

ПРИМЕНЕНИЕ ПАТТЕРНА СОДЕРЖАНИЯ В РАЗРАБОТКЕ ОНТОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И.С. Пильник¹

pilnikis@bmstu.ru

Д.А. Баклыков^{1,2}

dimabaklykov@bmstu.ru

Ю.Б. Цветков¹

tsvetkov@bmstu.ru

И.А. Родионов^{1,2}

irodionov@bmstu.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

² ФГУП «ВНИИА», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен метод повышения эффективности онтологического моделирования при разработке и изготовлении оптических микроэлектромеханических систем на основе разработки паттерна содержания онтологии. Паттерн позволяет наглядно представлять логические взаимосвязи между элементами, из которых состоит изделие, и их характеристиками; изделиями, которые можно изготавливать с использованием определенных процессов и материалов; процессами и материалами, необходимыми для изготовления нескольких изделий. Паттерн также дает возможность через систему запросов определять необходимый набор операций и материалов для получения конкретных изделий. На примере оптического переключателя показана процедура применения паттерна содержания начиная с конструктивно-технологического анализа изделия, включая описание конструктивных элементов изделия, их материалов и взаимосвязей с технологическими процессами. Сформированная онтология в редакторе *Protégé* содержит информацию о 20 видах микросистем с выделением логических связей оптического переключателя микроэлектромеханических систем с индивидами основных классов паттерна. Предложенный метод повышает эффективность управления знаниями в цифровой среде и открывает перспективу для дальнейшего применения онто-

Ключевые слова

Оптические микроэлектромеханические системы, базовые элементы, микротехнологии, онтология, семантические связи, паттерн

гического моделирования. Представленная модель предусматривает расширение ее структуры и увеличение степени детализации описания ее элементов

Поступила 22.08.2025

Принята 04.12.2025

© Автор(ы), 2026

Введение. Развитие микроэлектромеханических систем (МЭМС) является одним из приоритетных направлений, определяющих прогресс во многих высокотехнологичных отраслях (микроэлектронное и медицинское оборудование, приборы ночного видения, беспилотный транспорт, оптоволоконные системы связи и т. д.) [1, 2].

В настоящее время одними из наиболее востребованных устройств микросистемной техники являются оптические МЭМС [3]. Их способность управлять свойствами электромагнитного излучения (например, мощностью, направлением, длиной волны и др.) в широком диапазоне длин волн используется, в частности, в оптических переключателях и перестраиваемых лазерах в составе телекоммуникационных систем [4], системах визуализации и сканирования [5], в стойких к внешнему электромагнитному шуму акселерометрах [6, 7], болометрах [8] и датчиках вибрации [9].

Создание высокоточных оптических МЭМС предусматривает применение разнородных материалов с субмикрометровой точностью обработки. Сложность реализации процесса усложняется непрерывным ростом номенклатуры устройств и необходимостью повышения их надежности. В свою очередь это приводит к появлению избыточной и неполной информации, что замедляет разработку новых устройств и требует поиска более эффективных методов работы с информацией в выбранной предметной области. Кроме того, важной особенностью технологий оптических МЭМС является одновременное создание разнородных по функциональному назначению элементов в каждом кристалле из множества на подложке [10]. В связи с этим возникает острая необходимость обеспечения совместимости конструкции, материалов и их свойств с применяемыми технологиями [11]. Вопрос совместимости представляет многофакторную задачу, требующую значительных временных и ресурсных затрат, включая наличие детальной достоверной информации о параметрах процессов МЭМС-технологий, физико-химических свойствах материалов и механических характеристиках конструкций.

Решению этой задачи в области создания оптических МЭМС может способствовать применение современных моделей хранения данных на основе онтологий, включающих не только описания различных объектов и понятий, но и связи между ними [12].

Построение онтологий позволяет хранить информацию о базовых элементах конструкции, свойствах материалов и методах их обработки, обеспечивая явную и доступную для совместного и многократного использования систему [13].

В настоящее время онтологии находят все большее применение в различных областях науки и техники как способ представления логически взаимосвязанной информации и элемент формируемых баз знаний. Так, одна из самых больших баз знаний на основе онтологии относится к области биомедицинских исследований [14]. Есть также примеры решения задач наноинженерии путем онтологической формализации знаний [12], сформирован базовый вариант онтологии оптических МЭМС [15, 16].

Предметная область оптических МЭМС и сопутствующей информации для развития базового варианта онтологии постоянно расширяется, требуются упрощения пользования и ускорение процесса заполнения при дальнейшем масштабировании.

Цель работы — разработка паттерна (шаблона) содержания, применимого для различных оптических МЭМС с конструктивно-технологическими особенностями создания.

Паттерн содержания онтологического моделирования. Содержание онтологии научной предметной области определяется ее назначением. Цель создания онтологии — формирование базы знаний для накопления имеющейся информации и ее применение в формулировании рекомендаций, необходимых для принятия решений в процессе разработки микросистем [17]. Так, в отличие от реляционных баз данных, онтология не требует жесткой структуры [15]. При этом паттерн (шаблон) содержания онтологии должен сформировать четкое представление о его основных классах и связях между индивидами. Наличие паттерна упрощает процесс формулировки запроса новым пользователям [18]. Дополнительными преимуществами паттерна являются возможность объединения онтологий различных изделий без внесения изменений в структуру и ускорение процесса их заполнения.

Разрабатываемая онтология оптических МЭМС должна выдавать результат на запросы по следующим направлениям:

- 1) процессы, необходимые для изготовления нескольких изделий;
- 2) материалы, необходимые для изготовления нескольких изделий;
- 3) изделия, которые можно изготовить с использованием определенных процессов;
- 4) изделия, которые можно изготовить с использованием определенных материалов;

- 5) элементы, из которых состоит изделие;
- 6) характеристики элементов в составе изделия.

Согласно требованиям к онтологии, для разработки ее паттерна составлены квалификационные вопросы [19]:

- 1) из каких элементов состоят изделия?
- 2) какие процессы используют для изготовления изделий?
- 3) какую подложку используют для изделия?
- 4) из каких материалов изготовлены элементы изделий?
- 5) какими характеристиками обладают элементы изделий?

Квалификационные вопросы позволили выделить основные классы паттерна:

- 1) «Изделия» (содержат все возможные оптические МЭМС);
- 2) «Элементы» (включают в себя элементы микросистем, обеспечивающие выполнение их назначения);
- 3) «Характеристики элемента» (содержат характеристики элементов, определяющих характеристики микросистемы);
- 4) «Материалы» (содержат материалы элементов микросистем);
- 5) «Процессы» (содержат ключевые процессы, необходимые для изготовления микросистем).

Ключевой класс онтологии — «Изделия». Паттерн, объединяющий выделенные классы и связи между их индивидами, показан на рис. 1. Внутри класса «Материалы» дополнительно выделены подклассы «Подложка» и «Покрытие».

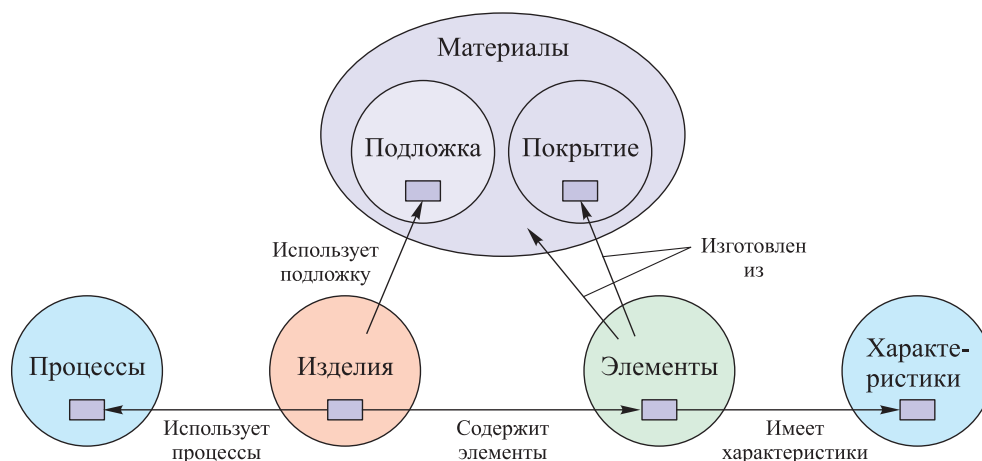


Рис. 1. Паттерн содержания онтологии оптических МЭМС:

○ — класс; □ — индивид; → — связь

Онтологическое моделирование оптических МЭМС. Формирование онтологии предусматривает сбор информации о существующих оптических МЭМС и проведение комплексного конструктивно-технологического анализа [3]. Рассмотрим оптический МЭМС-переключатель [20]. Микросистема представляет собой массив вертикальных зеркал, перемещение которых обеспечивает переключение с одного выходного канала на другой. Отдельная ячейка массива зеркал показана на рис. 2.

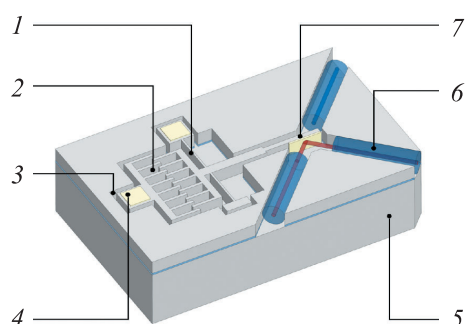


Рис. 2. Оптический МЭМС-переключатель:

- 1 — упругий элемент; 2 — привод;
3 — изоляционная канавка;
4 — контактная площадка; 5 — подложка «кремний на изоляторе»; 6 — волокно;
7 — зеркало

Основной задачей изготовления изделия является обеспечение минимальных оптических потерь и максимальной скорости переключения. Результат конструктивно-технологического анализа оптического переключателя представлен в виде схемы на рис. 3. На схеме отражены конструктивные элементы изделия, их материалы и взаимосвязи с технологическими процессами.

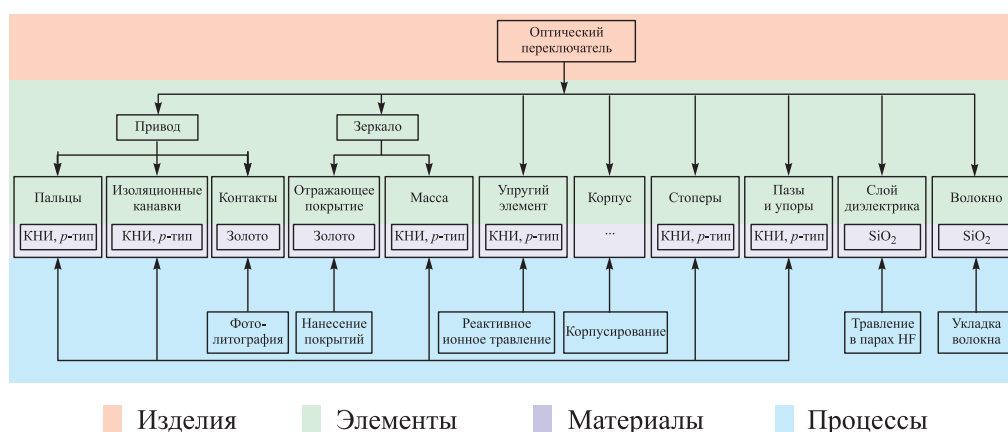


Рис. 3. Результат конструктивно-технологического анализа оптического МЭМС-переключателя (характеристики элементов не показаны, КНИ — кремний на изоляторе)

Далее описание всех МЭМС изделий, проанализированных аналогично, переносится в онтологию в виде триплетов «Субъект–Предикат–Объект». В рассматриваемом случае субъектом и объектом являются индивиды, а предикатом — связь между ними.

Разработка онтологии выполнена с использованием редактора *Protégé*¹. Классы онтологии приведены на рис. 4. Добавлены подклассы «Актuatorы» и «Сенсоры», а оптические микросистемы разбиты на МЭМС с волноводом и свободным распространением излучения. Онтология содержит 20 видов микросистем, среди которых акселерометр Фабри — Перо, аттенюаторы ленточный, мембранный, отражения и преломления, болометр, датчики давления Фабри — Перо и Маха — Цендера, сканирующее микрозеркало и др. В качестве примера на рис. 5 показаны логические связи «Оптического переключателя» с индивидами основных классов паттерна.

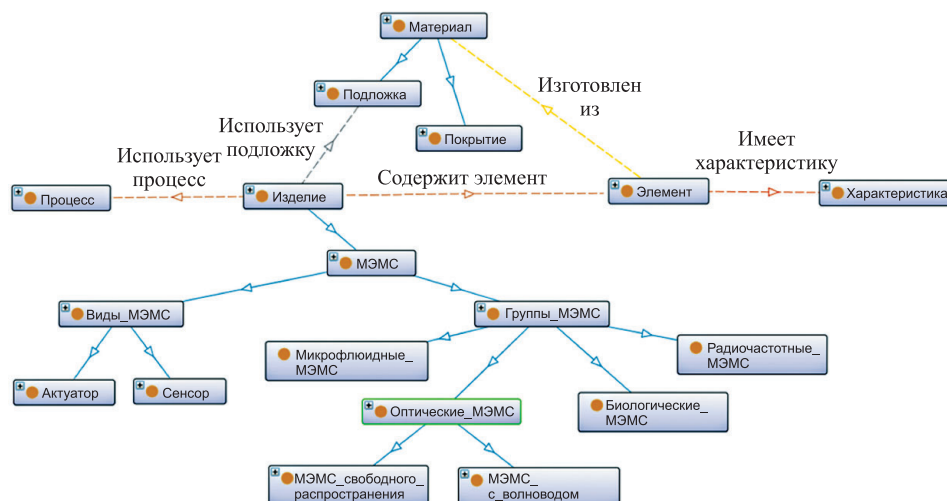


Рис. 4. Классы онтологии оптических МЭМС

Результаты моделирования. Разработанная онтология позволяет ответить на перечисленные выше запросы, кроме перечня изделий, которые можно изготовить с использованием определенных процессов и материалов.

Процесс формулирования запроса заключается в поиске логического пути от индивидов одного класса к индивидам другого. Пример поиска пути для вопроса «Из каких материалов изготовлены элементы изделий?» показан на рис. 6. Вопросы и сформулированные в соответствии с ними запросы к онтологии вместе с результатами представлены на рис. 7.

¹ *Protégé*. <https://protege.stanford.edu/> (дата обращения: 14.03.2026).

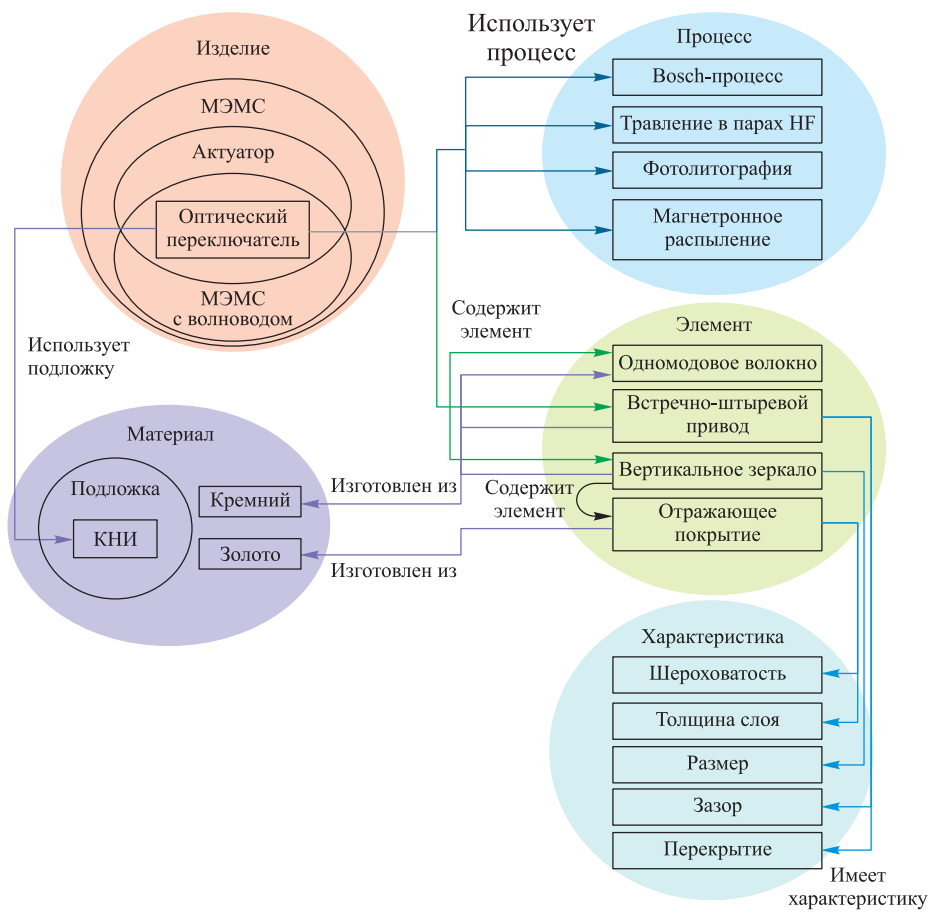


Рис. 5. Индивид «Оптический переключатель» и его связи с индивидами других классов согласно паттерну (элементы показаны частично)

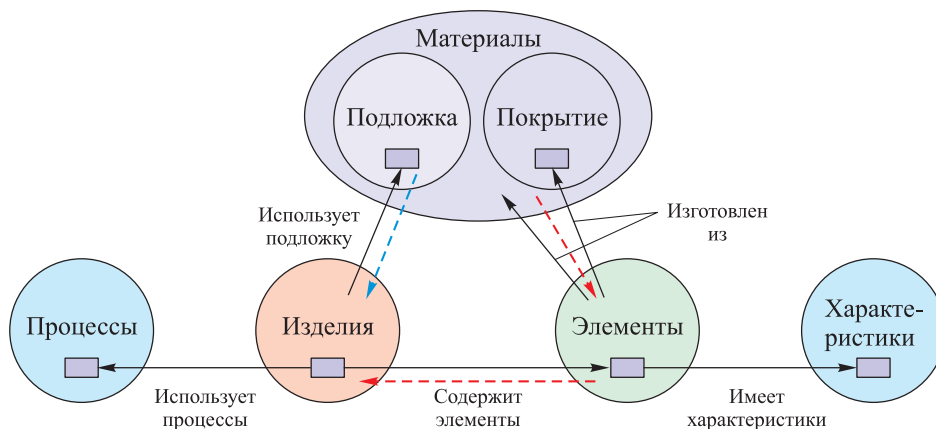


Рис. 6. Пример поиска пути для вопроса «Из каких материалов изготовлены элементы изделий?»:

○ — класс; □ — индивид; → — связь; - -> — пути поиска

Запрос	Процессы, необходимые для изготовления нескольких изделий	Материалы, необходимые для изготовления нескольких изделий
Результат на запрос	Query (class expression) <pre>inverse(ИспользуетПроцесс) value Болометр or inverse(ИспользуетПроцесс) value Акселерометр_фабри-Перо or inverse(ИспользуетПроцесс) value Датчик_давления_Маха-Цендера or inverse(ИспользуетПроцесс) value Оптический_2D_переключатель or inverse(ИспользуетПроцесс) value Сканирующее_зеркало</pre> Execute Add to ontology Query results Instances (6 of 6) ◆ DRIE ◆ HF-пары ◆ KOH_травление ◆ RIE ◆ Нанесение_пленок ◆ Фотолитография	Query (class expression) <pre>inverse(ИзготовленИз) some (inverse(СодержитЭлемент) value Болометр) or inverse(ИспользуетПодложку) value Болометр or inverse(ИзготовленИз) some (inverse(СодержитЭлемент) value Акселерометр_фабри-Перо) or inverse(ИспользуетПодложку) value Акселерометр_фабри-Перо or inverse(ИзготовленИз) some (inverse(СодержитЭлемент) value Датчик_давления_Маха-Цендера) or inverse(ИспользуетПодложку) value Датчик_давления_Маха-Цендера</pre> Execute Add to ontology Query results Instances (5 of 5) ◆ Золото ◆ Кремний ◆ Нитрид_кремния ◆ Оксид_ванадия ◆ Поликремний

a

Запрос	Элементы, из которых состоит изделие	Характеристики элементов в составе изделия
Результат на запрос	Query (class expression) <pre>inverse(СодержитЭлемент) value Атенуатор_препомпния</pre> Execute Add to ontology Query results Instances (3 of 3) ◆ Вертикальная_призма ◆ Встречно-штыревой_привод ◆ Одномодовое_волокно	Query (class expression) <pre>inverse(ИмеетХарактеристику) some (inverse(СодержитЭлемент) value Атенуатор_препомпния)</pre> Execute Add to ontology Query results Instances (3 of 3) ◆ Зазор ◆ Перекрытие ◆ Размер

b

Рис. 7. Примеры запросов к онтологии оптических МЭМС для поиска процессов и материалов для изготовления изделия (a), элементов и характеристик изделия (b)

Заключение. Разработанный паттерн не только позволяет наглядно представлять взаимосвязи технологии изготовления, элементной базы и материалов в сфере оптических МЭМС, но и дает возможность через систему запросов определять необходимый набор операций и материалов для изготовления конкретных изделий, что существенно упрощает процесс, например, для оснащения предприятия необходимым оборудованием. Предложенный метод с использованием паттерна значительно ускоряет разработку онтологии и упрощает ее применение. Перспективным направлением дальнейшего развития является совершенствование паттерна до уровня, позволяющего формировать для пользователя список потенциально производимых изделий оптических МЭМС, с последующим расширением онтологии на всю область МЭМС. Созданная масштабируемая модель формирует базу

для оптимизации производственных циклов в микросистемной технике и открывает возможность для совершенствования систем управления знаниями в цифровой среде.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] El-Sheimy N., Youssef A. Inertial sensors technologies for navigation applications: state of the art and future trends. *Satell. Navig.*, 2020, vol. 1, no. 1, art. 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43020-019-0001-5>
- [2] Chircov C., Grumezescu A.M. Microelectromechanical systems (MEMS) for biomedical applications. *Micromachines*, 2022, vol. 13, no. 2, art. 164. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi13020164>
- [3] Баклыков Д.А. Исследование и разработка физико-технологических методов создания оптических микроэлектромеханических систем. Дис. ... канд. техн. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024.
- [4] Liu A.Q. Photonic MEMS devices. CRC Press, 2018.
- [5] Maluf N., Williams K. An introduction to MEMS. Artech House, 2004.
- [6] Chen W., Jin L., Wang Z., et al. Design and demonstration of an in-plane micro-optical-electro-mechanical-system accelerometer based on Talbot effect of dual-layer gratings. *Micromachines*, 2023, vol. 14, no. 7, art. 1301. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi14071301>
- [7] Zhou F., Bao Y., Madugani R., et al. Broadband thermomechanically limited sensing with an optomechanical accelerometer. *Optica*, 2021, vol. 8, no. 3, pp. 350–356. DOI: <https://doi.org/10.1364/OPTICA.413117>
- [8] Niklaus F., Vieider C., Jakobsen H. MEMS-based uncooled infrared bolometer arrays: a review. *Proc. SPIE*, 2008, vol. 6836, pp. 125–139. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.755128>
- [9] Hortschitz W., Steiner H., Sachse M., et al. An optical in-plane MEMS vibration sensor. *IEEE Sens. J.*, 2011, vol. 11, no. 11, pp. 2805–2812. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2169781>
- [10] Vigna B., Ferrari P., Villa F., et al. Silicon sensors and actuators. Cham, Springer, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80135-9>
- [11] Andronic M.M., Rodionov I.A., Tsvetkov Yu.B. Digital design as a key approach to shortening MEMS development cycle. *ITM Web Conf.*, 2020, vol. 35, art. 01003. DOI: <https://doi.org/10.1051/itmconf/20203501003>
- [12] Зинченко Л.А., Власов А.И., Шахнов В.А. и др. Наноинженерия и инфокоммуникационные технологии. *Вестник РФФИ*, 2015, № 3, с. 97–103. EDN: UYZXRP
- [13] Merrell E., Kelly R., Kasmier D., et al. Benefits of realist ontologies to systems engineering. *OntoCom 2021: 8th Int. Workshop on Ontologies and Conceptual Modeling*, 2021. URL: <https://www.ll.mit.edu/sites/default/files/publication/doc/benefits-realist-ontologies-systems-engineering-merrell-130635.pdf> (дата обращения: 20.12.2025).

- [14] Whetzel P., Noy N., Shah N., et al. BioPortal: enhanced functionality via new Web services from the National Center for Biomedical Ontology to access and use ontologies in software applications. *Nucleic Acids Res.*, 2011, vol. 39, no. S2, pp. 541–545. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkr469>
- [15] Пильник И.С., Баклыков Д.А., Цветков Ю.Б. Онтологическое моделирование оптических микроэлектромеханических систем. *XVI Всерос. конф. молод. уч. и спец. (с междунар. участ.) «Будущее машиностроения России»*. Т. 2. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 266–272. EDN: EJVROC
- [16] Tsvetkov Yu.B., Rodionov I.A., Baklykov D.A., et al. Ontological modeling as a means of enhancing the efficiency of MEMS creation. *7th REEPE*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/REEPE63962.2025.10971080>
- [17] Загорулько Г.Б. Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях. *Онтология проектирования*, 2016, т. 6, № 4, с. 485–500. EDN: XCRJGR
- [18] Загорулько Ю.А., Боровикова О.И. Подход к реализации паттернов содержания при разработке онтологий научных предметных областей. *Системная информатика*, 2018, № 12, с. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.31144/si.2307-6410.2018.n12.p27-40>
- [19] Загорулько Ю.А., Боровикова О.И. Проблемы построения онтологий научных предметных областей на основе паттернов онтологического проектирования. *Информационные технологии и системы. Тр. 7 Всерос. науч. конф. Ханты-Мансийск, ЮНИИИТ*, 2019, с. 157–161. EDN: ZYSRFR
- [20] Gaona E., Gaona P., Montenegro C. Dispositivos de conmutación óptica en redes de nueva generación. *Ingenium Revista de la Facultad de Ingeniería*, 2013, vol. 14, no. 27, pp. 25–40. DOI: <https://doi.org/10.21500/01247492.2592>

Пильник Игорь Сергеевич — лаборант-исследователь НОЦ «Функциональные микро/наносистемы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Баклыков Дмитрий Алексеевич — канд. техн. наук, инженер НОЦ «Функциональные микро/наносистемы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); научный сотрудник ФГУП «ВНИИА» (Российская Федерация, 127055, Москва, Суцевская ул., д. 22).

Цветков Юрий Борисович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Родионов Илья Анатольевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», директор НОЦ «Функциональные микро/наносистемы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); научный руководитель по направлению — начальник лаборатории ФГУП «ВНИИА» (Российская Федерация, 127055, Москва, Суцевская ул., д. 22).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Пильник И.С., Баклыков Д.А., Цветков Ю.Б. и др. Применение паттерна содержания в разработке онтологии оптических микроэлектромеханических систем. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2026, № 1 (154), с. 96–109. EDN: EQBGQQ

**CONTENT PATTERN APPLICATION IN OPTICAL
MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS ONTOLOGY
DEVELOPMENT PROCESS**

I.S. Pilnik¹

D.A. Baklykov^{1,2}

Yu.B. Tsvetkov¹

I.A. Rodionov^{1,2}

pilnikis@bmstu.ru

dimabaklykov@bmstu.ru

tsvetkov@bmstu.ru

irodionov@bmstu.ru

¹ BMSTU, Moscow, Russian Federation

² VNIIA, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article considers a method for improving the efficiency of ontological modeling in the development and production of optical microelectromechanical systems based on the development of an ontology content pattern. The pattern allows for a clear representation of the logical web between the elements that make up a product and their characteristics; products that can be manufactured using specific processes and materials; and the processes and materials required to produce multiple products. The pattern also provides a query system that allows for the determination of the necessary set of operations and materials to produce specific products. Using the example of an optical switch, the procedure for applying the content pattern is shown, starting with the design and technological analysis of the product, including the description of the product's structural elements, their materials, and their web with technological processes. The generated ontology in the *Protégé* editor contains information about 20 types of microsystems, highlighting the logical web between the optical switch of microelectromechanical systems and the individuals of the main pattern classes. This method enhances the efficiency of knowledge management

Keywords

Optical microelectromechanical systems, base elements, microtechnology, ontology, semantic web, pattern

in a digital environment and opens up opportunities for further applications of ontological modeling. The presented model provides for the expansion of its structure and the increase in the degree of detail in describing its elements

Received 22.08.2025

Accepted 04.12.2025

© Author(s), 2026

REFERENCES

- [1] El-Sheimy N., Youssef A. Inertial sensors technologies for navigation applications: state of the art and future trends. *Satell. Navig.*, 2020, vol. 1, no. 1, art. 2.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s43020-019-0001-5>
- [2] Chircov C., Grumezescu A.M. Microelectromechanical systems (MEMS) for biomedical applications. *Micromachines*, 2022, vol. 13, no. 2, art. 164.
DOI: <https://doi.org/10.3390/mi13020164>
- [3] Baklykov D.A. Issledovanie i razrabotka fiziko-tekhnologicheskikh metodov sozdaniya opticheskikh mikroelektromekhanicheskikh sistem. Diss. kand. tekhn. nauk [Research and development of physical and technological methods for the creation of optical microelectromechanical systems. Cand. Sc. (Eng.) Diss.]. Moscow, BMSTU, 2024 (in Russ.).
- [4] Liu A.Q. Photonic MEMS devices. CRC Press, 2018.
- [5] Maluf N., Williams K. An introduction to MEMS. Artech House, 2004.
- [6] Chen W., Jin L., Wang Z., et al. Design and demonstration of an in-plane micro-optical-electro-mechanical-system accelerometer based on Talbot effect of dual-layer gratings. *Micromachines*, 2023, vol. 14, no. 7, art. 1301.
DOI: <https://doi.org/10.3390/mi14071301>
- [7] Zhou F., Bao Y., Madugani R., et al. Broadband thermomechanically limited sensing with an optomechanical accelerometer. *Optica*, 2021, vol. 8, no. 3, pp. 350–356.
DOI: <https://doi.org/10.1364/OPTICA.413117>
- [8] Niklaus F., Vieider C., Jakobsen H. MEMS-based uncooled infrared bolometer arrays: a review. *Proc. SPIE*, 2008, vol. 6836, pp. 125–139.
DOI: <https://doi.org/10.1117/12.755128>
- [9] Hortschitz W., Steiner H., Sachse M., et al. An optical in-plane MEMS vibration sensor. *IEEE Sens. J.*, 2011, vol. 11, no. 11, pp. 2805–2812.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2169781>
- [10] Vigna B., Ferrari P., Villa F., et al. Silicon sensors and actuators. Cham, Springer, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80135-9>
- [11] Andronic M.M., Rodionov I.A., Tsvetkov Yu.B. Digital design as a key approach to shortening MEMS development cycle. *ITM Web Conf.*, 2020, vol. 35, art. 01003.
DOI: <https://doi.org/10.1051/itmconf/20203501003>
- [12] Zinchenko L.A., Vlasov A.I., Shakhnov V.A., et al. Nanoengineering and infocommunication technology. *Vestnik RFFI* [Russian Foundation for Basic Research Journal], 2015, no. 3, pp. 97–103 (in Russ.). EDN: UYZXRP

- [13] Merrell E., Kelly R., Kasmier D., et al. Benefits of realist ontologies to systems engineering. *OntoCom 2021: 8th Int. Workshop on Ontologies and Conceptual Modeling*, 2021. Available at: <https://www.ll.mit.edu/sites/default/files/publication/doc/benefits-realist-ontologies-systems-engineering-merrell-130635.pdf> (accessed: 20.12.2025).
- [14] Whetzel P., Noy N., Shah N., et al. BioPortal: enhanced functionality via new Web services from the National Center for Biomedical Ontology to access and use ontologies in software applications. *Nucleic Acids Res.*, 2011, vol. 39, no. S2, pp. 541–545. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkr469>
- [15] Pilnik I.S., Baklykov D.A., Tsvetkov Yu.B. [Ontological modeling of optical microelectromechanical systems]. *XVI Vseros. konf. molod. uch. i spec. (s mezhdunar. uchastiem) "Budushchee mashinostroeniya Rossii"*. T. 2 [XVI Russ. Conf. Future of the Russian Machine Engineering]. Moscow, BMSTU Publ., 2024, pp. 266–272 (in Russ.). EDN: EJVROC
- [16] Tsvetkov Yu.B., Rodionov I.A., Baklykov D.A., et al. Ontological modeling as a means of enhancing the efficiency of MEMS creation. *7th REEPE*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/REEPE63962.2025.10971080>
- [17] Zagorulko G.B. Development of ontology for intelligent scientific internet resource decision-making support in weakly formalized domains. *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of Designing], 2016, vol. 6, no. 4, pp. 485–500 (in Russ.). EDN: XCRJGR
- [18] Zagorulko Yu.A., Borovikova O.I. Approach to the implementation of content patterns for the development of ontology of scientific subjects domains. *Sistemnaya informatika* [System Informatics], 2018, no. 12, pp. 27–40 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31144/si.2307-6410.2018.n12.p27-40>
- [19] Zagorulko Yu.A., Borovikova O.I. [The problems of development of scientific subject area ontologies based on ontology design patterns]. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy. Tr. 7 Vseros. nauch. konf.* [Information Technologies and Systems. Proc. 7 Russ. Sc. Conf.]. Khanty-Mansiysk, YuNIIIT Publ., 2019, pp. 157–161 (in Russ.). EDN: ZYSRFR
- [20] Gaona E., Gaona P., Montenegro C. Dispositivos de conmutación óptica en redes de nueva generación. *Ingenium Revista de la Facultad de Ingeniería*, 2013, vol. 14, no. 27, pp. 25–40. DOI: <https://doi.org/10.21500/01247492.2592>

Pilnik I.S. — Laboratory Researcher, Scientific-Educational Center of Functional Micro/Nanosystems, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Baklykov D.A. — Cand. Sc. (Eng.), Engineer, Scientific-Educational Center of Functional Micro/Nanosystems, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation); Research Scientist, VNIIA (Sushchevskaya ul. 22, Moscow, 127055 Russian Federation).

Tsvetkov Yu.B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Electronic Technology in Mechanical Engineering, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Rodionov I.A. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Design and Production Technology of Electronic Equipment, Director of the Scientific-Educational Center of Functional Micro/Nanosystems, BMSTU (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation); Scientific Supervisor in the Field — Head of the Laboratory, VNIIA (Sushchevskaya ul. 22, Moscow, 127055 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Pilnik I.S., Baklykov D.A., Tsvetkov Yu.B., et al. Content pattern application in optical microelectromechanical systems ontology development process. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2026, no. 1 (154), pp. 96–109 (in Russ.). EDN: EQBGQQ