый А.С. Отказоустойчивые распределенные системы переработки информации. – М.: Горячая линия - Телеком, 2016. – 128 с.
2. Атакующие взвешенные сети/Остапенко А.Г., Плотников Д.Г., Калашников А.О. и др.; Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Горячая линия - Телеком, 2018. – 248 с.
3. Бурый А.С. Типология структур сетевых организаций в рамках комплексного синтеза информационно-сетевых структур // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2011. № 3(3). С. 5.
4. Халин В.Г., Чернова Г.В. Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски // Управленческое консультирование. 2018. № 10. С. 46-63. DOI: 10.22394/1726-1139-2018-10-46-63
5. Воронин, А.А. Математические модели организаций: учебное пособие / А.А. Воронин, М.В. Губко, С.П. Мишин, Д.А. Новиков. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
6. Соколов Б.В., Малюгин К.А. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой информационной системы // Информационно-управляющие системы. 2003. № 2-3. С. 19-29.
7. Бернштейн А.В. Интеллектуальный анализ данных в теории надежности // MMR 2009 – Математические методы в теории надежности: теория, методы, приложения. – М.: РУДН, 2009. – С. 109-113.
8. Balduin S., Tröschel M., Lehnhoff S. Towards domain-specific surrogate models for smart grid co-simulation // Energy Informatics (2019) 2(Suppl 1): 27. DOI: 10.1186/s42162-019-0082-2
9. Asher M.J., Croke B.F.W., Jakeman A.J., Peeters L.J.M. A review of surrogate models and their application to groundwater modeling // Water Resources Research. 2015. Vol. 51. No. 8. P. 5957-5973. DOI: 10.1002/2015WR016967
10. Бурнаев Е.В., Зайцев А.А. Суррогатное моделирование разноточных данных в случае выборок большого размера // Информационные процессы. 2015. Т. 15, № 1. С. 97–109.
11. Buryu A.S., Vasil'yev V.V. Decomposition and integration of failure-stable procedures for estimating the states of dynamic systems // Journal of Computer and Systems Sciences International. 1994. Т. 32. № 5. P. 114-119.
12. Ломакин М.И., Бурый А.С., Докукин А.В., Стреха А.И., Ниязова Ю.М. Оценка показателей качества в условиях неполной информации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2018. № 4(44). С. 17.
13. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
14. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.

15. Бурый А.С. Процедуры структурного планирования организационно-технических систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2014. № 5(21). С. 2.
16. Xia W., Lee G. Complexity of Information Systems Development Projects: Conceptualization and Measurement Development // Journal of Management Information Systems. Vol. 22(1). P. 45-84. June 2005. DOI: 10.1080/07421222.2003.11045831
17. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
18. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 462 с.
19. Бурый А.С. Моделирование структур предприятия на основе самоорганизации // В сборнике: Проблемы управления безопасностью сложных систем Труды XIV Международной конференции. Российская академия наук и др.; отв. за вып.: Н. И. Архипова, В. В. Кульба. 2006. С. 358-359.

SURROGATE MODELING OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS ON BIG DATA

Buryi Aleksey S., doctor of technical sciences, Director of the Department, FSUE «STANDARTINFORM». SPIN-код: 4050-2824; AuthorID: 636378. Moscow

Shevkunov Mikhail A., applicant, FSUE «STANDARTINFORM», Moscow

A conceptual approach to the organization of modeling of distributed information and control systems based on surrogate modeling aimed at identifying new knowledge by mining Big data is considered. The place of surrogate models in the integrated directions of structural analysis of systems on the basis of classical research methods is shown.

The tuple of structures ranked by the measure of structural (system) complexity is presented on the example of formation of the distributed information system model.

The approach can be used at the stage of development and design of distributed information processing systems, including the network structure, taking into account the choice of conceptual features.

Keywords: surrogate models, simulation, big data, distributed and network structures

REFERENCES:

1. Buryi, A.S. Otkazoustojchivye raspredelennye sistemy pererabotki informacii [*Fault-tolerant distributed information processing systems*]. Moscow, Hotline-Telecom, 2016, 128 p.
2. Atakuemye vzheshennye seti [*Weighted networks under attack*] / Ostapenko, A.G., Plotnikov, D.G., Kalashnikov, A.O. i dr.; ed. chl.-korr. RAN D.A. Novikov. Moscow, Hotline-Telecom, 2018, 248 p.
3. Buryi A.S. Tipologiya struktur setevyh organizacij v ramkah kompleksnogo sinteza informacionno-setevyh struktur [*Typology of structures of network organizations in the framework of complex synthesis of information and network structures*]. *Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya*. 2011, No. 3(3), P. 5.
4. Halin V.G., Chernova G.V. Cifrovizaciya i ee vliyanie na rossijskuyu ekonomiku i obshchestvo: preimushchestva, vyzovy, ugrozy i riski [*Digitalization and its impact on the Russian economy and society: advantages, challenges, threats and risks*]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*. 2018, No. 10, pp. 46-63. DOI: 10.22394/1726-1139-2018-10-46-63
5. Voronin, A.A., Gubko, M.V., Mishin, S.P., Novikov, D.A. Matematicheskie modeli organizacij: uchebnoe posobie [*Mathematical models of organizations: tutorial*]. Moscow, LENAND, 2008, 360 p.
6. Sokolov, B.V., Malyugin, K.A. Kompleksnoe modelirovanie processov upravleniya strukturnoj dinamikoј informacionnoj sistemy [*Complex modeling of control processes by structural dynamics of information system*]. *Informacionno-upravlyayushchie sistemy*. 2003. No. 2-3, pp. 19-29.
7. Bernshtejn A.V. Intel'ktual'nyj analiz dannyh v teorii nadezhnosti [*Data mining in reliability theory*]. *MMR 2009 – Mathematical methods in reliability. Theory. Methods. Applications*. Moscow, RUDN, 2009. pp. 109-113.
8. Balduin, S., Tröschel, M., Lehnhoff, S. *Towards domain-specific surrogate models for smart grid co-simulation*. *Energy Informatics*. 2019. 2(Suppl 1): 27. DOI: 10.1186/s42162-019-0082-2

9. Asher, M.J., Croke, B.F.W., Jakeman, A.J., Peeters, L.J.M. *A review of surrogate models and their application to groundwater modeling. Water Resources Research*. 2015. Vol. 51. No. 8, pp. 5957-5973. DOI: 10.1002/2015WR016967
10. Burnaev, E.V., Zajcev, A.A. Surrogatnoe modelirovanie raznotochnyh dannyh v sluchae vyborok bol'shogo razmera [*Surrogate modeling of heterogeneous data in the case of large samples*]. *Information processes*. 2015. Vol. 15. No 1, pp. 97–109.
11. Buryy, A.S., Vasil'yev, V.V. *Decomposition and integration of failure-stable procedures for estimating the states of dynamic systems. Journal of Computer and Systems Sciences International*. 1994. T. 32. No 5, pp. 114-119.
12. Lomakin, M.I., Buryi, A.S., Dokukin, A.V., Strekha, A.I., Niyazova, YU.M. Ocenka poka-zatelej kachestva v usloviyah nepolnoj informacii [*Assessment of quality indicators in conditions of incomplete information*]. *Information and economic aspects of standardization and technical regulation*. 2018. No. 4(44). P. 17.
13. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizacijam: filosofiya, psihologiya, informatika [*From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, informatics*]. Moscow, Editorial URSS, 2002, 352 p.
14. Klir G.J. Sistemologiya. Avtomatizaciya resheniya sistemnyh zadach [*Systemology. Automation of system tasks*]. Moscow, Radio and Communications, 1990, 544 p.
15. Buryi A.S. Procedury strukturnogo planirovaniya organizacionno-tehnicheskikh sistem [*Procedures of structural planning of organizational and technical systems*]. *Information and economic aspects of standardization and technical regulation*. 2014. No. 5(21). P. 2.
16. Xia, W., Lee, G. *Complexity of Information Systems Development Projects: Conceptualization and Measurement Development. Journal of Management Information Systems*. June 2005. Vol. 22(1), pp. 45-84. DOI: 10.1080/07421222.2003.11045831
17. Shannon R.E. Imitacionnoe modelirovanie sistem – iskusstvo i nauka [*Systems simulation – the art and science*]. Moscow, Mir, 1978, 418 p.
18. Volkova, V.N., Denisov, A.A. Teoriya sistem i sistemnyj analiz [*Systems theory and systems analysis*]. 2nd ed. Moscow, Urait Publishing House, 2018. 462 p.
19. Buryi A.S. Modelirovanie struktur predpriyatiya na osnove samoorganizacii [*Modeling of enterprise structures on the basis of self-organization*]. Trudy XIV Mezhdunarodnoj konferencii Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnyh sistem [*Proceedings of the XIV International conference. Problems of security management of complex systems*] Russian Academy of Sciences et.al; editors N. I., Arkhipova, V. V., Kulba, 2006, pp. 358-359.