

of the corrective coding algorithm in a polynomial system of residue classes with one control base and the decomposition of the problem of its hardware implementation are considered, the first stage of which is the development of a structural model of the device different from the classical implementation of the SubBytes procedure. Based on the requirements for the developed structural model, its main logical elements are determined (a block for converting numbers from a positional number system to a polynomial system of residue classes, replacement blocks, an error detection block, an error correction block), the order of their interaction, the number and format of input and output values. The examples show the principle of operation of the proposed device.

Keywords: SPN systems, AES, SubBytes, reliability, corrective coding, polynomial system of residue classes, modular arithmetic.

Поступила в редакцию/received: 21.07.2023; после рецензирования/revised: 10.08.2023;
принята/accepted: 30.08.2023

УДК 681.51

К ПРОБЛЕМЕ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.В. ПОЛЕТАЕВА, канд. техн. наук, И.В. ГОРЛОВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: epolet2010@mail.ru

© Полетаева Е.В., Горлов И.В., 2023

Рассмотрены вопросы, связанные с формализацией знаний предметной области машиностроения. Особое внимание уделено понятию «свойство», определяющему место термина в терминологической системе и являющемуся основой для проведения оптимизационных расчетов на разных этапах проектирования. Предложен метод структурирования знаний для представления вещественных объектов, процессов, концептуальных объектов и их свойств в рамках терминологической системы предметной области машиностроения. Отмечено, что данный метод позволяет создать основу как для решения инженерных задач, так и для согласования уже существующих моделей знаний, реализуемых в автоматизированных системах на разных этапах проектирования с целью интеграции всех этапов машиностроительного производства.

Ключевые слова: машиностроение, автоматизация проектирования, технологическая подготовка производства, онтология, структурное моделирование, терминологическая система, ИПИ-технологии, базы знаний.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-69-76

ВВЕДЕНИЕ

При создании ИПИ-технологий (информационная поддержка жизненного цикла производства – русскоязычный аналог CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support)) [1] основным предметом исследования является производство машин, причем в первую очередь организационные процессы, протекающие в машиностроительном производстве. ИПИ-технологии предполагают единое информационное научно-техническое пространство в виде национальных и транснациональных систем научно-технической информации. Базируются ИПИ-технологии на автоматизированной информационной системе, ядром которой является знаковая система. Общность знаков заключается в принципах их организации, а базовая ячейка этих принципов в языке – высказывание [2]. Как правило, в информационных системах, основанных на знаниях, используют простые атрибутивные категорические высказывания (суждения), которые могут принимать значения *истина* или *ложь*, что успешно используется при получении новых знаний из знаний, хранящихся в системе. Простое атрибутивное категорическое суждение с точки зрения математической формальной логики включает в себя четыре компонента: *квантор*, *субъект*, *предикат* и *связку* [3]. Основу структуры такого суждения составляют *субъект* и *предикат*, так как *субъект* – термин, обозначающий предмет или множество предметов, являющих собой объект рассмотрения, а *предикат* – термин, характеризующий субъект (свойство, признак). С точки зрения семиотики (как наиболее структурированной части информационной сферы) высказывание отражает явления в социуме и на производстве. Машиностроительное производство представляет собой сложную большую социотехническую систему, поэтому процессы, протекающие в ней и связанные с организацией и самоорганизацией, выступают предметом исследования синергетики [2].

Сложилось так, что система автоматизированного проектирования и автоматизированная система управления создавались как автономные, не ориентированные на взаимодействие друг с другом, поэтому форматы представления данных в разных программах и системах не были согласованы. При росте сложности систем отсутствие согласованности подсистем проявляется особенно сильно, в связи с чем возникает необходимость в создании единого информационного пространства управления, проектирования и производства изделий машиностроения.

Для обеспечения взаимосвязи различных подсистем в рамках единой интегрированной системы разработан язык Express, созданный в целях формализации данных прикладных задач. В языке используется единая модель или прикладной протокол, реализуемый в стандарте STEP, который призван обеспечить унификацию в информационном пространстве, понимаемую как однозначная и правильная интерпретация данных об изделии на всех этапах его жизненного цикла. В модели присутствуют сущности (предметы), атрибуты (свойства) и отношения, являющиеся основой для единого электронного описания изделия в CALS-пространстве [4]. При этом используются простейшие методы перекодировки обменных файлов в смежных системах, разработанных на основе различных методов.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОНЯТИЯ «СВОЙСТВО» В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Семиотика, будучи инструментом метанауки, изучает предметы и свойства предметов в их функции служить знаками. Семиотика создает язык, применимый к языку науки и к особым знакам, которые используются в науке. В семиотике *десигнат*

знака – это множество объектов, обладающих определенными свойствами, которые интерпретатор учитывает благодаря наличию знакового средства. Десигнатами индексальных знаков являются предметы, десигнатами одноместных характеризующих знаков – свойства, десигнатами двух и более характеризующих знаков – отношения.

Логическая онтология включает две категории существующего: предметы и свойства (отношения), позволяющие использовать дедуктивные и индуктивные умозаключения, на которых базируется формальная логика.

Если объект сложный или концептуальный, то и его свойства зависят от свойств элементов, составляющих систему. При этом они могут быть аддитивными или синергетическими [5]. Аддитивные свойства соответствуют количественной составляющей свойства, которая позволяет получить количественную характеристику сложного объекта путем сложения одноименных количественных характеристик, его составляющих. Синергетическое свойство также соответствует количественной составляющей свойства. Оно может характеризовать некоторый вещественный или системный объект и будет определяться в первом случае несколькими параметрами простого объекта, во втором – количественными свойствами разных элементов, образующих сложный системный объект. При этом проблемы описания сложных объектов решаются с помощью аппарата полихроматических множеств, которые позволяют описать как состав элементов сложных объектов, так и состав свойств сложных объектов, порождаемых свойствами их элементов. Унификация средств обеспечивается за счет того, что в полихроматическом множестве могут содержаться и аддитивные, и синергетические цвета-свойства.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ «СВОЙСТВО» ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТЕРМОСИСТЕМЫ

В логике научные термины, обозначающие понятия, связываются с другими терминами, такими как *род – вид*. При этом видовые отличия представляют собой систему признаков, т.е. качества и свойства, являющиеся доминирующими в знаковой системе. Понятие – это система отношений, структура признаков. Между терминами, обозначающими соответствующие понятия, устанавливается соотношение по объемам в зависимости от их содержания, раскрывающегося в определении. Из вышеизложенного следует, что свойство – понятие сложное, включающее структурную и количественную составляющие. Структурная составляющая выявляет качество предмета, определяющее его место по отношению к другим предметам. С одной стороны, при таксономическом делении понятия по одному основанию образуются видовые понятия, наследующие все свойства родового понятия, с другой – это же понятие само может быть видовым по отношению к более общему понятию, наследуя все свойства родового. Если же родовое понятие – элемент некоторого системного объекта, являющегося концептуальным, то его видовое понятие также выступает элементом концептуального объекта, являющегося его видом. Количественная составляющая позволяет проводить логические операции упорядочения, сравнения и выбора предметов, имеющих одинаковую структурную составляющую.

Множество всех терминов, используемых в области технологии машиностроения, по семантическим признакам можно разделить на три непересекающихся подмножества: вещественных объектов, процессов и свойств. Введены следующие обозначения:

T – множество всех терминов технологии машиностроения;

t – термин; $\forall t (t \in T)$;
 T_v – подмножество терминов вещественных объектов;
 t_v – термин вещественного объекта; $\forall t_v (t_v \in T_v)$;
 T_p – подмножество терминов процессов;
 t_p – термин процесса; $\forall t_p (t_p \in T_p)$;
 T_s – подмножество терминов свойств;
 t_s – термин свойства; $\forall t_s (t_s \in T_s)$;
 $T = T_v \cup T_p \cup T_s$;
 $T_v \cap T_p \cap T_s = \emptyset$.

Все названные множества и подмножества относятся к метаонтологии области машиностроения. Отношения между подмножествами определяются связями между концептуальными объектами: вещественными объектами, процессами и свойствами. Объекты на уровне метаонтологии соответствуют логическим терминам – предметам и свойствам. *Объект-процесс* может выступать как предмет или как свойство в зависимости от контекста. Такая структура термосистемы позволяет применять аппарат формальной логики, основой которой является суждение, где присутствуют *субъект-предмет* и *предикат-признак* (свойство).

Качественные свойства предметов и процессов определяются положением соответствующих терминов в термосистеме. В первую очередь положение термина определяется родовидовыми связями, так как видовые отличия представляют собой систему признаков, т.е. качества и свойства, являющиеся доминирующими в знаковой системе. В логике определение через род и видовое отличие является наиболее распространенным. Здесь род – множество предметов, из которых выделяются предметы, имеющие определенные признаки – видовые отличия (качества и свойства). В логико-математическом плане наличие свойства есть необходимое условие определенности множества. Качественное свойство характеризует структуру объекта; этот признак входит в определение понятия, обозначенного соответствующим термином. Если несколько понятий являются видовыми по отношению к одному и тому же родовому, то они наследуют все свойства родового понятия.

Еще одна важная связь, устанавливаемая между терминами, обозначающими понятия из области машиностроения, – *система – элемент*. Здесь система трактуется как множество взаимосвязанных элементов, образующее некоторое единство. При этом свойство системы не определяется суммой свойств элементов, а при определенных взаимосвязях между элементами система получает новые свойства, которые не принадлежат отдельным ее элементам. Элементом системы может быть ее отдельная неделимая часть, а может быть и подсистема, которая обладает всеми свойствами системы. Элементы, на которые делится система, и уровень детализации зависят от задачи, решаемой специалистом. Элементы системы не наследуют ее свойства, однако так как связи *род – вид* и *система – элемент* непосредственно участвуют в построении иерархической структуры термосистемы, то и любой термин, обозначающий системный объект, наследует все свойства родового системного объекта, видом которого он является. Например, если *деталь – втулка* как системный объект состоит из *поверхностей – элементов втулки*, то каждый элемент втулки является видовым по отношению к элементам *детали – тела вращения* (рис. 1).

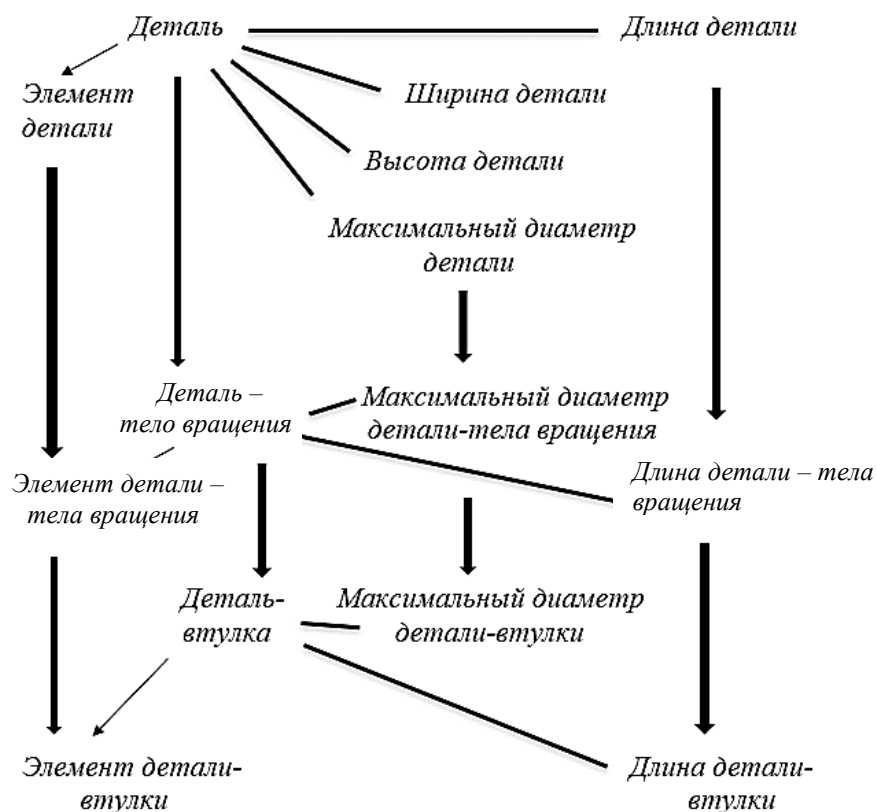


Рис. 1. Фрагмент термосистемы, описывающий связи между терминами на разных уровнях детализации:

- – система – элемент;
- – род – вид;
- – вещественный объект – свойство

Термины вместе со связями образуют целостную структуру-термосистему, в пространстве которой каждый термин по отношению к другим занимает конкретное место, определяющее его свойства. Термины процессов встраиваются в систему в зависимости от их интерпретации в ней. При решении разных задач *процесс* может выступать как объект, обладающий свойствами (например, *фрезерная обработка – точность фрезерной обработки*). В других случаях процесс сам может выступать как свойство, характеризующее процесс, связанный с вещественным объектом (например, *транспортирование партии деталей от склада до станка*). Такая связь строится аналогично связи *вещественный объект – свойство*, но с той разницей, что в первом случае процесс интерпретируется как вещественный объект, а во втором – как свойство.

Еще один важный объект формализации в онтологии машиностроения – концепты предметной области, которые в отличие от концептов метаонтологии используются специалистами для решения конкретных инженерных задач: конструкторских, технологических, организационных, исследовательских и др. Концепт представляется как системный объект, в который входят термины, принадлежащие к одной подсистеме (вещественных объектов или процессов) (рис. 2, 3).

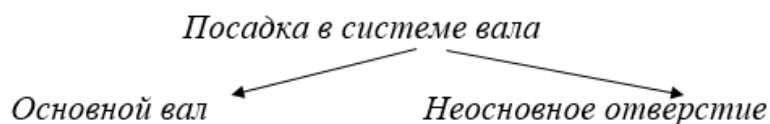


Рис. 2. Структура концепта *посадка в системе вала*, входящего в подсистему вещественных объектов

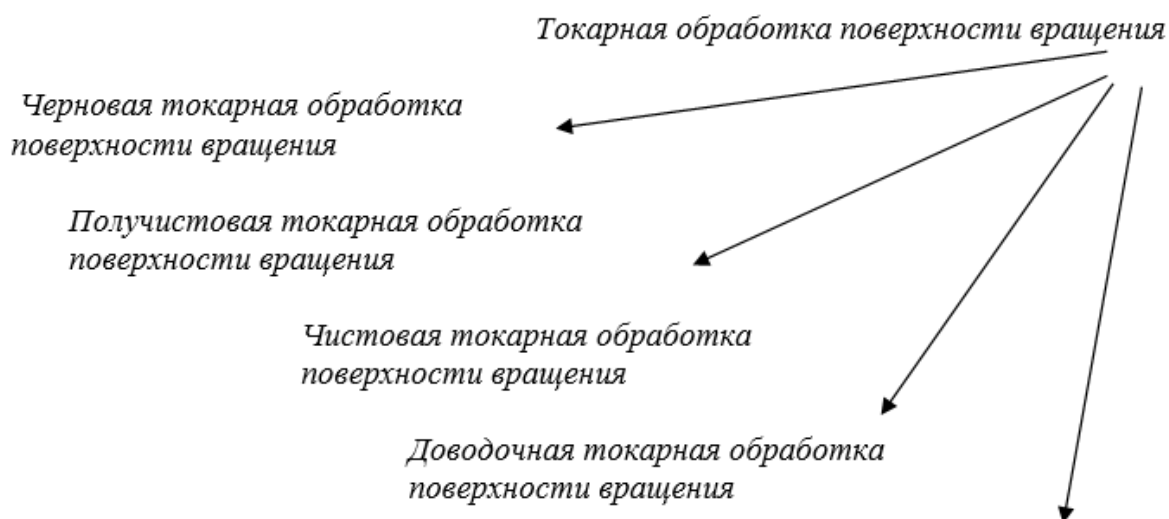


Рис. 3. Структура концепта *посадка в системе вала*, входящего в подсистему процессов

Концептуальные объекты имеют свои свойства. При этом элементы не наследуют свойства концептуального объекта, однако любой концепт предметной области машиностроения или элемент, входящий в состав концепта, как правило, является родовым по отношению к терминам нижнего по иерархии уровня и, таким образом, образует структуру, аналогичную структуре со связями *род – вид*, *система – элемент*.

Для реализации термосистемы используется аппарат реляционных баз данных. При этом модель базы знаний предметной области машиностроения представляется в виде отношений, которые моделируют связи между терминами системы [6, 7]. Основная часть базы знаний состоит из терминов, связей *род – вид*, *система – элемент* и *объект – свойство*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каждый термин термосистемы предметной области машиностроения имеет строго определенное место с точки зрения его связей с другими терминами. Эти связи регламентированы в соответствии с концептами как метаонтологии, так и онтологии предметной области (области задач). Место термина в термосистеме определяет целый комплекс свойств объектов, ими обозначенных, и позволяет рассматривать данные объекты с разных точек зрения в соответствии с целями исследования. Такое построение информационной системы способствует поддержанию компьютерно-интегрированного производства на разных этапах жизненного цикла изделий на основе единой базы знаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куняев Н.Е., Мартынов Л.М. Подход к совершенствованию управления машиностроительными предприятиями и жизненным циклом их продукции в условиях гиперконкурентной материально-виртуальной бизнес-среды // *Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста: Материалы Всероссийской научно-технической конференции*. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2018. С. 94–99.
2. Семиотика: антология / сост. Ю.С. Степанов. М.: Академический проект; Екатеринбург: Деловая книга. 2001. 702 с.
3. Попова А.А., Шубин И.Н., Элиев Р.Э. Использование CALS-технологий в машиностроении на примере разработки трехмерных моделей типовых деталей // *Вестник ТГТУ*. 2020. Т. 26. № 4. С. 637–648.
4. Алябьева В.Г. Математическая логика. Формальная логика: учебное пособие. Пермь: ПГНИУ. 2021. 109 с.
5. Павлов В.В. Полихроматические множества и графы в структурном моделировании свойств технических систем. М.: Новые технологии. 2008. 32 с.
6. Полетаева Е.В. Построение информационной системы машиностроительного производства на базе предметной онтологии: монография. Тверь: ТвГТУ. 2015. 196 с.
7. Полетаева Е.В., Горлов И.В. Реализация структурной составляющей онтологии предметной области машиностроения с использованием реляционной базы данных // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 1 (13). С. 89–96.

Для цитирования: Полетаева Е.В., Горлов И.В. К проблеме формализации знаний при создании CALS-технологий в области машиностроения // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 4 (20). С. 69–76.

TO THE PROBLEM OF KNOWLEDGE FORMALIZATION IN THE CREATION OF CALS -TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF MECHANICAL ENGINEERING

E.V. POLETAEVA, Cand. Sc., I.V. GORLOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, Russian Federation, e-mail: epolet2010@mail.ru

The questions related to formalisation of knowledge of the subject area of mechanical engineering are considered. Particular attention is paid to the concept of "property", which determines the place of a term that designates a "real object" or "process" in the terminological system and is the basis for carrying out optimisation calculations at different stages of design. The method of knowledge structuring for representation of real objects, processes, conceptual objects and their properties within the terminological system of the subject area of mechanical engineering is proposed. It is noted that this method allows to create a basis both for solving engineering problems and for coordination of already existing knowledge models implemented in automated

systems at different stages of design in order to integrate all stages of machine-building production.

Keywords: mechanical engineering, design automation, technological preparation of production, ontology, structural modeling, terminological system, CALS-technologies, knowledge bases.

Поступила в редакцию/received: 11.07.2023; после рецензирования/reviced: 25.07.2023;
принята/accepted: 03.08.2023

УДК 681.3

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБРАБОТЧИКА ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.В. ПОЛЕТАЕВА, канд. техн. наук, И.В. ГОРЛОВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: epolet2010@mail.ru

© Полетаева Е.В., Горлов И.В., 2023

В статье рассмотрен обработчик как часть онтологии предметной области машиностроения. Отмечено, что одной из базовых задач обработчика является поиск вещественных объектов и процессов по определенным критериям. Указано, что этими критериями могут быть свойства (термины-свойства, термины-процессы) в зависимости от поставленной задачи, а поиск возможен, если в терминологической системе формализованы связи *вещественный объект – свойство, процесс – свойство, вещественный объект – процесс*. Подчеркнуто, что выбор осуществляется средствами формальной логики в реляционной базе данных. Приведены примеры функционирования обработчика, реализованного на основе терминологической системы предметной области машиностроения. На примерах показаны возможности системы при решении задач поиска производственных объектов по его свойствам и элементам, если объект является составным (системным).

Ключевые слова: машиностроение, автоматизация проектирования, технологическая подготовка производства, онтология, структурное моделирование, терминологическая система, CALS-технологии, базы знаний.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-76-83

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение CALS-технологий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) в машиностроительное производство связано с созданием целого комплекса автоматизированных подсистем, включающих лингвистическое, информационное, программное, математическое и методическое обеспечение [1]. Особую роль в этом комплексе играет создание онтологии приложений. На основе онтологического описания формулируются выводы о развитии, реорганизации производственной системы на разных уровнях абстрагирования. Как правило, структура производства, его подсистем и элементов представлена в виде иерархической структуры, в которую вносятся и отслеживаются изменения в модели (фиксация, добавление, модификация и