УДК 681.5.01

РЕАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

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., 2022

Эффективность функционирования современного машиностроительного производства в значительной степени зависит не только от автоматизации всех его этапов, но и от интеграции этих этапов на основе единой базы знаний. В статье представлена программная реализация терминологической системы, являющейся основой онтологии предметной области машиностроения. Рассматривается роль онтологии при интеграции всех этапов автоматизированного производства и терминологической системы – ее структурной составляющей. Сложность и большая размерность машиностроительных производственных систем определяют объем онтологии. Предложена структура построения терминологической системы – основы для получения логических выводов и новых знаний из имеющихся в системе. Приведен пример работы программного модуля, реализованного с использованием реляционной базы данных и предназначенного для ввода, хранения, изменения и отображения основных информационных элементов терминологической системы машиностроительного производства.

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

DOI: 10.46573/2658-5030-2022-1-89-96

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития машиностроения уровень производства определяется тем, насколько все его этапы не только автоматизированы, но и интегрированы в единую систему. Чем выше уровень интеграции, тем эффективнее автоматизация всех этапов производства. Эту задачу призваны решать технологии информационной поддержки жизненного цикла производства – русскоязычный аналог CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) [1]. Основными интегрирующими факторами автоматизированной системы являются база знаний (БЗ) и система управления базой знаний, обеспечивающая обмен информацией между БЗ и пользователями всех подсистем производственной системы, каждая из которых поддерживает связь с моделями предметной области, представленными в виде онтологий [2]. Так, наиболее распространенный в машиностроительном производстве язык Express использует модель, содержащую в себе описание данных прикладных задач. Для однозначного понимания спецификаций приложений разными пользователями информационных моделей создаются прикладные протоколы, вводимые в стандарте STEP, которые являются частным случаем прикладных протоколов (т.е. прикладной протокол выражает онтологию приложения). Разработка онтологий приложений, закрепляемых в прикладных протоколах CALS, призвана

обеспечить в информационном пространстве унификацию. Последняя понимается как однозначная и правильная интерпретация данных об изделии на всех этапах его жизненного цикла. Унификация перечней и наименование сущностей, атрибутов и отношений в предметной области является основой для единого электронного описания изделия в CALS-пространстве [3].

ОНТОЛОГИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Машиностроительное производство, являясь большой сложной системой, обладает такими свойствами, как уникальность, слабая структурированность, физическая неоднородность, большая размерность и др. [4]. При всей сложности системы модель предметной области машиностроения, с одной стороны, должна быть простой для понимания, с другой – отражать всю ее сложность. Соответственно, такие же требования предъявляются и к онтологии предметной области: ее модель должна быть воспринимаема, валидна и надежна [5]. Основой онтологии предметной области машиностроения является терминосистема как сложившаяся система понятий рассматриваемой области. Это совокупность терминов, связанных устойчивыми отношениями, которая представляет собой логическую модель предметной области [6]. Чтобы стать основой онтологии предметной области, терминосистема должна отражать структуру этой области и обладать целостностью и устойчивостью. Термин – это сложное образование, которое приобретает реальное значение только в рамках определенной предметной области и может изучаться только во взаимосвязи с терминами конкретной терминосистемы [7]. Терминосистемы представляют собой множество терминов и логических связей между ними типа *система – элемент*, *род – вид* и так далее, т.е. иерархический понятийный *скелет* предметной области. Множество терминов, используемых в области машиностроения на всех этапах производства, по семантическим признакам можно разделить на три непересекающихся подмножества: вещественных объектов, процессов и свойств. Между терминами, обозначающими соответствующие понятия, устанавливаются логические связи, которые вместе с терминами представляют собой метатерминосистему онтологии как основу БЗ [8]. Так, связь *вещественный объект – свойство* моделирует принадлежность некоторого свойства вещественному объекту, а связь *вещественный объект – процесс* обозначает, что в вещественном объекте может протекать некоторый процесс. Термины выбраны так, чтобы они, с одной стороны, отражали основные понятия, используемые на всех этапах машиностроительного производства, с другой – могли быть использованы для получения новых знаний на основе введенных в базу методами формальной логики. Таким образом, при использовании логической онтологии термин *процесс* может использоваться как *субъект*, а *свойство* – как *предикат*, вещественный *объект* – как *субъект*, а *процесс* – как *предикат*. Соответствующие связи должны быть введены в метатерминосистему. Метатерминосистема вместе с обработчиком образуют метаонтологию.

Метаонтология является основой для построения терминосистем подсистем автоматизированной интегрированной информационной системы, таких как, например, система автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП), т.е. при изменении структуры терминологической системы или добавлении новых элементов (терминов, связей) достаточно внести соответствующие изменения в концептуальную терминологию, и это автоматически распространится на всю терминологию предметной области.

Управление знаниями в условиях машиностроения может быть разделено на несколько частей: формализацию, поиск, получение новых знаний, передачу и распространение знаний. Возникает необходимость создания языка, схожего с SQL и

предназначенного для описания объектов знаний. Такой язык семантически должен быть схож с языком SQL и обладать возможностью транслировать элементы языка в элементы SQL для поиска знаний в реляционных базах данных [9].

ФОРМАЛИЗАЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМИНОСИСТЕМЫ

Для формализации терминосистемы используется аппарат реляционных баз данных, при этом модель БЗ предметной области машиностроения представляется в виде системы отношений. Так, отношением *Termin* может быть представлено множество терминов метатерминосистемы (рис. 1).

Key	*TermName*	*TermType*

Рис. 1. Отношение *Termin* реляционной базы данных,
описывающее множество терминов метатерминосистемы:
Key – код термина, выраженный уникальной строкой,
состоящей из первой буквы термина, и целым числом;
TermName – термин (слово/словосочетание), представленный символьной строкой;
TermType – символ, обозначающий принадлежность термина
к одному из трех подмножеств (вещественный объект *V*, свойство *S*, процесс *P*)

С помощью представленного отношения каждому термину метатерминосистемы задается уникальный код, который используется для идентификации. Все остальные отношения моделируют связи между терминами системы. Например, отношение *Tie1rv* (рис. 2, 3) описывает связь между родовым и видовым понятиями при таксономическом делении родового понятия, а также основание деления (*IndexLinkRV* – номер связи; *TermKey1* – код термина родового понятия; *TermKey2* – код термина видового понятия; *BaseOfDivision* – основание деления); отношение *Tie2si* описывает связь между видовыми понятиями, полученными при делении родового понятия по одному основанию (IndexLinkSI – номер связи; *TermKey1* – код термина видового понятия; *TermKey2* – код термина видового понятия; *PrincipleOfDivision* – принцип деления).

Tie1rv

IndexLinkRV	*TermKey1*	*TermKey2*	*BaseOfDivision*

Рис. 2. Отношение, описывающее связь *род – вид*
при таксономическом делении понятия по одному основанию

Tie2si

IndexLinkSI	*TermKey1*	*TermKey2*	*PrincipleOfDivision*

Рис. 3. Отношение, описывающее связь *вид – вид* между терминами,
полученными при таксономическом делении
родового понятия по одному основанию

Аналогично строятся отношения, описывающие связи *вещественный объект – свойство, процесс – свойство, система – элемент* и др. [10]. Терминосистемы подсистем наследуют структуру метатерминосистемы. При этом есть термины, которыми могут пользоваться несколько подсистем, а есть термины, применяемые только в определенной подсистеме. В первом случае ввод, хранение и модификация

терминов осуществляются в рамках метаонтологии, во втором – онтологии соответствующей подсистемы.

Представленная модель терминосистемы реализована в виде пользовательского приложения подсистемы АСТПП. Оно создано с помощью высокоуровневого объектно ориентированного языка программирования C Sharp (C#) в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio Community, а также системы управления базой данных Microsoft SQL Server.

Пользовательское приложение основано на работе с файлами:

TermBase – база данных, позволяющая хранить информацию о терминах, их уникальных индексах и признаке принадлежности термина к одной из трех подсистем, описанных в метаонтологии (V, P, S);

RVLinkBase – база данных, позволяющая хранить информацию о связи между родовым и видовым понятиями, полученными при делении родового понятия по одному основанию и основании деления;

TPLinkBase – база данных, позволяющая хранить информацию о связи между вещественным объектом и свойством;

SILinkBase – база данных, позволяющая хранить информацию о связях между системой и элементами, которые ей принадлежат.

Приложение позволяет в понятном для пользователя виде осуществлять такие операции, как ввод, добавление, изменение, удаление, получение доступа к информации, и состоит из двух модулей. Первый предназначен для заполнения БЗ терминами, связями *род – вид*, *система – элемент*, *объект – свойство*, а также удаления добавленных терминов и связей. Второй модуль предназначен для добавления новых терминов в БЗ. Кроме добавления терминов вещественных объектов и процессов, можно указать для них конкретные свойства.

Основная часть БЗ состоит из терминов, связей *род – вид*, *система – элемент* и *объект – свойство*. Нажатием кнопок «Добавить», «Изменить» «Удалить термин» в первом разделе пользовательского приложения можно проводить операции с терминами рассматриваемой системы (рис. 4). Например, для добавления термина «Деталь» в поле названия вводим термин «Деталь», а в поле для выбора терминологической системы указываем «Вещественный объект». Для удаления ранее введенного термина или его изменения используются кнопки «Удалить выбранный термин» и «Изменить выбранный термин» соответственно. После ввода или добавления терминов необходимо установить между ними связи *род – вид*, *система – элемент*, *объект – свойство*. Прежде чем добавлять связи *система – элемент*, следует добавить связи *род – вид*. Для этого следует нажать на кнопку «Добавить/Удалить связь *род – вид*».

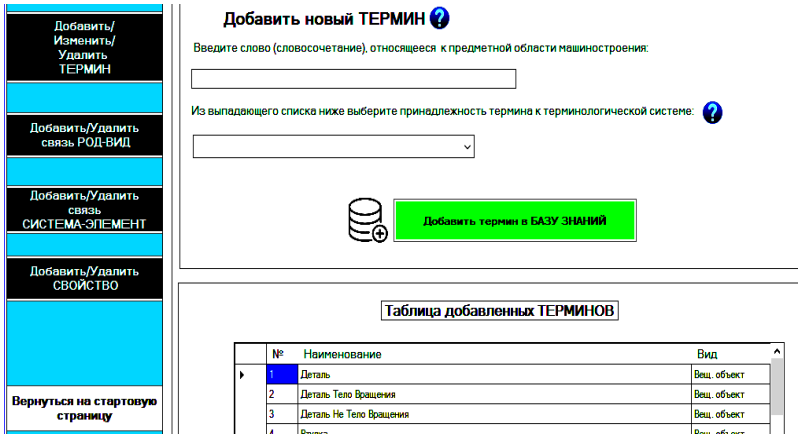

Рис. 4. Окно ввода и просмотра терминов в БЗ

После нажатия на кнопку «Добавить термин в базу знаний» происходит считывание всех полей для заполнения и на основе их содержимого формируется уникальный ключ для термина «Деталь» (Д001). Вслед за этим приложение посылает запрос к файлу *TermBase* для добавления новой информации. Если добавление прошло успешно, то отобразится окно с подтверждением. Точно так же вводятся другие термины отношения *Termin*. Результат добавления всех терминов отображается на экране (рис. 5).

№	Наименование	Вид
1	Деталь	Вещ. объект
2	Деталь Тело Вращения	Вещ. объект
3	Деталь Не Тело Вращения	Вещ. объект
4	Втулка	Вещ. объект
5	Гильза	Вещ. объект
6	Стакан	Вещ. объект

Рис. 5. Фрагмент таблицы с добавленными терминами

Рассмотрим процедуру добавления связи *род – вид* на примере фрагмента отношения *Tie1rv* реляционной базы данных. Термин «Деталь» по отношению к терминам «Деталь – тело вращения» и «Деталь – не тело вращения» является родовым, а они по отношению к нему – видовыми. В первой части открытого окна «Добавить новую связь *род – вид*» из списка нужно выбрать родовой термин «Деталь», затем нажать на кнопку «Выбрать родовой термин из списка». При этом в правой части отобразится выбранный родовой термин (рис. 6).

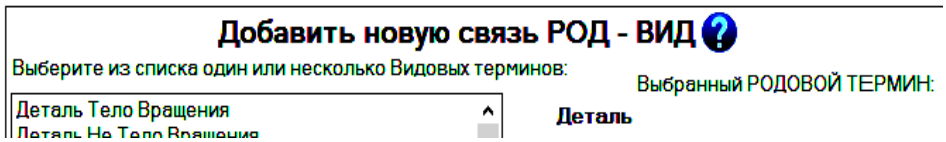

Рис. 6. Выбор родового термина «Деталь»

Для выбора видовых терминов родового термина «Деталь» из списка следует поочередно выбрать термины «Деталь – тело вращения» и «Деталь – не тело вращения» и подтвердить выбор с помощью кнопки «Выбрать видовой термин из списка». Чтобы добавить связь, необходимо указать, по какому основанию родовой термин делится на видовые. Для добавления основания деления требуется ввести его наименование либо из выпадающего списка выбрать уже имеющееся (рис. 7).

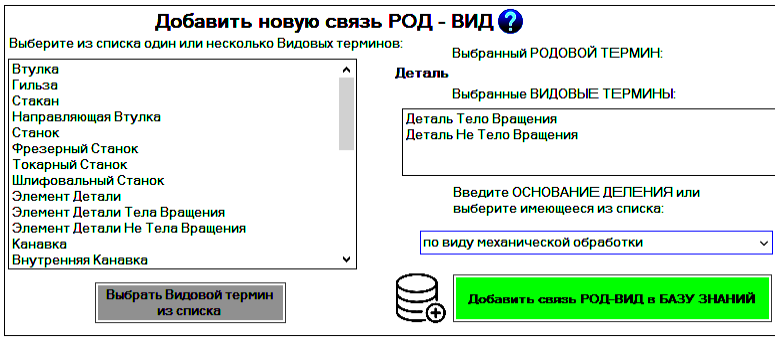

Рис. 7. Вид экрана после ввода основания деления

Аналогично происходит заполнение базы связями *система – элемент* для термина «Деталь» (рис. 8). Из выпадающего списка следует выбрать элементы, которые нужно связать с системным термином. В нашем случае это термин «Элемент детали» (рис. 9).

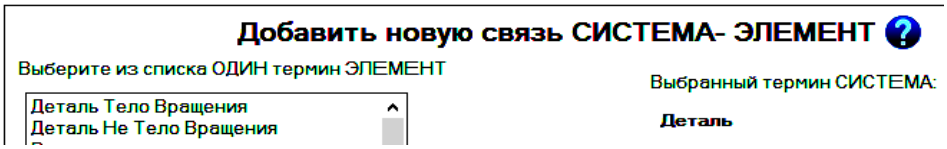

Рис. 8. Выбор термина «Деталь» в качестве системы

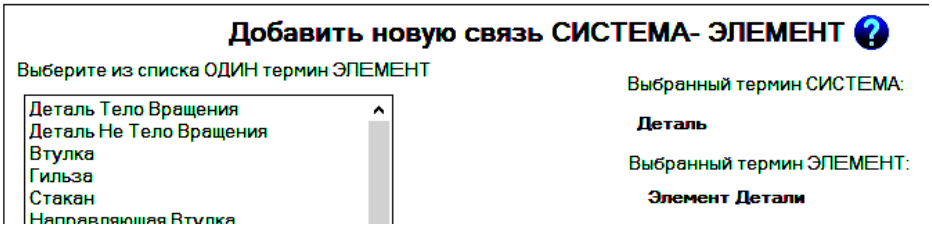

Рис. 9. Выбор термина «Элемент детали» в качестве элемента

Добавление и отображение выбранных элементов системы *деталь* осуществляются так же, как и для ввода связей *род – вид*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное приложение информационной системы реализует структурную составляющую онтологии предметной области машиностроения и задействует распространенную базу данных и программную платформу. Приложение позволяет выполнять весь спектр функций, необходимых для ввода, хранения, обновления, отображения элементов терминосистемы. Несмотря на простоту представления знаний, можно формализовать таким способом большинство сложных структур, составляющих теорию машиностроения и позволяющих решать как параметрические, так и организационные задачи на разных этапах производства. Изучение и построение как метатерминосистемы, так и терминосистем позволяют значительно сократить и упростить структуру всей информационной системы, повысить ее надежность, восприимчивость и валидность, а также избежать дублирования данных.

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. Лахин О.И., Майоров И.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В. Интеллектуальная система управления жизненным циклом изделия // *Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста: материалы II Всероссийской научно-технической конференции.* М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2019. С. 134–138.

3. Попова А.А., Шубин И.Н., Элиев Р.Э. Использование CALS-технологий в машиностроении на примере разработки трехмерных моделей типовых деталей // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2020. Т. 26. № 4. С. 637–648.

4. Цветков В.Я. Систематика сложных систем // *Современные технологии управления*. 2017. № 7 (79). С. 2. URL: https://sovman.ru/article/7903/ (дата обращения: 03.01.2022).

5. Sayama H. Introduction to the modeling and analysis of complex systems. Open SUNY Textbooks. 2015. 498 p.

6. Лопатина Е.В. Особенности терминологических единиц // *Теория и практика общественного развития*. 2012. № 2. С. 25–31.

7. Лейчик В.М. Терминоведение: предмет, методы, структура. М.: Либроком. 2009. 256 с.

8. Полетаева Е.В. Построение информационной системы машиностроительного производства на базе предметной онтологии: монография. Тверь: ТвГТУ. 2015. 196 с.

9. Кириллов В.В., Громов Г.Ю. Введение в реляционные базы данных. СПб.: БХВ-Петербург. 2016. 318 с.

10. Полетаева Е.В., Горлов И.В. Оптимизация структуры производственных систем машиностроительных предприятий // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2020. № 8. С. 22–28.

Для цитирования: 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.

IMPLEMENTATION OF THE ONTOLOGY STRUCTURAL COMPONENT OF THE ENGINEERING SUBJECT AREA USING A RELATIONAL DATABASE

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 efficiency of functioning of modern machine-building production depends not only on automating all its stages, but also on integrating these stages on the basis of a unified knowledge base. The paper presents a program realization of the terminology system, which is the basis of the domain ontology of engineering industry. The role of ontology in the integration of all stages of automated production and terminology system – its structural component – is considered. Complexity and large dimensionality of machine-building production systems determine the complexity and volume of ontology. The structure of terminological system construction, which is the basis for the production of logical conclusions for obtaining new knowledge from the existing in the system, is offered. The example of the software module, implemented using a relational database, designed to enter, store, change and display the main information elements of the terminological system of machine-building production is given.

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

REFERENCES

1. Kunyaev N.E., Martynov L.M. Approach to improving the management of machine-building enterprises of the life cycle of their products in a hyper-competitive material-virtual business environment. *Sistemy upravleniya polnym zhiznennym ciklom vysokotekhnologichnoj produkcii v mashinostroenii: novye istochniki rosta: Materialy Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii.* Moscow: MGTU im. N.E. Baumana. 2018, pp. 94–99. (In Russian).

2. Lakhin O.I., Mayorov I.V., Skobelev P.O., Simonova E.V. Intelligent control system of product life cycle. *Sistemy upravleniya polnym zhiznennym ciklom vysokotekhnologichnoj produkcii v mashinostroenii: novye istochniki rosta: Materialy II Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii.* Moscow: MGTU im. N.E. Baumana. 2019, pp. 134–138. (In Russian).

3. Popova A.A., Shubin I.N., Eliev R.E. The use of CALS-technologies in mechanical engineering by the example of developing three-dimensional models of typical parts. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* 2020. V. 26. No. 4, pp. 637–648. (In Russian).

4. Tsvetkov V.Ya. Systematics of complex systems. *Sovremennye tekhnologii upravleniya.* 2017. No. 7 (79), p. 2. URL: https://sovman.ru/article/7903/ (date of access: 03.01.2022). (In Russian).

5. Sayama H. Introduction to the modeling and analysis of complex systems. Open SUNY Textbooks. 2015. 498 p.

6. Lopatina E.V. Peculiarities of terminological units. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. 2012. No. 2, pp. 25–31. (In Russian).

7. Leychik V.M. Terminology: subject matter, methods, structure. Moscow: Librocom. 2009. 256 p.

8. Poletaeva E.V. Postroyeniye informatsionnoy sistemy mashinostroitelnogo proizvodstva na baze predmetnoy ontologii: monografiya [Building an information system of machine-building production on the basis of a subject ontology: monograph]. Tver: TvGTU. 2015. 196 p.

9. Kirillov V.V., Gromov G.Yu. Vvedeniye v relyatsionnyye bazy dannykh [Introduction to relational databases]: Sankt-Peterburg: BKHV-Peterburg. 2016. 318 p.

10. Poletaeva E.V., Gorlov I.V. Optimization of the structure of production systems of machine-building enterprises. *Transportnoe, gornoe i stroitelnoe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo.* 2020. No. 8, pp. 22–28. (In Russian).

Поступила в редакцию/received: 03.01.2022; после рецензирования/revised: 11.01.2022; принята/accepted: 14.01.2022