

# Развитие S-моделирования и цифровизации

В. Д. Ильин

**Аннотация** — В обзоре представлена связь развития S-моделирования (символьного моделирования произвольных объектов в человеко-машинной среде) и цифровизации (совершенствования различных видов деятельности на основе информационных технологий). В S-моделировании изучаются системы символов и соответствующие им системы кодов и сигналов; языки S-моделирования, методы построения, сохранения, накопления, поиска и передачи s-моделей природных и изобретаемых объектов с помощью компьютеров, смартфонов и др. программируемых машин (названных s-машинами). S-модель природного или изобретаемого объекта рассматривается как отображение в символьно-кодowo-сигнальную среду, выполненное при ограничениях, соответствующих задаче, для решения которой строится s-модель. S-моделирование применяется в науке, инженерном деле и других видах интеллектуальной деятельности для построения s-моделей сообщений, интерпретации сообщений на s-моделях систем понятий, создания сетевых протоколов и информационных ресурсов, программирования поведения машин, проектирования, информационного взаимодействия, обучения и др. Компьютерные программы, музыкальные композиции и другие символьные реализации различных замыслов могут служить примерами s-моделей.

**Ключевые слова** — S-моделирование; символьное моделирование; символы; коды; сигналы; s-машина; s-среда; интеллектуальная деятельность; цифровизация.

## I. ВВЕДЕНИЕ

*Символьное моделирование* (S-моделирование<sup>2</sup>) – методология моделирования произвольных объектов на основе взаимосвязанных систем *символов* (визуальных, аудио и др.), *кодов* (числовых, буквенно-числовых и др.) и *сигналов* (световых, электрических и др.) при решении задач познания и созидания (проектирования,

управления и др.) в *человеко-машинной среде* (s-среде) [1].

Доминирующая роль s-моделей в интеллектуальной деятельности определяется не только их компактностью и выразительностью, но и отсутствием ограничений на типы носителей, применяемых для их хранения. Носителями могут быть память человека, матрица цифровой фотокамеры, память цифрового диктофона и др. Затраты на построение, копирование, передачу, сохранение и накопление s-моделей несопоставимо меньше, чем аналогичные затраты, связанные с несимвольными моделями (например, макетами судов, зданий и др.). Примерами s-моделей могут служить электронные карты, видеоклипы, чертежи машин, записи музыкальных композиций и т.д.

Огромное число символьных моделей различных объектов построено до и после создания *теории S-моделирования*.

Примерами применения методологии *S-моделирования* в работах других авторов могут служить [2-10].

### A. Моделирование

Средство познания и/или созидания, осуществляемое путем отображения изучаемого объекта в выбранную среду *символьного* или *несимвольного* представления (напр., физического).

Заметим, что задача моделирования тогда имеет смысл, когда явно определены ограничения, соответствующие цели построения модели, условиям ее реализации и применения. При этом *адекватность модели* определяется степенью ее соответствия задачам, для решения которых она создана, и точностью результатов, получаемых при их решении. А *значимость модели* – предсказательной силой, воспроизводимостью и применимостью.

<sup>1</sup>Статья получена 15 ноября 2022.

В.Д. Ильин, Федеральный исследовательский центр “Информатика и управление” (e-mail: vdilyin@yandex.ru)

<sup>2</sup> С заглавной буквы, если имеется в виду имя методологии.

*Несимвольное моделирование* рассматриваем как дополнительное (по отношению к *символьному моделированию*) средство изучения объекта на физических моделях (*физическое моделирование*) и/или прототипах (*прототипирование*). И физические модели, и прототипы создаются на основе символьных моделей.

Напр., в электротехнике символьная модель может быть представлена комплектом электронной документации, включающей файлы специфицированного описания, графических изображений (двумерных и/или трехмерных), электрических схем и др.

В наши дни (2022 год) для изготовления символьных и несимвольных моделей объектов [изучаемых в науке (физике, химии и др.), создаваемых в технике (в авиастроении, робототехнике и др.), медицине (в имплантологии, томографии и др.), искусстве (в архитектуре, музыке и др.) и др. областях деятельности] применяются технологии компьютерного моделирования [с помощью компьютеров и компьютерных устройств (3D-сканеров, 3D-принтеров и др.)].

S-модель объекта изучается как отображение в *s-среде*, выполненное при заданных ограничениях, соответствующих планируемому применению s-модели (напр., цифровое фото – отображение визуального объекта, сделанное с заданным разрешением; программа решения некоторой задачи – отображение выбранного метода решения, учитывающего заданную совокупность ограничений).

В s-моделировании не предполагается никаких ограничений на виды и типы заменяемых s-символами объектов: объекты могут иметь любую физическую сущность, размещение, происхождение и назначение. S-символы одного вида могут заменять s-символы другого (напр., *визуальные символы* могут заменять *аудиосимволы*).

В *теории s-моделирования* [1] предложены методы построения символьных моделей произвольных объектов. S-модели изучаются как сущности, имеющие взаимосвязанные символьные, кодовые и сигнальные представления. Теория s-

моделирования включает язык TSM специфицированного описания расширяемой системы понятий теории, определения основных понятий этой системы и классов базовых задач. Определены виды символов (аудио, визуальных и др.); для видов определены типы символов. Определены виды и типы кодов и сигналов, рассчитанных на s-машины. Для типов символов и кодов определены связывающие их отношения (специализации, обобщения и др.). Сформулированы правила построения в s-среде систем символов, символьных конструкций и соответствующих им систем кодов и кодовых конструкций. Определены унифицированные s-модели систем понятий и систем знаний. Центральная часть теории представлена методологией s-моделирования программируемых задач.

#### *В. Из истории создания*

Понятие "*символьное моделирование*" (как научная дисциплина) было определено *Ильиным В.Д.* в 1989 году на страницах 248–249 книги [11], посвященной методологии автоматизированного конструирования программных систем.

В 2007–2017 годы в Институте проблем информатики РАН под научным руководством проф. Ильина В.Д. был выполнен ряд НИР, посвященных методологии s-моделирования и ее применению. В 2008–2015 годы обучающимся на базовой кафедре Института проблем информатики РАН в Российском технологическом университете (МИРЭА) читался курс лекций "*Символьное моделирование в информатике*". Методологические основания этого курса кратко представлены в статье [12].

#### *С. S-моделирование и гипотеза Ньюэлла и Саймона*

В лекции [13], посвященной концептуальному обеспечению построения интеллектуальных систем, есть раздел о символах и системах физических символов (Symbols and Physical Symbol Systems). "Физический" означает там "подчиняющийся законам физики" и "пригодный для реализации в виде инженерных систем". В

своей гипотезе авторы утверждают, что "система физических символов имеет необходимые и достаточные средства для общего разумного действия". В рассуждениях этих авторов об *интеллектуальных системах* отмечена важность эффективного символического представления сущностей. Но конкретно о *системах визуальных, аудио- и др. символов* (и соответствующих им *системах кодов и сигналов*) в этой лекции не упоминается. Отсутствует в этой работе и *классификация задач символического моделирования*, и описание методов построения *символьных моделей произвольных объектов*.

#### D. S-разметка текста

Для выделения определений, замечаний и примеров используются средства языка *TSM-комплекса* (TSM: textual symbolic modeling), разработанного для формализованного описания текстовых моделей<sup>3</sup> [1, 11].

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.

## II. S-МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Начнем со схематического очерка, в котором представлена небольшая часть результатов развития символического моделирования (как средства совершенствования интеллекта).

□ **Аудио символы** (типы *речевой, сигнальный* и др.) □:

○ – звуки, воспроизводимые человеком → возгласы, речь, напевы и др.; инструментальные звуки (сигнальные, музыкальные и др.);

– *языки звуковых сообщений*: языки общения естественные языки), профессионально-ориентированные расширения языков общения (в науке, технике и др. областях деятельности);

– аналоговое кодирование звуковых сообщений → запись и воспроизведение, сохранение и накопление звуковых сообщений (грамзапись, запись на магнитных носителях → фонотеки);

– удаленная передача и прием (телефония, радиосвязь, радиовещание);

– цифровое кодирование звуковых сообщений → цифровые технологии записи (на магнитных и оптических носителях), редактирования и воспроизведения, удаленной передачи и приема, синтеза и распознавания, сохранения и накопления звуковых сообщений → цифровые технологии мобильной и стационарной связи, спутниковой радиосвязи, Интернет-телефонии, радиовещания. ○

□ **Визуальные символы** [тип *графический* ○ неподвижные изображения, схемы, чертежи и др. ○ → тип *текстовый* (специализация *графического* ○ буквы, иероглифы, ноты и др. ○) → тип *числовой* (специализация *текстового*); тип *видео* (○ движущиеся изображения, полученные в результате киносъемки, видеосъемки и др. ○)]. □

◇ *Текстовые модели языков сообщений* → *основание письменности*. ◇

◇ Символьные модели систем понятий, включающих *число* → *позиционные системы счисления*. ◇

◇ *Цифровое кодирование изображений* → цифровая видеосъемка и монтаж, цифровые технологии видеоконференций и др. ◇

### A. Цифровое кодирования символов

◇ Стало основанием для изобретения машин, манипулирующих кодами s-символов и построенных из них s-моделей:

– *спецификация задачи* → *программа поведения s-машины* [компьютера или компьютерного устройства (○ смартфона, цифровой фотокамеры или др. ○)];

– *языки программирования, запросов, спецификации*;

<sup>3</sup> Ильин В. Д. Символьное моделирование // Большая российская энциклопедия (электронная версия). [http://dev.bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/4010980](http://dev.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4010980).

– средства автоматизации программирования: языки, трансляторы (ассемблеры, компиляторы, интерпретаторы), библиотеки программ, инструментальные системы программирования;

– данные → базы данных, системы управления базами данных;

– конструирование изображений в s-среде (пиксель – элементарный конструктивный s-объект) → цифровая фотография и редактирование изображений;

– гипертекст и конструирование документов в s-среде → электронный документооборот;

– системы автоматизированного проектирования (САПР) как инструмент проектирования аппаратных средств s-среды, изделий электроники, машиностроения и др.;

– распознавание изображений в s-среде и биометрическая идентификация. ◇

#### *В. S-модели взаимодействия и решения задач в s-среде*

*Компьютерные сети и Интернет → интернет-сервисы (° электронная почта, Веб, поиск и др. °).*

В науке и инженерном деле результат s-моделирования объекта представлен s-моделью системы знаний, описывающей совокупность объектов, включающую изучаемый объект, и связи между ними. Описание s-модели представлено в форме сообщения, рассчитанного на распознавание и интерпретацию научным или инженерным сообществом. Значение результата зависит от предсказательной силы, воспроизводимости и применимости s-модели, а также от свойств сообщения, содержащего ее описание. С развитием s-моделирования связан рост продуктивности создания средств поддержки процессов познания, информационного взаимодействия и автоматизированного решения различных задач.

Многовековой процесс изобретения символов (жестовых, графических и др.) и построенных из них сообщений, представление и накопление символьных сообщений во внешней среде стал ключевым

средством формирования и развития разумного человека.

#### *С. Формирование языков сообщений на основе символов*

Создание звуковых, жестовых и других средств s-моделирования смыслов, вызванное потребностями сообщать об опасности, размещении объектов охоты и других объектах наблюдения, способствовало совершенствованию механизмов познания, взаимопонимания и обучения. Важным этапом в развитии s-моделирования стало формирование языков сообщений на основе звуковых и жестовых символов.

Важным событием в развитии s-моделирования стали *двумерные графические модели* (в виде рисунков) при уже освоенном изготовлении трехмерных (в виде лепных и резных фигурок). Особая роль принадлежит графическим моделям, обозначающим некоторые ситуации, свойства предметов и другие объекты, не имеющие видимых прообразов в окружающей среде.

Переход от примитивных рисунков с натуры к изображениям того, что выдает сознание, приблизил изобретение графических схем. Это повлияло на развитие *жесто-звуковых средств построения сообщений* и способствовало возникновению речи, ставшей важным средством создания и передачи сообщений. Стремление повысить эффективность пояснений, сопровождающих показ, приводило к совершенствованию понятийного аппарата и средств его речевого воплощения. На определенном этапе задумались об s-моделях, допускающих их хранение, копирование и передачу.

#### *Д. Символьные средства представления сущностей и развитие математики*

Потребность в количественных оценках при обмене (охотничьей добычей, плодами земледелия, орудиями охоты и труда, изделиями ремесленников и т.д.) привела к изобретению счета и соответствующих систем жестовых, а затем и графических символов. Сначала количественные оценки, видимо, выражались с помощью жестовых

символов (показом пальцев рук и др.). Когда жестовых символов стало не хватать, начали изобретать графические.

Формирование понятия *числа* и идея экономии символов привели к изобретению *систем счисления*. Одной из них (*двоичной*) суждено было сыграть ключевую роль в изобретении *цифровой программируемой машины* и *цифровом кодировании s-моделей*, реализуемых с помощью программируемых машин.

К первым *математическим символам* относят *цифры*, применявшиеся для записи *чисел*. Древние системы нумерации и счисления (вавилонская и египетская) были созданы за 2500–3000 лет до н. э. Первые математические символы для произвольных величин стали применять в 5–4 вв. до н. э. в Греции. Величины (площади, объемы, углы) изображались в виде отрезков, а произведение двух однородных величин – в виде прямоугольника, построенного из отрезков, соответствующих этим величинам.

Развитие алгебры стало возможным только после изобретения удобных символьных систем. В конце 15 века появились + и –. К середине 17 века оформилась символьная система алгебры: *текстовые символы* (буквы) стали употреблять не только для обозначения неизвестной величины, но и для всех других величин, входящих в задачу. *После этого в алгебре и арифметике появилась возможность формулирования общих правил и доказательств*. Принято считать, что записывать задачи в общем виде первым стал французский математик *Франсуа Виет* (1591).

*Использование символов сделало возможным изобретение языков формул*, во многом определивших бурное развитие математики (начиная с 17 века).  $\diamond$

#### *Е. Письменность: графическая модель речи*

Развитие s-моделей в виде графических схем и одновременное совершенствование речи привели к *графической модели речи*.

Была создана *письменность*, которая стала важным этапом в становлении s-моделирования и мощным инструментом развития интеллектуальной деятельности.

$\diamond$  Теперь описания объектов моделирования и связей между ними могли быть представлены композициями рисунков, схем и текстов.  $\diamond$

С созданием возможности фиксировать наблюдения, рассуждения и планы в виде *s-моделей сообщений*, которые можно хранить и передавать, актуальными стали задачи изобретения *носителей сообщений*, инструментов для рисования и письма, красящих средств и др. Это были первые задачи на пути построения *s-среды*.

#### *Ф. Схематические изображения: прародители чертежей и проектирования*

Важный этап в графическом моделировании связан с моделями схематических изображений – основы проектирования. Представление проектируемого трехмерного объекта в трех двумерных проекциях, на которых показаны размеры и наименования деталей, сыграло решающую роль в развитии инженерного дела.

### III. ПОСЛЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ S-МАШИН

После изобретения компьютера s-моделирование стало эффективным средством поддержки интеллектуальной деятельности в *s-среде*. Оно широко применяется для представления объектов, изучаемых в физике, химии, науках о Земле, робототехнике, медицине (° компьютерная томография °) и других областях интеллектуальной деятельности. Служит эффективным средством совершенствования сложных человеко-машинных систем в экономике, военном деле, государственном управлении и др. Способствует развитию систем автоматизированного проектирования (САПР), сокращает сроки изобретения и повышает качество новой техники и технологий.

◇ Цифровые 3D-модели физических объектов используются для послойного формирования моделируемых объектов с применением 3D-принтеров, обеспечивающих быстрое и малозатратное изготовление прототипов физических моделей и готовых объектов [° деталей и узлов машин, форм для литейного производства, строительных конструкций, имплантантов (° фрагментов костей, хрящевых тканей и др. °) и др. °]. Цифровые модели для 3D-печати могут быть созданы с помощью САПР, 3D-сканера или обычной цифровой камеры и фотограмметрического программного обеспечения. ◇

#### *А. Совершенствование средств автоматизированного построения s-моделей*

С ростом доступности компьютеров для пользователей из различных областей деятельности, начавшимся в 1970-х гг., наблюдается убывание доли математических задач, решаемых с помощью компьютеров (изначально созданных как средства автоматизации математических вычислений), и рост доли нематематических задач (коммуникационных, поисковых и др.). Когда во второй половине 1960-х гг. стали производиться компьютерные терминалы с экранами, начались разработки программ экранных редакторов, предназначенных для ввода, сохранения и коррекции текстовых файлов с отображением на экране. Одним из первых экранных редакторов стал O26, созданный в 1967 для операторов консоли компьютеров серии CDC 6000. В 1970 был разработан vi – стандартный экранный редактор для Unix и Linux.

Применение экранных редакторов не только увеличило производительность труда программистов, но и создало предпосылки для существенных перемен в инструментарии автоматизированного построения символьных моделей произвольных объектов.

° Использование экранных редакторов для формирования текстов различного назначения (° научных статей и книг,

учебных пособий и др. °) уже в 1970-е гг. позволило значительно увеличить производительность создания текстовых *информационных ресурсов*. °

В июне 1975 года Алан Кей (создатель языка Smalltalk и один из авторов идеи персонального компьютера) в статье [14] написал: «Представьте себя обладателем автономной машины знаний в портативном корпусе, имеющем размер и форму обычного блокнота. Как бы вы стали использовать ее, если бы ее сенсоры превосходили ваше зрение и слух, а память позволяла хранить и извлекать при необходимости тысячи страниц справочных материалов, стихов, писем, рецептов, а также рисунки, анимации, музыкальные произведения, графики, динамические модели и что-то еще, что вы хотели бы создать, запомнить и изменить?».

◇ Это высказывание отражало совершившийся к тому времени поворот в подходе к построению и применению программируемых машин: от средств автоматизации в основном математических вычислений к средствам решения задач из различных областей деятельности. ◇

В 1984 году компания «Kurzweil Music Systems», произвела первый в мире цифровой музыкальный синтезатор Kurzweil 250. ◇ Это была первая в мире s-машина, которая *жестовые символы*, вводимые с клавиатуры, преобразовывала в музыкальные звуки. ◇

#### *В. Построение человеко-машинной среды решения задач*

° Примерами результатов s-моделирования, сыгравших выдающуюся роль в методологическом обеспечении построения *человеко-машинной среды решения задач*, могут служить: модель фон Неймана (the von Neumann model) и архитектура фон Неймана (the von Neumann architecture)]; изобретенные создателем Веба Т. Бернерс-Ли протокол HTTP (англ. HyperText Transfer Protocol – протокол передачи *гипертекста*, являющийся протоколом прикладного уровня, определяющим правила передачи сообщений

в гипермедийных системах, и унифицированный идентификатор ресурса URI (Uniform Resource Identifier), ставший стандартом записи адреса ресурса, размещенного в сети *Интернет*. ◦

На основе s-моделей изобретенных объектов созданы электронная почта, Веб, поисковые системы IP-телефония, интернет вещей и другие интернет-сервисы; цифровая аудио-, фото- и видеозапись; САПРы, компьютерные тренажеры и роботы, системы цифровой связи, навигационные системы, 3D-принтеры и др.

В наши дни (2020-е годы) для решения задач в различных сферах деятельности успешно применяются M2M-технологии (англ. Machine-to-Machine, M2M), технологии облачных вычислений (англ. cloud computing) и электронных сервисов, Интернета вещей (англ. Internet of Things, IoT) и *цифровых двойников (digital twins)*.

Наиболее известным результатом применения *методологии S-моделирования* стала система автоматизированного конструирования программ на основе знаний о программируемых задачах, получившая название *системы порождения программ* [11, 15].

□ *Порождение* – процесс продуцирования целевых систем с заданными характеристиками на основе других систем, называемых *порождающими*. Искомая система получается как результат конструктивного доказательства ее существования, выполняемого порождающей системой. □

□ *Среда порождения* – s-среда поддержки процессов формирования и реализации замысла разработчиков целевых систем. Представляет собой совокупность взаимодействующих целевых систем, в которой уже появившиеся на свет системы помогают разработчикам порождать новые. □

◇ *Методология порождения программ* включает теоретические основы и метод порождения целевых систем, описание языков специфицирования и

программирования, ориентированных на порождение. ◇

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

S-моделирование, являясь средством описания смыслов, представленных системами понятий и знаний, не только сопровождает абстрактное мышление, но и служит инструментом его совершенствования.

Компактность и выразительность символьных моделей позволяют эффективно сочетать детализацию и обобщение в процессе рассуждений. S-модели изучаемых объектов – испытанный инструментальный механизм ассоциаций, от продуктивности которого зависят судьбы изобретений и научных открытий.

◇ S-модели сущностей служат основанием для изобретения искусственных вещей, расширяющих и совершенствующих естественные возможности людей. ◦ Современные рентгеновские аппараты, электронные микроскопы и радиотелескопы, авиалайнеры и космические корабли, радио- и тв-системы – примеры вещей, не имеющих аналогов в среде обитания человека. Системы энергоснабжения, связи и другие системы, отнесенные к жизнеобеспечивающим, не являются копиями вещей, существующих в среде обитания человека. ◦ ◇

Развитие s-среды и реализованных на ее основе приложений – магистральное направление в построении комплекса искусственных средств поддержки интеллектуальной деятельности.

Наращивание функционала, удобства и надежности специализированных сервисов s-среды – постоянно актуальная проблема развития цифровизации.

#### V. БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Ilyin V. D. Symbolic Modeling (S-Modeling): an Introduction to Theory. In: Silhavy, R. (eds) "Artificial Intelligence Trends in Systems". CSOC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. – Vol. 502. Springer, Cham., 2022. – P. 585–591.  
[2] Крючков А.В., Степин Ю.П. Концептуальные основы системы без программирования и ее возможное применение для импортозамещения в процессах разработки специального программного обеспечения АСУП // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2021. – № 9(578). – С. 60-68.

- [3] Гвоздева В.А. Интеллектуальные технологии в беспилотных системах. Сер. Высшее образование: Бакалавриат. Учебное пособие. М.: «Научно-издательский центр ИНФРА-М». – 2021. – 176 с. – ISBN: 978-5-16-016143-3.
- [4] Федоров А.А., Либерман И.В., Корягин С.И., Клачек П.М., Полупан К.Л. Основы создания нейро-цифровых экосистем. Гибридный вычислительный интеллект. Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта. – 2021. – 241 с. – ISBN:978-5-9971-0636-2.
- [5] Жирнов В.В., Солонская С.В. Метод преобразования символьных радарных отметок малозаметных подвижных объектов на основе эффекта Тальбота // Радиотехніка: Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2021. – Т. 2. – № 205. – С. 129–137. – DOI:10.30837/rt.2021.2.205.14.
- [6] Доренская Е.А., Куликовская А.А., Семёнов Ю.А. Язык описания проблемы и исследование его возможностей // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16. – № 3. – С. 653-663.
- [7] Вайнштейн Ю.В., Шершнева В.А. Адаптивное электронное обучение в современном образовании // Педагогика. – 2020. – № 5. – С. 48-57.
- [8] D.V. Shvalov, V.A. Kravchenko, Shirapov D. Sh. Automated Logic-Mathematical Modeling of Railway Automation Devices Technical Condition. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 1-4 Oct. 2019, Vladivostok, Russia. Publisher: IEEE. – 2019. – DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934943.
- [9] Бауэр В.П., Еремин В.В., Сильвестров С.Н., Смирнов В.В. Экономическое моделирование процессов цифровой трансформации // Журнал экономической теории. – 2019. – Т. 16. – № 3. – С. 428-443.
- [10] Kravchenko V.A., Shirapov D. Sh. Logic-Functional Modeling of Nonlinear Radio Engineering Systems. 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 3-4 Oct. 2018, Vladivostok, Russia. Publisher: IEEE. – 2018. – DOI:10.1109/FarEastCon.2018.8602769.
- [11] Ильин В.Д. Система порождения программ. М.: Наука. – 1989. – 264 с. – ISBN: 5-02-006578-1.
- [12] Ильин В.Д., Соколов И.А. Символьная модель системы знаний информатики в человеко-автоматной среде // Информатика и ее применения. – 2007. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 66-78.
- [13] Newell A., Simon H. Computer science as empirical inquiry: symbols and search // Commun. ACM. – 1976. – 19(3). – P. 113–126. – DOI: 10.1145/360018.360022.
- [14] Kay A. Personal Computing. Learning Research Group. – Xerox Palo Alto Research Center. – Palo Alto, California, USA. – June 12, 1975. [Электронный ресурс]. URL: <http://worrydream.com/refs/Kay%20-%20Personal%20Computing.pdf> (дата обращения: 14.11.2022).
- [15] Ilyin A.V., Ilyin V.D. Updated methodology for task knowledge based development of parallel programs. In: Silhavy, R., Silhavy, P., Prokopova, Z. (eds.) CoMeSySo 2021. – LNNS. – Vol. 231. – P. 319–328. Springer, Cham. – 2021. – DOI: 10.1007/978-3-030-90321-3\_25.

# Development of S-modeling and digitalization

Vladimir D. Ilyin

**Abstract** – The review presents the relationship between the development of S-modeling (symbolic modeling of arbitrary objects in a human-machine environment) and digitalization (improvement of various types of activities based on information technology). In S-modeling, systems of symbols and corresponding systems of codes and signals, languages of S-modeling, methods of constructing, preserving, accumulating, searching and transmitting s-models of natural and inventive objects are studied [using computers, smartphones, and other programmable machines (called s-machines)]. The S-model of a natural or inventive object is considered as a mapping into a symbolic-code-signal environment, performed under constraints corresponding to the task for which the s-model is being built. S-modeling is used in science, engineering and other types of intellectual activity to build s-models of messages, interpret messages on s-models of concept systems, create network protocols and information resources, programming machine behavior, design, information interaction, training, etc. Computer programs, musical compositions, and other symbolic implementations of various designs can serve as examples of s-models.

**Keywords** – S-modeling, symbolic modeling, symbols, codes, signals, s-machine, s-environment, intellectual activity, digitalization.

## REFERENCES

- [1] Ilyin, V.D. 2022. Symbolic Modeling (S-Modeling): an Introduction to Theory. In: Silhavy, R. (eds) "Artificial Intelligence Trends in Systems". CSOC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham. 502, 585–591. DOI: 10.1007/978-3-031-09076-9\_54.
- [2] Kryuchkov, A.V. & Stepin, Yu.P. 2021. Kontseptual'nyye osnovy sistemy bez programmirovaniya i eye vozmozhnoye primeneniye dlya importozameshcheniya v protsessakh razrabotki spetsial'nogo programmnogo obespecheniya ASUP [The conceptual foundations of the system without programming and its possible application for import substitution in the development of special software ASUP]. Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti [Automation, telemekhanization and communication in the oil industry], 9(578), 60-68.
- [3] Gvozdeva, V.A. 2021. Intel'ktual'nyye tekhnologii v bespilotnykh sistemakh. Ser. Vyssheye obrazovaniye: Bakalavriat. Uchebnoye posobiye [Intelligent technologies in unmanned systems. Ser. Higher education: Bachelor's degree. Study guide]. Moscow: Nauchno-izdatel'skiy tsentr INFRA-M [INFRA-M Scientific Publishing Center], 176 p. ISBN: 978-5-16-016143-3.
- [4] Fedorov, A.A., Liberman, I.V. et al. 2021. Osnovy sozdaniya neyrotsifrovyykh ekosistem. Gibriddnyy vychislitel'nyy intellekt [Fundamentals of creating neuro-digital ecosystems. Hybrid computational intelligence]. Kaliningrad: Baltiyskiy federal'nyy universitet im. Immanuila Kanta [Immanuel Kant Baltic Federal University], 241 p. ISBN: 978-5-9971-0636-2.
- [5] Zhirmov, V.V., Solonskaya, S.V. 2021. Metod preobrazovaniya simvol'nykh radarnykh otmetok malozametnykh podvizhnykh ob'yektov na osnove effekta Tal'bota [The method for converting symbolic radar markings of inconspicuous moving objects based on the Talbot effect]. Radiotekhnika: Vseukraïns'kiy mizhvidomchiy naukovo-tekhnichniy zbirnik [Radio engineering: All-Ukrainian interdepartmental scientific and technical collection], 2(205), 129–137. DOI: 10.30837/rt.2021.2.205.14.
- [6] Dorenskaya, E.A., Kulikovskaya, A.A., Semënov, Yu.A. 2020. Yazyk opisaniya problemy i issledovaniye ego vozmozhnostey [The language of the problem description and the study of its possibilities]. Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye [Modern information technologies and IT education], 16(3), 653-663.
- [7] Weinstein, Yu.V., Shershneva, V.A. 2020. Adaptivnoye elektronnoye obucheniye v sovremennom obrazovanii [Adaptive e-learning in modern education]. Pedagogika [Pedagogy], 5, 48-57.
- [8] Shvalov, D.V., Kravchenko, V.A., Shirapov, D.Sh. 2019. Automated Logic-Mathematical Modeling of Railway Automation Devices Technical Condition. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 1-4 Oct. 2019, Vladivostok, Russia. Publisher: IEEE. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934943.
- [9] Bauer, V.P., Eremin, V.V., Sil'vestrov, S.N., Smirnov, V.V. 2019. Ekonomicheskoye modelirovaniye protsessov tsifrovoy transformatsii [Economic modeling of digital transformation processes]. Zhurnal ekonomicheskoy teorii [Journal of Economic Theory], 16(3), 428-443.
- [10] Kravchenko, V.A., Shirapov, D.Sh. 2018. Logic-Functional Modeling of Nonlinear Radio Engineering Systems. 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 3-4 Oct. 2018, Vladivostok, Russia. Publisher: IEEE. DOI:10.1109/FarEastCon.2018.8602769.
- [11] Ilyin, V.D. 1989. Sistema porozhdeniya programm [Program generating system]. Moscow: Nauka. 264 p. ISBN: 5-02-006578-1.
- [12] Ilyin, V.D., Sokolov, I.A. 2007. Simvol'naya model' sistemy znaniy informatiki v cheloveko-avtomatnoy srede [The symbolic model of the informatics knowledge system in a human-automaton environment]. Informatika i eye primeneniya [Informatics and Applications], 1(1), 66-78.
- [13] Newell, A., Simon, H. 1976. Computer science as empirical inquiry: symbols and search. Commun. ACM, 19(3), 113–126. DOI: 10.1145/360018.360022.
- [14] Kay, A. 1975. Personal Computing. Palo Alto, California, USA: Learning Research Group. Xerox Palo Alto Research Center. Available at: <http://worrydream.com/refs/Kay%20-%20Personal%20Computing.pdf> (accessed November 14, 2022).
- [15] Ilyin, A.V., Ilyin, V.D. 2021. Updated methodology for task knowledge based development of parallel programs. In: Silhavy, R., Silhavy, P., Prokopova, Z. (eds.) CoMeSySo 2021. LNNS, 231, 319–328. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-90321-3\_25.

**V.D. Ilyin.** Doctor of Science in technology, Professor, Federal Research Center «Computer Science and Control» of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia, e-mail: vdilyin@yandex.ru.