

## Конструирование целевых информационных ресурсов

В. Д. Ильин

ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2

vdilyin@yandex.ru

### Аннотация

В обзоре представлены основы обновленной концепции конструирования целевых информационных ресурсов для современных систем управления организационно-техническими системами, научными исследованиями и образовательными процессами. Целевой информационный ресурс (infr) имеет заданные свойства и область применимости и рассматривается как информационный конструктивный объект (infr-объект), аналогичный задачным конструктивным объектам, введенным в методологии символического моделирования (S-моделирования). Каждый infr наделяется спецификацией (infr-спецификацией), которая содержит формализованное описание области применения, языка сообщений, даты создания, места и способа хранения, механизма интерпретации, требований к информационной безопасности и других данных. На основе infr-спецификации программно формируется его память (infr-память). Целевые информационные ресурсы с непустым пересечением по памяти образуют infr-конструкцию. Сконструированная система информационных ресурсов (infr-система) представлена специальным infr-графом, на котором интерпретируются запросы, составленные на языке infr-сообщений. Расширение infr-системы предполагает рост множества принадлежащих ей infr-объектов и семейства связей по infr-памяти между элементами этого множества. Infr-спецификация системы формируется путем обработки спецификаций infr-объектов, вошедших в систему. Процессы применения infr-системы включают составление пользователями запросов на языке infr-сообщений, автоматическую интерпретацию запросов на infr-графе и выдачу результатов интерпретации. Формирование и применение целевых информационных ресурсов построены как процессы манипулирования infr-спецификациями и программной обработки infr-содержимого в соответствии с заданным набором правил. Рассмотрен пример формирования и применения целевых информационных ресурсов для решения задач выработки и исполнения решений в системе ситуационной информатизации государственного управления.

**Ключевые слова:** целевой информационный ресурс, информационный конструктивный объект, infr-спецификация, infr-память, infr-граф, язык infr-сообщений, механизм интерпретации infr-сообщений

**Финансирование:** Результаты получены при выполнении научно-исследовательской работы «Математические методы анализа данных и прогнозирования» (шифр: 0063-2019-0003, № госрегистрации: АААА-А19-119091990038-2), выполняемой в соответствии с государственным заданием ФАНО России для Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН.

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Ильин В. Д. Конструирование целевых информационных ресурсов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2023. Т. 19, № 2. С. 333-339.

© Ильин В. Д., 2023



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



## Constructing of Targeted Information Resources

V. D. Ilyin

Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow,  
Russian Federation

Address: 44 Vavilov St., building 2, Moscow 119333, Russian Federation  
vdilyin@yandex.ru

### Abstract

This review presents the basics of the updated concept of designing targeted information resources for modern management systems of organizational and technical systems, scientific research and educational processes. The target information resource (infr) has the specified properties and scope of applicability and is considered as an informational constructive object (infr-object), similar to the task constructive objects introduced in the methodology of symbolic modeling (S-modeling). Each infr is endowed with a specification (infr-specification), which contains a formalized description of the scope, message language, date of creation, place and method of storage, interpretation mechanism, information security requirements and other data. Based on the infr-specification, its memory (infr-memory) is programmatically formed. Target information resources with non-empty memory intersection form an infr-construct. The constructed system of information resources (infr-system) is represented by a special infr-graph on which requests made in the language of infr-messages are interpreted. The expansion of the infr-system involves the growth of the set of infr-objects belonging to it and the family of infr-memory relations given for elements of this set. The infr-specification of the system is formed by processing the specifications of infr-objects entered into the system. The processes of using the infr-system include the compilation of queries in the infr-message language, automatic interpretation of queries on the infr-graph and the output of interpretation results. The formation and application of targeted information resources are constructed as processes of manipulation of infr-specifications and software processing of infr-content in accordance with a given set of rules. An example of the formation and application of targeted information resources for solving problems of development and execution of decisions in the system of situational informatization of public administration is considered.

**Keywords:** targeted information resource (infr), information constructive object (infr-object), infr-specification, infr-memory, infr-graph, infr-message language, infr-message interpretation mechanism

**Funding:** The results were obtained during the research work "Mathematical Methods of Data Analysis and Forecasting" (code: 0063-2019-0003, state registration number: AAAA-A19-119091990038-2, which was carried out in accordance with the state assignment of the Federal Agency of Scientific Organizations of Russia for the Federal Research Center "Informatics and Control" of the Russian Academy of Sciences.

**Conflict of interests:** The author declares no conflict of interest.

**For citation:** Ilyin V.D. Constructing of Targeted Information Resources. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(2):333-339.



## 1. Введение

Целенаправленная деятельность складывается из процессов выбора цели и решения задач для ее достижения. В общем случае она предполагает обладание способностями, необходимыми для познания окружающей среды и самопознания, формирования и применения систем правил, принятия интуитивных решений (в зависимости от сложившейся ситуации, в условиях неполной информированности), самообучения, развития своих способностей (пополняя и используя знания и умения, накопленные человечеством). «Образ мыслей», влияющий на выбор целей и способов их достижения, во многом зависит от того, какие информационные ресурсы и как используются для его формирования.

В наши дни интенсивно прирастает значение «формирующих образ мыслей» информационных ресурсов (онлайн-энциклопедий, социальных сетей, веб-сайтов различного назначения [1] и др.). Неуклонно растет зависимость экономической продуктивности от применяемых информационных ресурсов<sup>1</sup> [2-7]. Увеличивается число исследований, посвященных сложным системам данных [8], машинному обучению и системам искусственного интеллекта [9-11]. Разрабатываются методы построения искусственных нейронных систем, ориентированных на поддержку процессов обработки данных и моделирования [12-13]. Исследования, посвященные автоматизации построения информационных ресурсов, включают подходы к решению задачи извлечения нарративов из текстов [14].

Применение М2М-технологий в инфраструктуре информационного обеспечения организационно-технических систем связано со стремлением к значительному повышению эффективности [15]. Все более популярными становятся облачные вычисления: компании переносят свои приложения из локальных центров обработки данных в облако, чтобы внедрять инновации, сокращать расходы и повышать гибкость [16-18]. Интенсивно развивается методологическое обеспечение и технологии применения цифровых двойников контролируемых объектов [19-23].

### 1.1. Запись формул и выделение фрагментов текста

Для записи формул и выделения определений, замечаний и примеров используются средства языка *TSM-комплекса* (*TSM: textual symbolic modeling*), разработанного для формализованного описания текстовых s-моделей сообщений<sup>2</sup>.

В статье применены следующие средства выделения фрагментов текста:

- <фрагмент описания> □ ≈ утверждение (определение, аксиома и др.) (здесь и далее символ ≈ заменяет слово «означает»);
- ◇ <фрагмент описания> ◇ ≈ замечание;
- <фрагмент описания> ○ ≈ пример.

Курсивом выделены первые вхождения названий понятий и фрагменты описания, к которым автор хочет привлечь внимание.

### 1.2. Обсуждаемые результаты

В статье представлена часть результатов *методологического обеспечения технологий построения информационных ресурсов как основания повышения продуктивности деятельности в различных областях*.

## 2. Информационные ресурсы<sup>3</sup>

□ *Информационные ресурсы* – специфицированные сообщения (текстовые, графические, аудио-, видео- и др.), представленные в форме, рассчитанной на хранение (электронные и бумажные документы, книги, фильмы и др.), накопление, обработку и представление пользователям, деятельность которых связана с построением и применением знаний (в науке, образовании, экономике и др.). Спецификация информационного ресурса содержит данные, необходимые для его поиска, определения области применимости и др. □

◇ В библиотеках середины 20 века подобные спецификации были представлены в виде карточек, которые хранились в каталожных ящиках. В современных библиотеках, архивах и других хранилищах информационных ресурсов, как правило, применяют электронные каталоги (где каждый информационный ресурс имеет электронную спецификацию) и поисковые системы. ◇

Информационные ресурсы предполагают их неоднократное использование без участия тех, кто их создал. Являясь средством сохранения знаний, информационные ресурсы одновременно служат исходными данными для построения новых знаний, которые, в свою очередь, могут быть представлены в форме информационных ресурсов.

Информационные ресурсы существуют в электронной форме (файлы электронных документов, видео и др.) и иных формах (каталогизированные тексты и изображения на бумажных носителях, кинофильмы на киноплёнке и др.). Для хранения электронных информационных ресурсов используются накопители на SSD, жёстких дисках и др. Компактность, возможность хранить большие объёмы файлов, а также быстродействие накопителей и удобство работы с ними обусловили перевод в электронную форму различных неэлектронных информационных ресурсов (путем сканирования бумажных документов и книг, видеосъемки с помощью цифровых фото-, видеокамер и др.). Электронные формы информационных ресурсов (электронные энциклопедии, электронные книги и др.) интенсивно вытесняют неэлектронные. Электронные информационные ресурсы применяются в режимах онлайн (онлайн-ресурсы) и оффлайн (оффлайн-ресурсы). Онлайн-ресурсы применяются в онлайн-энциклопедиях, интернет-сервисах и др. Оффлайн-ресурсы применяют на компьютерах и компьютерных устройствах, не подключённых к компьютерной сети. Являясь результатами интеллектуальной деятельности, информационные ресурсы одновременно служат ее обновляемой платформой. От того, как она устроена, существенно зави-

<sup>1</sup> Jonscher C. Information Resources and Economic Productivity. Forgotten Books, 2018. 33 p.

<sup>2</sup> Ильин В. Д. Символьное моделирование [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. Электронная версия. 2016. URL: [https://old.bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/4010980](https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4010980) (дата обращения: 16.05.2023).

<sup>3</sup> Ильин В. Д. Информационные ресурсы [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. Электронная версия. 2016. URL: [https://old.bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/2016043](https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/2016043) (дата обращения: 16.05.2023).



сит продуктивность интеллектуальной деятельности.

Изобретать и распространять *модели знаний*, на основе которых создаются информационные ресурсы – основные задачи занимающихся наукой, инженерным делом, образовательной и просветительской деятельностью.

□ *S-модель системы  $sk$  знаний*:  $\langle ca \approx s$ -модель системы  $sc$  понятий  $\rangle$ ,  $\langle set^{lng} \approx s$ -модель совокупности языков сообщений, интерпретируемых на  $ca \rangle$ ,  $\langle set^{intr} \approx s$ -модель совокупности интерпретаторов на  $ca$  сообщений, составленных на языках из  $set^{lng} \rangle$ . □ [24].

□ *Определение системы понятий* – описание ее  $S$ -модели, сопровождаемое указанием области применимости:  $\langle S$ -система  $S^c$  понятий  $\rangle \approx$   $\langle$ множество  $S^{sc}$  понятий, на котором определяется изучаемый  $S$ -объект $\rangle$ ,  $\langle$ семейство  $rel(S^{sc})$  связей, заданных на  $S^{sc}$  $\rangle$ . Определение  $S$ -системы понятий должно удовлетворять необходимым требованиям конструктивности: представление в виде пары  $\langle S$ -модель системы понятий  $\rangle$ ,  $\langle$ определение области  $S$ -применимости $\rangle$ . В  $S$ -систему понятий, считающуюся определенной, не должны входить понятия, не имеющие определений (и при этом не относящиеся к понятиям-аксиомам). □

□ *Определение области  $S$ -применимости* – описание типов: *корреспондента* (кому адресовано определение); *цели*, в процессе достижения которой определение имеет смысл (классы задач, при изучении которых определение может быть полезно); *стадии*, на которой целесообразно использовать определение (концепция, методология решения и т. д.). *Область  $S$ -применимости* может принадлежать совокупности областей, в которых исследуются природные и/или изобретаемые объекты. □ Чтобы определить новое понятие (не относящееся к понятиям-аксиомам) необходимо указать его связь с некоторой уже существующей  $S$ -системой понятий.

Интерпретация сообщения на  $ca$ :

1. построение выходного сообщения по заданному входному (сообщения представлены на языках из совокупности  $set^{lng}$ );
2. анализ выходного сообщения (требуются ли изменения в  $ca$ );
3. если требуется, то изменение  $ca$ ; если нет – завершение.

### 2.1. Гипермедийные информационные ресурсы

□ Гипермедийный информационный ресурс – совокупность связанных гиперссылками мультимедийных информационных ресурсов. □

◊ Если мультимедиа-сообщение представлено в виде структуры, по которой предусмотрена возможность перемещения в интерактивном режиме, то такое сообщение называют гипермедийным. В частности, гипермедийные сообщения используются для формирования содержимого веб-сайтов и современных онлайн-энциклопедий. ◊

◊ Гипермедийные онлайн-энциклопедии, реализованные на основе сети Интернет, стали информационными ресурсами массового применения именно потому, что представлены в гипермедийной форме и доступны посредством удобных для пользователей Интернет-сервисов. ◊ Электронные информационные ресурсы используются с по-

мощью различных  $S$ -машин (персональных компьютеров, ноутбуков и др.). Компактность накопителей  $S$ -машин, возможность хранить на них большие объемы разнотипных  $S$ -общений, быстрдействие  $S$ -машин и удобство работы с ними определили стремление перевести в электронную форму различные информационные ресурсы (сканированием бумажных документов и книг, видеосъемкой с помощью цифровых фото- и видеокамер и др.).

## 3. Целевой информационный ресурс (infr) как конструктивный объект

□ *Спецификация целевого информационного ресурса (infr-спецификация)* в процессах формирования и применения играет роль *памяти информационного ресурса (infr-памяти)* и рассматривается как *информационный конструктивный объект* (по аналогии с *задачным конструктивным объектом*, введенным в работе<sup>4</sup> и усовершенствованным в [25]). □

Два информационных ресурса с непустым пересечением по памяти образуют элементарную  $infr$ -конструкцию, которая рассматривается как составной информационный ресурс:  $\langle infr$ -спецификация  $\rangle$ ,  $\langle infr$ -содержимое  $\rangle$ . Его  $\langle infr$ -спецификация  $\rangle$  составлена программно из спецификаций информационных ресурсов, вошедших в конструкцию. Понятие *infr-графа* (аналога *задачного  $S$ -графа* [25]) служит формализованным средством описания разнообразных  $infr$ -структур (без ограничений на сложность).

□ Система *Infr-system* информационных ресурсов – триада *Infr-base* =  $(L, G, M)$ . Где  $L$  – язык, на котором составлены сообщения, интерпретируемые на  $infr$ -области  $G$ ;  $M$  – механизм интерпретации.

$G = \langle S, R \rangle$ , где  $S$  – множество конструктивных  $infr$ -объектов, а  $R$  – совокупность связей по  $infr$ -памяти между элементами множества  $S$ . □

Создать *Infr-system* – значит определить  $infr$ -область  $G$  (представленную  $infr$ -графом), язык  $L$  и механизм интерпретации  $M$ . Пользоваться *Infr-system* – значит составлять запросы на языке  $L$ , предъявлять их механизму интерпретации  $M$  и получать ответы.

Развитие *Infr-system* рассматривается как расширение множества  $S$   $infr$ -объектов и совокупности  $R$  связей.

## 4. Информационные ресурсы в ситуационном управлении организационно-технической системой: пример

В методологии *ситуационной информатизации государственного управления* формирование информационных ресурсов, необходимых для выработки и исполнения государственных решений, рассматривается, как конструирование путем обработки верифицированных сообщений, содержащих требуемые данные<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Ильин В. Д. Система порождения программ. М.: Наука, 1989. 264 с.

<sup>5</sup> Ильин В. Д. Основания ситуационной информатизации. М.: Наука. Физматлит, 1996. 180 с.



□ Спецификация государственного информационного ресурса – формализованное описание области применения, языка и источника сообщений, даты создания, места и способа хранения, механизма интерпретации, требований к информационной безопасности и других данных служебного характера. □  
 ◇ В частности, эта спецификация содержит поля переменных, означиваемых в результате интерпретации описания неординарной ситуации, возникающей при нарушении *госпространств*<sup>6</sup>. ◇

Формализованный результат конструирования системы информационных ресурсов представлен графом специального вида. Определено описание ситуации, задающее режим формирования и применения информационных ресурсов. Определены формализованные средства описания элементарных информационных ресурсов и составленных из них конструкций. Разработаны правила конструирования. Определены типы запросов на формирование информационных ресурсов, требования к языку и механизму интерпретации.

Процесс применения информационных ресурсов представлен аналогично процессу S-задачного конструирования [25]. Метод формирования и применения информационных ресурсов рассчитан на управление этими процессами (по описаниям ситуаций).

Формирование и применение информационных ресурсов построены как процессы манипулирования *infr*-спецификациями и обработки их содержимого в соответствии с заданным набором правил. Степень сложности реализации процессов формирования и применения информационных ресурсов изменяется в зависимости от требований, которые предъявляются к уровню информационной безопасности указанных процессов.

Исполнение государственных решений сопровождается формированием и применением необходимых информационных ресурсов. Каждое сообщение об исполнении или нереализованности предписанного исполнения должно отражаться в сформированном информационном ресурсе Системы. Оперативно формируемые информационные ресурсы Системы служат информационной платформой для анализа ситуаций и выработки проектов государственных решений.

◇ Информационные ресурсы Системы должны быть надежно сохранены и защищены от несанкционированного доступа. Повышенный уровень сохранности и защиты должны иметь информационные ресурсы, содержащие государственные документы и проекты особо важных государственных решений. Формы документов и созданные на их основе документы хранятся раздельно в соответствующих базах данных. Работа с базой данных документа возможна только при наличии

его формы. Внешние (по отношению к Системе) базы данных специфицированы в соответствии с назначением извлекаемой информации. Это определяет дисциплину, способ и средства доступа. Взаимодействие с внешними базами данных допустимо с разрешения администрации Системы. ◇

○ Контроль доступа к S-машинам, используемым для документооборота Системы. Технология контроля доступа является важной составляющей арсенала средств защиты информационных ресурсов Системы. Возможность включения и режимы работы каждой S-машины зависят от результатов распознавания биометрических характеристик пользователя. В этой технологии ключевой составляющей документа является спецификация документа. Без нее документ лишен информационной полноты, так как в спецификации содержатся значения таких атрибутов, как «*объект воздействия*», «*тип воздействия*», «*состав исполнителей*», «*время*», «*место*» и др. Эта часть сведений должна давать представление о реализации готовящегося решения. В тексте документа вся конкретизирующая часть сведений должна быть представлена ссылками на соответствующую *infr*-спецификацию. Таким образом, только в результате подстановки значений атрибутов спецификации документ должен приобретать информационную полноту<sup>7</sup>. ○  
 Предусмотрены специальный редактор *infr*-спецификаций особо важных документов и база прототипов для подготовки текстов государственных документов. Важное значение имеет ситуационное формирование информационных ресурсов, отражающих изменение состояния располагаемых средств государственных управляющих воздействий и ресурсного обеспечения их реализации. Такая информационная платформа необходима, в частности, для проектирования ресурсно-обоснованных решений и для расчета планов-графиков ресурсного обеспечения процессов исполнения государственных решений.

## 5. Заключение

В обзоре рассмотрена обновленная концепция конструирования целевых информационных ресурсов, первая версия которой была представлена в работе<sup>8</sup>. Целевыми названы информационные ресурсы, наделенные требуемыми свойствами и предназначенные для применения в заданной области. Автоматизированный процесс конструирования основан на манипулировании спецификациями информационных ресурсов. Приведен пример формирования и применения целевых информационных ресурсов для выработки и исполнения государственных решений.

## References

- [1] Aggarwal N. A Review of Website Quality and Its Impact on Customer Satisfaction. *Information Resources Management Journal*. 2022;35(3):1-18. <http://doi.org/10.4018/IRMJ.305867>
- [2] Singh S., Sharma G.D., Radulescu M., Balsalobre-Lorente D., Bansal P. Do natural resources impact economic growth: An investigation of P5 + 1 countries under sustainable management. *Geoscience Frontiers*. 2023:101595. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101595>

<sup>6</sup> Там же.

<sup>7</sup> Там же.

<sup>8</sup> Там же.





- [3] Shneps-Shneppe M.A., Sukhomlin V.A., Namiot D.E. On interfaces of information networks of the digital economy. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2017;13(3):198-207. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.3.360>
- [4] Olorunnimbe K., Viktor H. Deep learning in the stock market – a systematic survey of practice, backtesting, and applications. *Artificial Intelligence Review*. 2023;56:2057-2109. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10226-0>
- [5] Ajigini O.A., Chinamasa T.J. Modelling Digital Transformation Within the Financial Sector: A South African Perspective. *Information Resources Management Journal*. 2023;36(1):1-20. <http://doi.org/10.4018/irmj.320642>
- [6] Ilyin A.V., Ilyin V.D. E-trade with Direct Lending and Normalized Money. *AGRS on-line Papers in Economics and Informatics*. 2015;07(4):57-64. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.231893>
- [7] Nanda P., Kumar V. Information Processing and Data Analytics for Decision Making: A Journey From Traditional to Modern Approaches. *Information Resources Management Journal*. 2022;35(2):1-14. <https://doi.org/10.4018/IRMJ.291693>
- [8] Dittmer S., Roberts M., et al. Navigating the development challenges in creating complex data systems. *Nature Machine Intelligence*. 2023;5:681-685. <https://doi.org/10.1038/s42256-023-00665-x>
- [9] Haibe-Kains B., Adam G. A., et al. Transparency and reproducibility in artificial intelligence. *Nature*. 2020;586:E14-E16. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2766-y>
- [10] Kuleto V., Ilic M., Dumangiu M., et al. Exploring opportunities and challenges of artificial intelligence and machine learning in higher education institutions. *Sustainability*. 2021;13(18):1-16. <https://doi.org/10.3390/su131810424>
- [11] Bavskar D., Ahirrao S., Potdar V., et al. Efficient Automated Processing of the Unstructured Documents Using Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review and Future Directions. *IEEE Access*. 2021;9:72894-72936. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3072900>
- [12] Kim J.Z., Bassett D.S. A neural machine code and programming framework for the reservoir computer. *Nature Machine Intelligence*. 2023;5(6):1-9. <https://doi.org/10.1038/s42256-023-00668-8>
- [13] Abdollahi A., Pradhan B., Alamri A. et al. VNet: An End-to-End Fully Convolutional Neural Network for Road Extraction From High-Resolution Remote Sensing Data. *IEEE Access*. 2020;8:179424-179436. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3026658>
- [14] Santana B., Campos R., et al. A survey on narrative extraction from textual data. *Artificial Intelligence Review*. 2023;56:8393-8435. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10338-7>
- [15] Hickert C., Tekeoglu A., et al. Trust Me, I'm Lying: Enhancing Machine-to-Machine Trust. In: ACM/IEEE 13th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPs). Milano, Italy: IEEE Computer Society; 2022. p. 01-02. <https://doi.org/10.1109/ICCPs54341.2022.00034>
- [16] Shobana S., Radhika N. A Comparative Analysis of Cloudlet Provisioning in Mobile Cloud Computing Environment. In: 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). Erode, India: IEEE Computer Society; 2022. p. 48-52. <https://doi.org/10.1109/ICCMC53470.2022.9753726>
- [17] Suganya N., Sathiya R., et al. Enhancing the Reliability of Cloud Data by Implementing AES Algorithm. In: 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). Madurai, India: IEEE Computer Society; 2021. p. 90-95. <https://doi.org/10.1109/ICICCS51141.2021.9432070>
- [18] Xiaoyu W., Zhengming G. Research and Development of Data Security Multidimensional Protection System in Cloud Computing Environment. In: International Conference on Advance in Ambient Computing and Intelligence (ICAACI). Ottawa, ON, Canada: IEEE Computer Society; 2021. p. 67-70. <https://doi.org/10.1109/ICAACI50733.2020.00019>
- [19] Rojek I., Mikołajewski D., Dostatni E. Digital twins in product lifecycle for sustainability in manufacturing and maintenance. *Applied Sciences*. 2020;11(1):31. <https://doi.org/10.3390/app11010031>
- [20] Semeraro C., Lezoche M., Panetto H., Dassisti M. Digital twin paradigm: a systematic literature review. *Computers in Industry*. 2021;130:103469. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103469>
- [21] Nguyen H., Trestian R., To D., Tatipamula M. Digital Twin for 5G and Beyond. *IEEE Communications Magazine*. 2021;59(2):10-15. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2000343>
- [22] Jia P., Wang X., Shen X. Digital-Twin-Enabled Intelligent Distributed Clock Synchronization in Industrial IoT Systems. *IEEE Internet of Things Journal*. 2021;8(6):4548-4559. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3029131>
- [23] Bécue A., Maia E., Feeken L., Borchers P., Praça I. A New Concept of Digital Twin Supporting Optimization and Resilience of Factories of the Future. *Applied Sciences*. 2020;10(13):4482. <https://doi.org/10.3390/app10134482>
- [24] Ilyin V. D. Symbolic Modeling (S-Modeling): an Introduction to Theory. In: Silhavy R. (ed.) Artificial Intelligence Trends in Systems. CSOC 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 502. Cham: Springer; 2022. p. 585-591. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-09076-9\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-031-09076-9_54)
- [25] Ilyin A.V., Ilyin V. D. Updated methodology for task knowledge based development of parallel programs. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds.) Data Science and Intelligent Systems. CoMeSySo 2021. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 231. Cham: Springer; 2021. p. 319-328. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3_25)

Поступила 16.05.2023; одобрена после рецензирования 19.06.2023; принята к публикации 25.06.2023.

Submitted 16.05.2023; approved after reviewing 19.06.2023; accepted for publication 25.06.2023.



**Об авторе:**

**Ильин Владимир Дмитриевич**, ведущий научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН, ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9761-082X>**, vdilyin@yandex.ru

*Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.*

**About the author:**

**Vladimir D. Ilyin**, Leading scientist of the Dorodnitsyn Computing Centre of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences (44 Vavilov St., building 2, Moscow 119333, Russian Federation), Dr. Sci. (Tech.), Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9761-082X>**, vdilyin@yandex.ru

*The author has read and approved the final manuscript.*

