

# Метамоделирование цифровых двойников

А.И. Разумовский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Москва ул. Профсоюзная, 65, 117997, Россия*

## Аннотация

В докладе представлен метод разработки цифровых двойников (ЦД) посредством создания особых когнитивных оболочек-метамоделей, позволяющих осуществлять создание, исправление, масштабирование и внедрение произвольной сложности ЦД производств и их продуктов. Метод когнитивного метамоделирования ЦД позволит интегрировать основные свойства программного обеспечения ЦД: 3D-моделирование, учет функционирования и динамики изменений, управление конфигурациями ЦД, мониторинг коммуникационных отношений, расчет массовых и инерционных характеристик, хранение и визуализации хроник всех оперативных и динамических мероприятий. Такой подход позволит добавить гибкости в цепочке взаимодействия: человек- ЦД- коммуникационный канал- физический объект, что в свою очередь исключит разрыв между этапами разработки и внедрения, а также масштабирования проекта. Использование метамоделей способно сблизить по времени и местоположению всех участвующих в разработке и эксплуатации сторон.

## Ключевые слова

Цифровой двойник; метамоделирование; визуализация данных; 3D-модели; обмен информацией; перманентное внедрение.

# Digital Twin Metamodeling

A.I. Razumowsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya street, Moscow 117997, Russia*

## Abstract

The paper presents a method of developing digital twins (DTs) by creating special cognitive shell-metamodels that allow the creation, correction, scaling and implementation of arbitrary complexity of DTs of productions and their products. The method of cognitive matamodeling of DTs will allow to integrate the main properties of the software of DTs: 3D-modeling, accounting of functioning and dynamics of changes, management of configurations of DTs, monitoring of communication relations, calculation of mass and inertial characteristics, storage and visualization of chronicles of all operational and dynamic activities. This approach will add flexibility to the chain of interaction: human- DTs- communication channel- physical object, which in turn will eliminate the gap between the stages of development and implementation, as well as the scaling of the project. The use of metamodels can bring all parties involved in development and operation closer together in terms of time and location.

## Keywords

Digital twin; metamodeling; data visualization; 3D models; information sharing; permanent implementation.

---

*ГрафиКон 2023: 33-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-21 сентября 2023 г., Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия*

EMAIL: razumowsky@yandex.ru (А.И.Разумовский)

ORCID: 0000-0003-1769-0178 (А.И.Разумовский)



© 2023 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

## 1. Введение

В сегодняшней научно производственной деятельности чрезвычайно актуален статус перманентного соотношения физической модели и ее виртуальной цифровой формы. Цифровой двойник (ЦД) рассматривается как виртуальный аналог физических объектов, который может отражать их физическое поведение, производительность и интеграцию. Концептуально базисным звеном ЦД является коммуникация между физическим объектом и его цифровым отображением, позволяющая осуществлять совершенствование физического объекта. Для разработки программной системы взаимодействия виртуальных и физических объектов важно создание особого пространства такого взаимодействия, в котором будут присутствовать не сами модели физического мира, а их подоплека, выражаемая значимостью и ценностной политикой и эволюцией. Такое пространство правильно было бы обозначить как мета-среда, а сами модели — метамоделями.

Целью программной системы стало бы достижение максимально гибкого и отзывчивого соотношения виртуальных и физических объектов, с отчетливым и адекватным отображением всех насущных свойств, прогнозов и реакций.

Метамодель — это возможность соотношения не только физического с цифровым виртуальным миром, но и структурного аспекта развития и функционирования модели с ее когнитивной поддержкой, когда окажется удобно осуществлять «подсказку» автоматизированному процессу или непосредственно влиять на совершенствование физического объекта.

История появления ЦД ведется с 2010 года, когда НАСА сделала попытку улучшить моделирование космических аппаратов [1]. Потребность интеграции человеческого суждения в формальный процесс моделирования была описана впервые в работе Джозефа Фикселя на основе теории нечетких множеств [2]. Объединяя эти два аспекта, открывается перспектива формирования и поддержки коммуникации физического воплощения с его цифровой формой при непосредственном участии и контроле со стороны человеческого знания, опыта и ответственности [3].

Далее планируется рассмотреть эти два аспекта последовательно. Как исходное положение примем, что разработка программной системы метамоделирования (ПСМ) ЦД должна базироваться на принципе гибкости взаимоотношений между моделями, физическими объектами, коммуникативными процессами и человеческим участием. Поскольку сами модели могут быть различной степени сложности, многообразного взаимодействия, возможностей дополнения и встраивания, для достижения гибкости важно интегрировать в метамодель элемент «посредник» для предотвращения прямого доступа к моделям, а также возможно некоторым элементам программной системы. Кроме того, с помощью «посредника» можно будет варьировать учет различных аспектов соединения и динамики моделей и процессов: слияние данных, использование разнообразных мониторинговых подсистем и сред интерпретации.

## 2. Метод

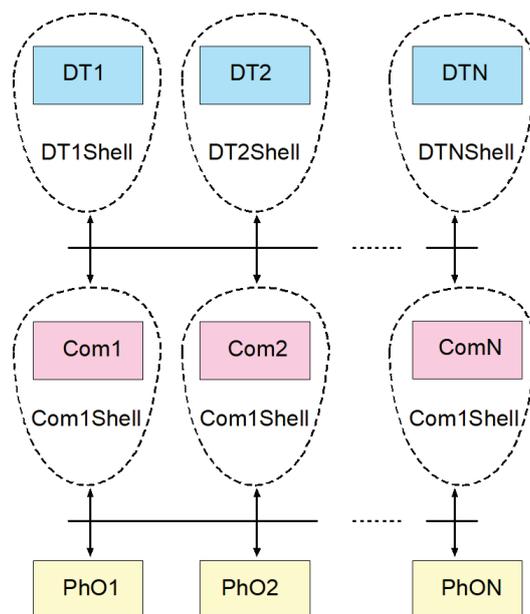
Поставленная перед ПСМ ЦД задача содержательно состоит в обеспечении последовательного создания, поддержки и развития ЦД объектов производств, включая их процессы и продукты. В русле решения этой задачи, важно осознание того факта, что результат обязан приобрести гибкую форму взаимодействия как ЦД с физическим объектом, так и между моделями и интерфейсами системы.

Структурное содержание системы должно охватывать:

- состав и конфигурации всех создаваемых моделей;
- состав режимов функционирования моделей, а также иных динамических операций;
- информацию по фактической динамике моделей, включая циклограммы и контактные функции;
- данные о массовых и геометрических характеристиках моделей;

- информацию мониторинга динамики моделей, в том числе измерения с датчиков температуры и тензодатчиков;
- хронику всех планируемых и выполненных операций в ходе разработки и эксплуатации моделей.

Предположим, как это свойственно составным частям многих механизмов, что в составе информационной модели системы метамоделирования ЦД имеется дополнительная прослойка между содержательной частью ЦД, а также коммуникационным каналом и их интерфейсами. Придадим этому элементу статус посредника, изобразив его в виде оболочки любого носителя информации (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Информационная модель ЦД с метамоделями-посредниками

Рисунок 1 показывает распространение данных от ЦД DT(1...N) к физическому образцу РНО(1...N) и обратно. Здесь прохождение любой информации обеспечивается коммуникационными каналами Comm(1...N) и накоплением знаний о физическом объекте в ЦД либо формированием изменений физического объекта.

Особенностью представленной модели является не нарушение киберфизического обмена данными между ЦД и его физическим образцом, но формирование оболочек вокруг ЦД и коммуникационных каналов, позволяющих обуславливать их текущее и будущее представление и поведение, а, следовательно, и гибкость в разработке и эксплуатации. Иначе говоря, ЦД оказывается в своего рода «скорлупе», которая скрывает процесс его когнитивного «вызревания» или коррекции.

Оболочка-скорлупа в совокупности с внутренним ЦД или коммуникационным интерфейсом представляет собой метамодель. В функциональность оболочки метамодели включается создание описания ЦД или коммуникации. Описание может быть выполнено на полупормальном языке, выражая содержательную и значимую часть ЦД, а также его взаимодействия с прочими элементами окружающего контекста. Описания делаются подобно записям при каталогизации в библиотечных технологиях, например [4]. Отличают же описательную оболочку метамодели ЦД от практики библиотечной каталогизации наличие нестандартных, произвольных формулировок. Это не позволяет делать такие описания оптимальными и, соответственно, автоматизировать их. Однако в произвольной форме описаний кроется значительный плюс выразительности, конкретности и независимости от объекта описания. Описания могут содержать как непосредственную информацию о ЦД или его деталях, так и сопроводительные контексты, пожелания, списки недостатков и особенностей. Важно отметить, что описание является не физической или информационной оболочкой ЦД или коммуникационного канала, но выполняет виртуальную роль «сотрудничества» ЦД с человеком, его опытом, идеями и целеустремленностью.

Явное участие возможностей человека в придании ЦД и коммуникационным интерфейсам когнитивной мощи, способствует преодолению существенных барьеров на путях раннего внедрения ЦД, а также масштабирования программной системы их метамоделирования.

### 3. Масштабирование и перманентное внедрение

Организационное внедрение, как и масштабирование относят к наиболее стратегически значимым процессам [5] в плане разработки и развертывания современных технологических систем производств. Любая производственная система, процесс или механизм требует человеческого вмешательства. Более того, такое вмешательство порой требуется незамедлительно, а значит необходимо создать условия готовности вмешательства. Процессы внедрения и масштабирования относят к задачам непростой организации и поддержки [6].

Исходя из описания ЦД или коммуникационного канала, которое может содержать в общем случае информацию любого вида, имеется возможность соотнесения описания и непосредственной реализации, либо внесения исправления. Кроме этого, поскольку собственно реализация с процедурами апробации связана с оболочкой только декларативно, то станет уместно создавать автономные тестовые модели для отладки и проверки вне ЦД. Затем при успешном результате эти модели встраиваются в ЦД, как их составная часть. Такой подход позволит осуществить масштабирование посредством последовательного наращивания функционала ЦД. Это также предоставит возможность проводить проверки пригодности и работоспособности отдельных элементов вне ЦД. Таким образом, появляется возможность проведения перманентного внедрения ЦД на ранних стадиях его создания.

### 4. Выводы

Идея метамоделирования посредством отстранения описания модели от ее непосредственного содержания является весьма продуктивной из-за возникающей гибкости в цепочке взаимодействия: человек/ ЦД/ коммуникационный канал/ физический объект. Как это может показаться ни парадоксально в этом ряду взаимозависимости человек играет по-прежнему решающую роль, которую в сегодняшних технологических решениях пытаются возложить на алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения. Когнитивные вмешательства тем критически важны, что их содержание не базируется на жестких формальных отношениях, и следовательно не подлежат технологической регламентации. Напротив, их творческое наполнение представляет реальную, а не мнимую, мощь в разработке скрупулезных, комплексных решений, подлежащих не столько целям оптимизации, сколько обеспечению ответственного порядка.

Развивая идею когнитивной оболочки, содержащей разнообразное описание ЦД, следует также рассмотреть вопрос организации оперативной группы вмешательства в процессы функционирования ЦД в виде создания своего рода компактной лаборатории, состоящей из специалистов разнообразного профиля знаний. В ней откроются двери возможностей «выращивания», тестирования, масштабирования, внедрения и развития ЦД по любой внезапной потребности. Придавая этой идее заверченный вид, правомерно было бы назвать ее — лабораторной оболочкой ЦД. Среди ее задач, в социуме сотрудничающих специалистов окажется возможным на месте разрабатывать, перманентно внедрять и эксплуатировать предельно сложные комплексы ЦД, согласовано осуществляя это одновременно и контролируемо.

### 5. Благодарности

Хочу выразить огромную благодарность Алексею Вячеславовичу Толоку за ценные замечания и советы, а также общую всецелую поддержку настоящего исследования.

## 6. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA (p. 1818).
- [2] Fiksel, J. (1980). Computerizing the crystal ball: Toward a metamodeling capability. *Technological Forecasting and Social Change*, 17(3), 201-210.
- [3] Zhou, G., Zhang, C., Li, Z., Ding, K., & Wang, C. (2020). Knowledge-driven digital twin manufacturing cell towards intelligent manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(4), 1034-1051.
- [4] Connaway, L. S., & Dickey, T. J. (2011). Publisher names in bibliographic data. *Library Resources & Technical Services*, 55(4), 182-194.
- [5] Amit, R., & Schoemaker, P. J. (1993). Strategic assets and organizational rent. *Strategic management journal*, 14(1), 33-46.
- [6] Bakulina, O., Lehan, I., & Bakhov, I. (2019). Cluster associations as a factor of innovative and integrative development of the economy. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 2249-2255.