

IMPROVING THE EFFICIENCY OF LEAN MANUFACTURING AND QUALITY MANAGEMENT TOOLS

G.B. BURDO, Dr. Sc., A.N. BOLOTOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, e-mail: gbtms@yandex.ru

The essence of the conceptual concepts of lean manufacturing and quality management is considered. The main errors in their understanding and application are analyzed. It has been established that it is advisable to implement these systems based on the study of the organization's business processes. The hierarchy of organizational and technological systems is investigated, the main tasks solved within the framework of lean production and quality management systems are shown. The tools of lean manufacturing and quality management are proposed, which are advisable to use in ensuring highly efficient machine-building production. Proposals for restructuring the structure of engineering departments of machine-building enterprises are given.

Keywords: machine-building production, quality management, lean manufacturing, business processes, system approach, hierarchy of production machine-building systems.

Поступила в редакцию/received: 22.06.2024; после рецензирования/ revised: 27.06.2024;
принята/accepted: 01.07.2024

УДК 658.512

РОДОВИДОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ КАК ОПОРНАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ 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., 2024

Статья посвящена вопросам, связанным с разработкой моделей объектов и процессов, являющихся частью технологической подготовки производства, в области автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей. Рассмотрены концептуальные объекты и структурные связи между этими объектами. Особое внимание уделено терминам «материальный объект» и «родовидовые отношения». Показано, какую роль они играют в системе знаний предметной области машиностроения. Приведен пример кодировки элементов машиностроительной производственной системы и связей средствами структурного моделирования. Изучены вопросы, связанные с созданием алгоритмов, осуществляющих обработку закодированной информации, для решения задач выбора элементов производственной системы на разных уровнях абстрагирования. Приведен пример решения инженерной задачи на основе структуры терминологической системы онтологии машиностроения.

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

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-4-89-95

ВВЕДЕНИЕ

Информационная поддержка жизненного цикла изделия (ИПИ-технологии) базируется на автоматизированной информационной системе, состоящей из двух основных компонентов: онтологии предметной области и обработчика (пакета прикладных программ, осуществляющих операции по решению задач инженерного проектирования). Задачи, решаемые обработчиком в области машиностроения, включают в себя поиск информации; оптимизацию выбора технологического оборудования и его элементов, режимов работы оборудования, выбора методов технологической обработки и сборки; построение оптимальной структуры технического объекта или технологического процесса и др. Для решения поставленных задач система должна содержать данные (знания) о производстве в целом, его подсистемах и элементах. Онтология и обработчик тесно взаимосвязаны: структура онтологии определяет возможности обработчика. С одной стороны, модели знаний, составляющие основу онтологий, представляют собой математические конструкции, пригодные для использования обработчиком, осуществляющим выводы новых знаний с использованием аппарата формальной логики [1]. С другой стороны, онтология отражает структуру предметной области, в основе которой лежит концептуальная модель – ее формализованное представление. Проблема формализации заключается в том, что машиностроительные производственные системы являются системами сложными, включающими множество разнородных объектов и связей между ними. Источником знаний в таких системах выступают модели, основанные на научных концептах, которые должны быть формализованы и интегрированы в информационную систему. В существующих системах автоматизированного проектирования технологических процессов из-за недостатков используемых алгоритмов нет прямой связи между описанием детали и получаемым маршрутом обработки детали, что в большинстве случаев требует вмешательства технолога [2]. Это может приводить к снижению качества проектирования и возникновению потребности в высокой квалификации оператора. Решить данную проблему можно на основе терминологического подхода при разработке информационных систем технологической подготовки производства.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КАК ОСНОВА ОНТОЛОГИИ

Основу онтологии предметной области «Машиностроение» составляет терминологическая система [3–5], представляющая собой множество терминов (T), которое включает несколько подмножеств: термины вещественных объектов (T_v), термины процессов (T_p) и термины свойств (T_s). Такое разделение множества терминов диктуется семантикой предметной области и упрощает создание математического аппарата обработчика. Рассмотрим отношения только между объектами, входящими в одно из подмножеств, например вещественными. Качественные свойства вещественных объектов определяются положением соответствующих терминов в терминологической системе в виде родовидовых связей. Такая связь позволяет использовать логику, где 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),

являющиеся доминирующими в знаковой системе [6]. Качественное свойство характеризует структуру объекта, этот признак входит в определение понятия, обозначенного соответствующим термином. С одной стороны, если несколько понятий являются видовыми по отношению к одному и тому же родовому, то они наследуют все свойства родового понятия. Между терминами устанавливается соотношение по объемам в зависимости от их содержания, раскрывающегося в определении. При этом происходит деление родового понятия, которое может происходить по разным основаниям деления в зависимости от цели исследования. С другой стороны, само положение термина в терминологической системе неявно содержит информацию о структурных отличиях вещественного объекта от других, находящихся как на одном уровне абстрагирования, так и на других. Таким образом, множество вещественных объектов и множество родовидовых связей образуют терминологическую систему в виде дерева, корневой вершиной которого является термин *вещественный объект*, обозначающий абстрактный объект, а концевыми вершинами – термины, обозначающие реальные объекты производственной системы (конкретный станок, транспортное средство и прочие, которые являются средствами производства определенного цеха машиностроительного предприятия).

Родовидовые отношения в информационном плане представляют собой опорную структуру, так как при решении задач анализа и синтеза производственной системы происходит движение от абстрактного к конкретному. При этом выстраивается концептуальная схема с использованием терминов в качестве узловых точек. Это означает не только то, что каждый термин в терминологической системе должен занимать определенное место, но и то, что само место определяет его свойства в рамках терминологической системы исследуемой предметной области.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОБЪКТОВ И ОТНОШЕНИЙ В ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

С математической точки зрения наличие свойства есть необходимое условие определяемости множества. Между однородными понятиями устанавливаются отношения по содержанию, а значит, и по объемам. Понятия, объемы которых совпадают, являются синонимичными, что в научной терминологии неприемлемо. Понятия, находящиеся в отношении контрадикторности, не имеют общих элементов и являются видами одного рода. При этом в сумме они составляют объем родового понятия, при делении которого выбирается основание, важное с точки зрения исследователя, используемое при оптимизационных расчетах. Это становится возможным из-за того, что такие объекты находятся на одном уровне абстрагирования, имеют общие свойства (свойства родового понятия) и в то же время отличительные свойства, в соответствии с которыми возможно их сравнение по выбранным критериям. Понятия, получающиеся при делении по разным признакам, являются логически независимыми. Соответственно, они могут участвовать в решении разных производственных задач. Количество и способ деления родового понятия в системе зависят от задач, решаемых обработчиком, которые определяются положением термина в терминологической системе и его системными связями в концептах предметной области.

В разных системах проявляются те или иные свойства объектов, представляемых элементами одного и того же множества. Несмотря на то что математический аппарат обычной теории множеств не предусматривает описания и анализа свойств элементов множества, а в ИПИ-технологиях эта проблема осложняется необходимостью обеспечения целостного представления о моделируемом объекте у различных категорий пользователей на разных этапах жизненного цикла изделия, есть

возможность создания единой системы понятий, охватывающей все предметы и явления предметной области [7]. При этом должны соблюдаться некоторые правила:

для любого множества M существует множество $\{M\}$, состоящее только из элемента u :

$$\square u (u \in \{M\} \Leftrightarrow u = M).$$

для любых двух множеств M_1 и M_2 можно образовать их объединение, пересечение и разность:

$$u \in (M_1 \cup M_2) \Leftrightarrow [(u \in M_1) \vee (u \in M_2)];$$

$$u \in (M_1 \cap M_2) \Leftrightarrow [(u \in M_1) \wedge (u \in M_2)];$$

$$u \in (M_1 \setminus M_2) \Leftrightarrow [(u \in M_1) \vee (u \notin M_2)].$$

Эти правила позволяют ввести в рассмотрение все конечные системы множеств.

Рассмотрим термин *фреза* и его положение в терминологической системе [8]. Соответствующее понятие можно определить как «инструмент – тело вращения, на образующей которого (иногда и на торце) имеются режущие зубья». В терминологической системе *Производственная система*, в которой термины соединены связями *род – вид* и *система – элемент*, термин *фреза* занимает свое место в соответствии со структурой производственной системы в подсистеме *Инструменты* (рис. 1). Здесь обозначают связь *род – вид*. Термин *инструмент фрезерной группы (фреза)* обозначает множество всех фрез производственной системы, которое может быть представлено как объединение подмножеств при делении объема понятия по выбранному основанию (рис. 2).

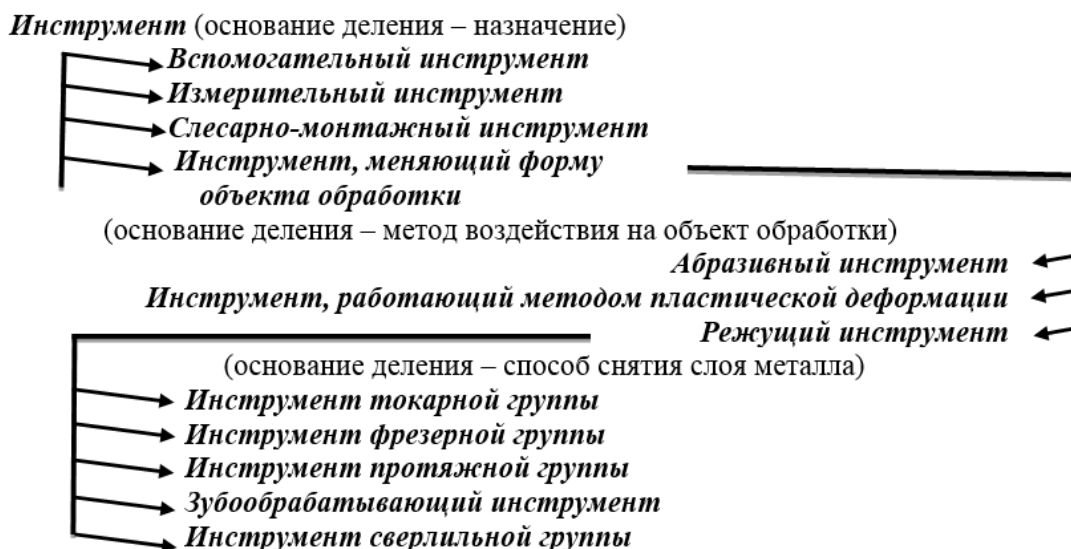


Рис. 1. Место термина *фреза* (инструмент фрезерной группы) в подсистеме *Инструмент* производственной терминологической системы



Рис. 2. Деление объемородового понятия *фреза* (Q) на объемовидовые в зависимости от основания деления

Пусть Q – множество фрез. При его делении по одному основанию получаем подмножества, находящиеся в отношении контрастности:

$$Q = Q_{11} \cup Q_{12} \cup Q_{13} = Q_{21} \cup Q_{22} \cup Q_{23} = \dots = Q_{71} \cup Q_{72} \cup Q_{73} \cup Q_{74} \cup Q_{75} \cup Q_{76} \cup Q_{77} \cup Q_{78} \cup Q_{79}.$$

При этом выполняется правило деления по одному основанию:

$$Q_{i1} \cap Q_{i2} \cap \dots \cap Q_{in} = \emptyset.$$

Такое описание позволяет при использовании теории множеств и булевой логики производить поиск в базе знаний необходимых вещественных объектов, таких как инструмент, детали, заготовки, станочное оборудование и др. Так, поиск всех фрез, присутствующих в системе и обладающих определенными характеристиками, сводится к поиску подмножества множества Q . Основание деления, по которому проводится поиск, определяется концептуальными связями рассматриваемого объекта в предметной области. Для решения задачи выбора фрезы как металлорежущего инструмента необходимо использовать ее положение в системе СПИД (*станок – приспособление – инструмент – деталь*), представляющей собой один из основных

концептов технологии машиностроения. В системе СПИД металлорежущий инструмент связан со станком и деталью. Так, тип станка определяет способ снятия слоя металла и уровень специализации, а форма поверхности детали – назначение и конструкцию фрезы.

Например, поиск в системе множества фрез (Q_k) с характеристиками *фреза универсальная, торцевая, для обработки плоской поверхности* осуществляется по формуле

$$Q_k = Q_{I3} \cap Q_{712}.$$

Тогда на нижнем уровне абстрагирования в терминологической системе:

$$q_k \in Q_k = [(q_k \in Q_{I3}) \wedge (q_k \in Q_{712})],$$

где q_k – термин, обозначающий элемент множества Q_k – *универсальная торцевая фреза для обработки плоской поверхности*, родовыми для которого являются понятия *фреза универсальная* и *торцевая фреза для обработки плоских поверхностей*, и наследующий все свойства как Q_{I3} (фрез универсальных), так и Q_{712} (торцевых фрез для обработки плоских поверхностей).

Аналогично поиск необходимых множеств материальных объектов, находящихся в рассматриваемой системе, связанных родовидовыми отношениями, обработчик может производить на разных уровнях абстрагирования описанной терминологической системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Терминологическая система составляет основу информационной системы предметной области машиностроения. Каждый термин занимает в ней строго определенное место, которое в большей степени определяет свойства материальных объектов. Отношения *род – вид* и *система – элемент* задают структуру такой системы. При этом родовидовые отношения являются, как правило, определяющими, а системные связи могут изменяться в зависимости от концептов, основанных на теоретических знаниях предметной области.

Использование терминологической системы в системах автоматизированного проектирования технологических процессов позволяет решать сложные задачи поиска приемлемого решения (технологического процесса с выбором) для изготовления конкретной детали на основе формального описания ее параметров, что обеспечивает повышение качества проектирования и при этом не требует высокой квалификации специалиста.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Беседина И.П., Белякова А.П., Жабаева В.А. Анализ и сравнение современных САПР ТП отечественных разработчиков // *Теория и практика современной науки*. 2019. № 6 (48). С. 123–127.
3. Норенков И.П. Интеллектуальные технологии на базе онтологий // *Информационные технологии*. 2010. № 1. С. 17–23.
4. Полетаева Е.В., Горлов И.В. Решение задач синтеза производственных систем на основе онтологии предметной области машиностроения // *Вестник Тверского*

государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2019. № 2 (2). С. 40–50.

5. Семиотика: антология / сост. Ю.С. Степанов. М.: Академический проект; Екатеринбург: Деловая книга. 2001. 702 с.

6. Войшвилло Е.К., Дегтярев М.Г. Логика: учебник. М.: ВЛАДОС-ПРЕСС. 2001. 528 с.

7. Павлов В.В. Полихроматические множества и графы в структурном моделировании свойств технических систем // *Информационные технологии*. 2008. № S2. С. 1–32.

8. Гречишников В.А., Схиртладзе А.Г., Борискин В.П., Пульбере А.И., Чупина Л.А. Формообразующие инструменты машиностроительных производств. Инструменты общего назначения: учебник. Старый Оскол: ТНТ. 2023. 432 с.

Для цитирования: Полетаева Е.В., Горлов И.В. Родовидовые отношения как опорная структура автоматизированной информационной системы машиностроения // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. № 4 (24). С. 89–95.

GENERAL RELATIONS AS A SUPPORTING STRUCTURE OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF MECHANICAL ENGINEERING

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

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

The article is devoted to the issues related to the development of models of objects and processes, which are part of technological preparation of production, in the field of computer-aided design of technological processes of parts manufacturing. Conceptual objects and structural relations between these objects are considered. Special attention is paid to the terms “material object” and “generic relations”. It is shown what role they play in the knowledge system of the subject area of mechanical engineering. An example of coding of elements of machine-building production system and relations by means of structural modeling is given. The questions related to the creation of algorithms processing the coded information for solving the problems of selecting the elements of the production system at different levels of abstraction are studied. An example of engineering problem solving on the basis of the structure of terminological system of mechanical engineering ontology is given.

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

Поступила в редакцию/received: 19.08.2024; после рецензирования/revised: 16.09.2024;
принята/accepted: 04.10.2024