

# Применение концептуальных графов в частных задачах представления знаний при моделировании цифровых производств

С. В. Власенко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

**Abstract.** In this article there is considered particular tasks of digital manufacturing models' designing, related with the using of knowledge models, describing different designed objects (technological processes, information flows, automation equipment and software, cyber-physical systems, digital twins, etc). It is also suggested the approach to the representation of appropriate knowledges, based on the use of conceptual graphs' theory.

**Keywords:** intelligence systems; knowledge models; digital manufacturing; Industry 4.0; Internet of Things (IoT); Industrial Internet of Things (IIoT); conceptual graphs

Формирование и реализация концепций построения цифровой экономики и Industry 4.0 в последние годы является в РФ одним из весьма значимых и перспективных направлений технологического развития, которое охватывает самые различные предметные области и определяет появление целого ряда актуальных научно-технических задач теоретического и прикладного характера. В рамках данного направления заметное место занимает и проблематика цифровых производств, которые получают все большее распространение во многих отраслях промышленности. Расширение сферы приложения разработок соответствующего функционального назначения выдвигает на передний план, помимо прочих, и комплексную проблему получения и развития технических решений, обладающих высоким уровнем универсальности и «потенциалом роста», позволяющими эффективно использовать данные решения для широкого класса эксплуатационных задач, проблемных областей, категорий потребителей, уровней организации управления (корпоративного, отраслевого, регионального и др.) и т.д. Сказанное, безусловно, относится и к платформам цифрового производства, являющимся технологическим базисом промышленных систем нового поколения.

Архитектура и функциональность подобных платформ, как и само понятие «платформы цифрового производства», определяются и трактуются в различных источниках по-разному. Существенно отличаются по своим характеристикам и наиболее известные решения ведущих компаний-производителей (IBM, Microsoft, GE, Amazon, SAP, Oracle, Siemens, PTC и многих др.), декларируемые как системы рассматриваемого класса [1, 2]. В

значительном объеме публикаций платформы цифрового производства практически отождествляются с развитыми IoT- или IIoT-платформами (общее количество подобных платформ, известных из открытых источников, по оценкам специалистов IoT Analytics превысило к концу 2017 г. число 450), имеющими функциональность AEP (Application Enablement Platform – платформа обеспечения работы приложений) и ADP (Application Development Platform – платформа разработки приложений). Учитывая некоторую «размытость» содержания понятий AEP и ADP, которые в явной форме не определяют какой-либо специфики промышленных приложений (фактура модельного базиса, обеспечение взаимодействия со специализированными приложениями инженерно-технического и конструкторского проектирования, а также с системами промышленной автоматизации различных классов и уровней управления (SCADA, MES, EAM, DCS и т.п.), работа с киберфизическими объектами и системами, цифровыми двойниками и многое другое) точное совмещение понятий IoT/IIoT-платформы и платформы цифрового производства представляется не вполне обоснованным. В связи с этим, в контексте настоящей статьи под термином «платформа цифрового производства» (далее DMP – Digital Manufacturing Platform) будем понимать более широкое понятие, которое предполагает наличие в платформе определенных механизмов «промышленной специализации», позволяющих решать на базе DMP весь спектр задач, связанных с проектированием и функционированием гипотетического цифрового промышленного предприятия. Кроме того, представляется, что неотъемлемым элементом перспективных DMP должно являться интеллектуальное ядро платформы, содержащее комплексные модели знаний о предметной области (производстве) и о самой DMP, средства формирования и целевой обработки указанных моделей знаний, а также соответствующие средства интеграции ядра с внешним окружением.

При этом следует отметить, что рассматриваемое интеллектуальное ядро представляется одним из наиболее важных ресурсов, участвующих в решении комплексной задачи повышения уровня универсальности и потенциала функционального развития DMP.

Для перспективных DMP, вероятно, можно определить следующие характерные требования к их интеллектуальному ядру:

1. поддержка построения и использования комплексных моделей знаний о цифровом производстве с целью обеспечения работы интеллектуальных компонентов платформы, способных решать следующие задачи:

- применение (в процессах проектирования, анализа, моделирования, исполнения и др.) абстрактных понятийных моделей (объектов, систем, процессов и т.д.), на базе которых может осуществляться:
  - реализация единой логики взаимодействия компонентов платформы;
  - интеграция цифровых моделей различного профиля (в том числе – в процессах конструирования моделей по принципу «plug and play»);
  - интеллектуальный выбор (или формирование сценариев получения) решений различных задач на основании знаний о предметной области (структуры технологических процессов, объектов, производств, классы задач и т.п.) и внутренней организации платформы (функциональные компоненты, информационные потоки, модельный базис, приложения и т.п.);
  - поиск, накопление, систематизация и консолидация данных и знаний о цифровом производстве, используемых при решении задач анализа (включая Data Mining), прогнозирования, выработки рекомендаций, предиктивного и ситуационного управления, обучения и т.п.;
- оптимизация и реконфигурация платформы в соответствии со знаниями о спектре решаемых задач, состоянии инфраструктуры платформы и т.д.;
- поддержка разработки приложений различного функционального назначения, ориентированных на работу с платформой;
- поддержка создания, обработки и сопровождения самих моделей знаний о цифровом производстве (включая их динамическую актуализацию);

2. поддержка интеграции в состав базовых средств платформы (или взаимодействующих с DMP внешних приложений) интеллектуальных систем (компонентов) различного назначения на разных уровнях логической структуры цифрового производства, включая:

- экспертные системы (ЭС) (в том числе ЭС реального времени – ЭСПВ) для решения задач управления, диагностики, анализа данных (Data Mining), планирования и др. (включая уровни микро-ЭСРВ умного оборудования, ЭС в структуре систем автоматизации, ЭС интеллектуальных систем управления киберфизическими объектами и т.д., вплоть до ЭС уровня корпоративных бизнес-процессов);

- интеллектуальные системы поддержки принятия решений и оперативно-советующие системы;
- интеллектуальные САПР и системы имитационного моделирования;
- инструментальные средства (включая интегрированные среды) поддержки синтеза и эксплуатации интеллектуальных компонентов платформы (включая средства приобретения и представления знаний, самообучения, визуализации знаний, системы языков инженерии знаний и т.п.);
- корпоративные хранилища знаний;
- другие классы интеллектуальных систем (и средств поддержки работы с ними), определяемые спецификой задач конкретного цифрового производства.

Отдельной проблемой на пути решения задач синтеза интеллектуального ядра перспективной DMP, отвечающей перечисленным выше требованиям, является проблема поиска оптимального базового класса моделей знаний, принимаемого за основу в рамках платформы, а также выбора соответствующих выразительных средств, позволяющих оперировать с этим классом моделей.

В настоящее время на кафедре автоматики и процессов управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ» разрабатывается подход к построению интеллектуальных надстроек над IoT-платформами (с их интеграцией в единые DMP), основанный на использовании теории концептуальных графов (КГ) [3, 4]. В рамках данного подхода КГ выступают в качестве структурной основы моделей знаний произвольного назначения, а стандартизированные текстовые (CGIF, CLIF) и графические (DF – Display Form) нотации КГ – в качестве базового языка описания понятийных моделей различного функционального профиля. Машина интерпретации КГ при этом выступает и как элемент управления пространством знаний, данных и моделей, и как элемент процедурной части DMP, формирующий и обслуживающий сценарии выполнения системных операций платформы, а также исполняющий модели, построенные на основе КГ.

Выбор КГ в качестве основы построения и обработки модельного базиса DMP объясняется следующими причинами.

1. КГ являются универсальным средством представления моделей знаний и данных произвольной структуры и назначения, оставаясь при этом строго формальным аппаратом, описанным в стандартах ISO/IEC (ISO/IEC 14481:1998 и ISO/IEC 24707:2007).

2. КГ позволяют отображать и обрабатывать как декларативные, так и процедурные знания на базе единой структурной формы представления и единых нотаций (языки CGIF, CLIF и др.).

3. КГ-описания имеют строгую логическую интерпретацию, определенную в так называемой общей логике (Common Logic, стандарт ISO/IEC 24707:2007), что

позволяет строить полностью формальные машины «исполнения» КГ.

4. Механизмы построения концептов в КГ (где любой узел-концепт может представлять собой самостоятельный КГ) позволяют формировать произвольные агрегаты из субъектов модели (любые виды контейнеров, сетевые и иерархические структуры, множества, последовательности и т.д.), а также композиции отдельных моделей, причем сказанное относится и к возможностям образования типов объектов и концептуальных отношений в графе (т.к. пространство типов также представляется в виде КГ, позволяющих задавать произвольные семантические связи между типами – агрегирование, наследование, иерархии, абстракции, ассоциации, рекурсивные определения и т.п.).

5. В КГ непосредственно отображаются контекстно-зависимые и ассоциативные связи между субъектами модели (или их типами), что позволяет гибко оперировать структурными элементами моделей при обработке единого модельного базиса.

6. Имеются стандартизированные формы текстового (базовые – CGIF и CLIF) и графического (DF), а также XML-производного (XCL) описания КГ (последнее особенно важно в условиях Internet-ориентированной обработки КГ-моделей в составе DMP). Кроме того, в стандартах КГ регламентируется и единая форма представления баз знаний произвольной внутренней организации.

7. Имеется достаточно широкий парк распространенных инструментальных средств различного назначения для работы с аппаратом КГ (Amine, CharGer, Corese, CPE, Cogitant, Notio, CARE и др.) [5].

Перечисленные выше соображения полностью проецируются на приведенный ранее перечень основных требований к интеллектуальному ядру перспективных DMP.

Основными задачами текущего этапа развития рассматриваемого в данной статье подхода являются: 1) разработка гибкого механизма связывания КГ-моделей с API IoT-платформ; 2) разработка машины исполнения (в среде DMP) связанных на базе КГ моделей процедурного типа (с учетом возможности организации распределенных процессов обработки данных и знаний); 3) разработка эффективных механизмов трансляции, хранения, обработки и передачи КГ-моделей на базе XML-производных форматов представления данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Pethuru Raj, Anupama C. Raman. The Internet of Things: Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases. Auerbach Publications, Boca Raton, FL, USA, 2017. 364 p.
- [2] Al Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aldehari M., Ayyash M., "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Volume 17, Issue 4, 2015.
- [3] John F. Sowa, Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA USA, 2000. 594 p.
- [4] Michel Chein, Marie-Laure Mugnier: Graph-based Knowledge Representation - Computational Foundations of Conceptual Graphs. Advanced Information and Knowledge Processing, Springer 2009, ISBN 978-1-84800-285-2, pp. 1-427
- [5] Использование аппарата концептуальных графов в задачах представления и обработки знаний: учеб. пособие / С.В. Власенко, Д.А. Варчев. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ". СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2009. 64 с.