

7. Medik V. A., Tokmachev M. S. *Rukovodstvo po statistike zdorovya i zdravookhraneniya* [Guide to statistics of health and health care]. Moscow, Meditsina Publ., 2006.
8. Petrovsky B. V. (ed.). *Bolshaya meditsinskaya entsiklopediya* [Big medical encyclopedia]. 3rd ed. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1988.
9. Prikaz Minzdrava RF ot 27.05.1997 № 170 (red. ot 12.01.1998) «O perekhode organov i uchrezhdeniy zdavookhraneniya Rossiyskoy Federatsii na mezhdunarodnyuyu statisticheskuyu klassifikatsiyu bolezney i problem, svyazannykh so zdorovem, X peresmotra» (vmeste s «Planom osnovnykh meropriyatiy po perekhodu organov i uchrezhdeniy zdavookhraneniya Rossiyskoy Federatsii na MKB-X na 1997–1998 gody», «Programmy obuchayushchego tsentra po vnedreniyu mezhdunarodnoy statisticheskoy klassifikatsii bolezney i problem, svyazannykh so zdorovem, X peresmotra») [The order of the Russian Ministry of Health of 27.05.1997 № 170 (an edition of 12.01.1998) «About transition of bodies and healthcare institutions of the Russian Federation to the international statistical classification of the diseases and problems connected with health, the X revision» (together with «The plan of the main actions for transition of bodies and healthcare institutions of the Russian Federation for MKB-X for 1997–1998», «The program of the training center for introduction of the international statistical classification of the diseases and problems connected with health, the X revision»)]. *Zdravookhranenie* [Health Care], 1997, no. 7.
10. Podinovskiy V. V., Potapov M. A. Metod vzveshennoy summy kriteriev v analize mnogokriterialnykh resheniy: PRO ET CONTRA [A method of the weighed sum of criteria in the analysis of multicriteria decisions: PRO ET CONTRA]. *Biznes-informatika* [Business information scientist], 2013, no. 3 (25), pp. 41–48.
11. The resolution of the Government of the Russian Federation of 26.12.2017 № 1640 (an edition of 29.03.2019) «About the approval of the state program of the Russian Federation «Development of health care». *A collection of the legislation of the Russian Federation*, 01.01.2018, no. 1 (Part II), Article 373.
12. Regiony Rossii. Sotsialno-ekonomicheskie pokazateli. 2018 : statisticheskiy sbornik. Regions of Russia [Socio-economic indexes. 2018 : statistical compilation]. Moscow, 2018. 1162 p.
13. Reshetnikov A. V. Sotsialnyy portret bolnogo s arterialnoy gipertenziey [A social portrait of the patient with arterial hypertension]. *Sotsiologiya meditsiny* [Medicine Sociology], 2016, no. 2 (15), pp. 80–86.
14. Strashnikova T. N. Sravnitelnyy analiz obshchey i pervichnoy zaboлеваemosti u lits trudospobnogo vozrasta v Rossiyskoy Federatsii i na ee administrativnykh territoriyakh [The comparative analysis of the general and primary incidence at persons of working-age in the Russian Federation and in its administrative territories]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 2. Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12717> (accessed 20.05.2019).

УДК 004.896

ВЫБОР МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Статья поступила в редакцию 30.05.2019, в окончательной варианте – 10.06.2019.

Большаков Александр Афанасьевич, Санкт-Петербургский технологический институт (технический университет), 190013, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 26
доктор технических наук, профессор, e-mail: aabolshakov57@gmail.com

Малый Лев Владимирович, Санкт-Петербургский технологический институт (технический университет), 190013, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 26
аспирант, e-mail: lev.malyu@gmail.com

Причина возникновения дефектов печатных плат в основном заключается в несоблюдении технологии или несовершенстве их производства. Для уменьшения количества возникающих дефектов и оптимизации производственных процессов актуальна задача разработки системы интеллектуальной поддержки принятия решений, предназначенной для управления качеством обработки заготовок в производстве печатных плат. Основой разрабатываемой системы интеллектуальной поддержки принятия решений является модель представления знаний и ее программная реализация. Эта часть разработки является одним из модулей экспертной системы, предназначенной для информирования оператора линии производства о причинах возникающих дефектов и объяснения того, как избежать их появления в будущем. Для этого выполнен аналитический обзор предметной области производства печатных плат с выявлением основных характеристик контроля качества. На основе этого обзора обоснованы основные задачи и требования к системе управления знаниями, которые используются в системе интеллектуальной поддержки принятия решений. Выполнен обзор существующих моделей представления знаний, и на основе сформированных требований выбрана модель, соответствующая требованиям обеспечения агрегации, классификации и систематизированного описания знаний; обеспечения возможности обновления и повторного использования знаний. Также модель отвечает поставленным задачам по накоплению и систематизации актуальных знаний о дефектах. При этом обеспечивается возможность постоянного расширения объема информации, учитываемой в модели, поддержки функционала по фильтрации и семантическому поиску знаний и пр. Выполнен обзор существующих средств разработки онтологий. В результате сравнения характеристик рассмотренных систем разработки выбран программный комплекс Protégé. На основе его

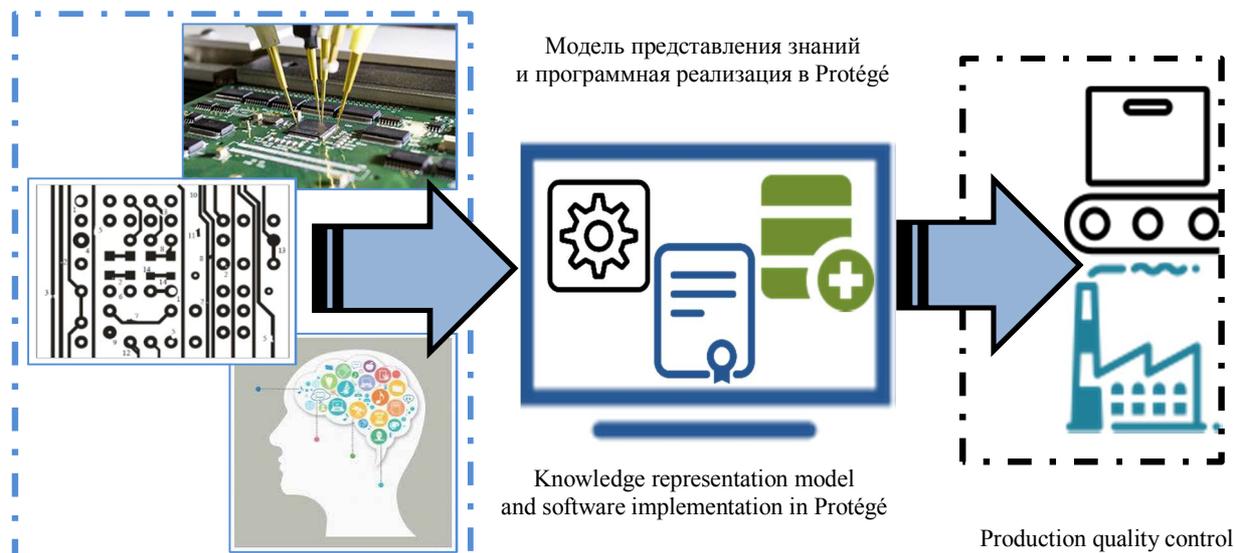
использования разработана модель представления знаний о дефектах проводящего рисунка печатной платы. Эта модель предназначена для последующего использования в экспертной системе.

Ключевые слова: печатная плата, дефекты, модели представления знаний, онтология, система поддержки принятия решений, информационные технологии

Графическая аннотация (Graphical annotation)

Знания о дефектах проводящего рисунка печатных плат и причинах их возникновения, а также опыт работников производства

Контроль качества на производстве



Knowledge of defects in the conductive pattern of printed circuit boards and their causes, as well as the experience of production workers

Production quality control

SELECTION OF THE KNOWLEDGE REPRESENTATION MODEL FOR THE INTELLECTUAL QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF PART PROCESSING IN PCB PRODUCTION

The article was received by editorial board on 30.05.2019, in the final version – 16.06.2019.

Bolshakov Aleksandr A., Saint-Petersburg State Institute of Technology, 26 Moskovsky prospect, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: aabolshakov57@gmail.com

Malyy Lev V., Saint-Petersburg State Institute of Technology, 26 Moskovsky prospect, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation

post-graduate student, e-mail: lev.malyy@gmail.com

The cause of defects in printed circuit boards is mainly in non-compliance with technology or the imperfection of their production. To reduce emerging defects and optimize production processes, the development of an intelligent decision support system for managing the quality of processing work pieces in the production of printed circuit boards becomes urgent. The basis of the developed decision support system becomes the knowledge representation model and its software implementation, since it is one of the modules of the expert system for informing the production line operator about the causes of the arising defects and explaining how to avoid their development in the future. For this purpose, an analytical review of the subject area of printed circuit board production with the identification of the main characteristics of quality control was performed. Based on this review, the main objectives and knowledge management system requirements have been developed, which are used to monitor decision support system. A review of existing knowledge representation models was made and based on the generated requirements, a selection was made of a model that meets the requirements for ensuring aggregation, classification and systematic description of knowledge, ensuring the possibility of updating and reusing them, as well as the tasks to accumulate and systematize actual knowledge about defects, with the possibility of constant expansion of information, providing functionality for filtering and semantic search for knowledge and others. A review of the existing ontology development tools with the subsequent selection of the Protégé software package based on the comparative characteristics of the systems is made, and with its use a model for representing knowledge about defects in the printed circuit board pattern has been developed for later use in the expert system.

Keywords: printed circuit board, defects, knowledge representation models, ontology, decision support system

Введение. Из-за малых допусков деталей, высокой стоимости каждой из них, а также сложности в последующей диагностике неисправностей, необходимо следить за производством деталей на ранних этапах их изготовления [11]. Преждевременная локализация проблемы существенно снижает количество дефектных печатных плат (ПП) и позволяет разработать методы для прекращения возникновения таких проблем [12]. Система интеллектуальной поддержки принятия решений (СППР) поможет оператору устранить возникшую поломку и выявит возможную причину возникновения дефекта и позволяет определить действия, чтобы в дальнейшем исключить его повторное появление. Для этого необходимо разработать систему представления знаний, которая отражает область исследования и является основой для разработки базы знаний возникающих дефектов печатной платы. Целью данной статьи является составление аналитического обзора моделей представления знаний, удовлетворяющих требованиям и задачам СППР, а также выбор программного обеспечения для подбора системы управления знаниями (СУЗ) и внедрения ее в экспертную систему.

Общая характеристика предметной области. Знания отличаются свойством постоянного воспроизводства и усложнения как на уровне их качественных, так и количественных характеристик. Это приводит к тому, что для работы со знаниями необходимы особые методы для их получения, хранения и повторного использования. Выбор подходящей и адекватной модели представления знаний становится одной из важных и сложных задач работы со знаниями [8, 16].

Главной задачей информационной инженерии – области наук об искусственном интеллекте, занимающейся базами знаний (БЗ) и методами работы с ними, – является умение хранить знания таким образом, чтобы программные модули могли обрабатывать их подобно специалистам определенной предметной области. Причем знания должны быть представлены в виде достаточно формальном, чтобы модель представления знаний (МПЗ) однозначно интерпретировалась модулями программы инвариантно по отношению к разработчику БЗ.

Изделия современной электротехнической промышленности производятся с использованием печатного монтажа, имеющего многослойную структуру. Ее основными элементами являются электрическое непроводящее основание и проводящий рисунок проводников. Известно, что причина возникновения дефектов печатных плат (ПП) на 30–40 % заключается в несоблюдении технологии или несовершенстве их производства.

Современное производство печатных плат состоит из множества этапов. Каждый из них отвечает за различные структурные и конструктивные элементы ПП. В общем процесс производства можно описать следующим образом (рис. 1).

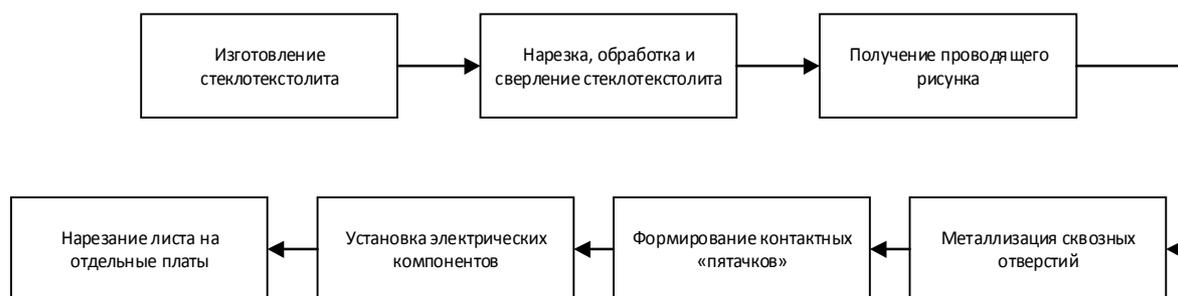


Рисунок 1 – Обобщенная структура производства печатных плат

Современные радиоэлектронные средства отличаются, как правило, высокой сложностью и уровнем интеграции компонентов, способностью работать в тяжелых условиях эксплуатации, многослойностью используемых ПП, что приводит к их сложной архитектуре, высокой плотности расположения печатных проводников и монтируемых элементов.

Электротехнические системы с длительным сроком активного существования относятся к классу аппаратуры, характеризующейся повышенными показателями надежности из-за практической невозможности проведения замены и ремонта в течение срока функционирования устройства [13]. Кроме этого, также достаточно сложно использовать статистический анализ отказов аппаратуры и ее отдельных компонентов из-за слишком сложной многослойной архитектуры деталей и отсутствия данных о дефектах и последующем функционировании элементов, использующих ПП с производств электротехнических деталей. Надежность функционирования электротехнической детали как сложной технической системы определяется элементом (в нашей случае, печатной платой), имеющим наименьшую надежность в структуре электронных компонентов. Одной из задач является повышение надежности печатных плат. Она является одной из важнейших, так как для этих компонентов электронных блоков традиционные методы повышения надежности, как, например, резервирование, практически непригодны.

Из-за малых конструкционных допусков деталей, высокой стоимости каждой из них, а также сложности в последующей диагностике неисправностей, необходимо осуществлять мониторинг производства деталей на ранних этапах их изготовления [12]. Своевременная локализация возникшего дефекта существенно снижает количество дефектных печатных плат на основе разработки методов для предотвращения их последующего возникновения. В связи с этим актуальной является разработка СУЗ, которую предлагается использовать при построении системы интеллектуальной поддержки принятия решений, применяемой в производстве печатных плат.

Основными задачами СУЗ являются:

- накопление и систематизация актуальных знаний о дефектах с возможностью постоянного расширения объема информации;
- обеспечение функционала по фильтрации и семантическому поиску знаний;
- обеспечение простоты и наглядности структуры знаний для пользователя и оператора экспертной системы;
- универсальность системы при использовании на других типах производств.

СУЗ должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение агрегации, классификации и систематизированного описания знаний;
- обеспечение возможности обновления и повторного использования знаний;
- использование явной концептуализации предметной области при описании семантики знаний;
- обеспечение функционала по интегрированию и совместному использованию данных и знаний разного типа в структуре системы поддержки принятия решений.

Сравнительный анализ достоинств и недостатков основных моделей представления знаний. Существует около десятка МПЗ, большинство из которых можно свести к следующим классам:

- семантические сети;
- фреймы;
- продукционные;
- предиктивные модели;
- объектно-ориентированные модели.

Семантическая сеть состоит из узлов и дуг, которые описывают отношения между узлами. Узлы могут представлять события, концепции или объекты [1, 9]. Дуги могут иметь различные формы описания в зависимости от предметной области и вида представления знаний. Часто дуги могут иметь тип «иметь часть» (has – part) или «является» (is – a). Для предметной области контроля производства печатных плат узлами могут быть различные дефекты, которые возникают на этапе нанесения рисунка проводников печатной платы; свойства этих дефектов, их влияние на работу печатной платы и т.д. [17, 25, 29]. На рисунке 2 предметная область производства печатных плат изображена в форме семантической сети.

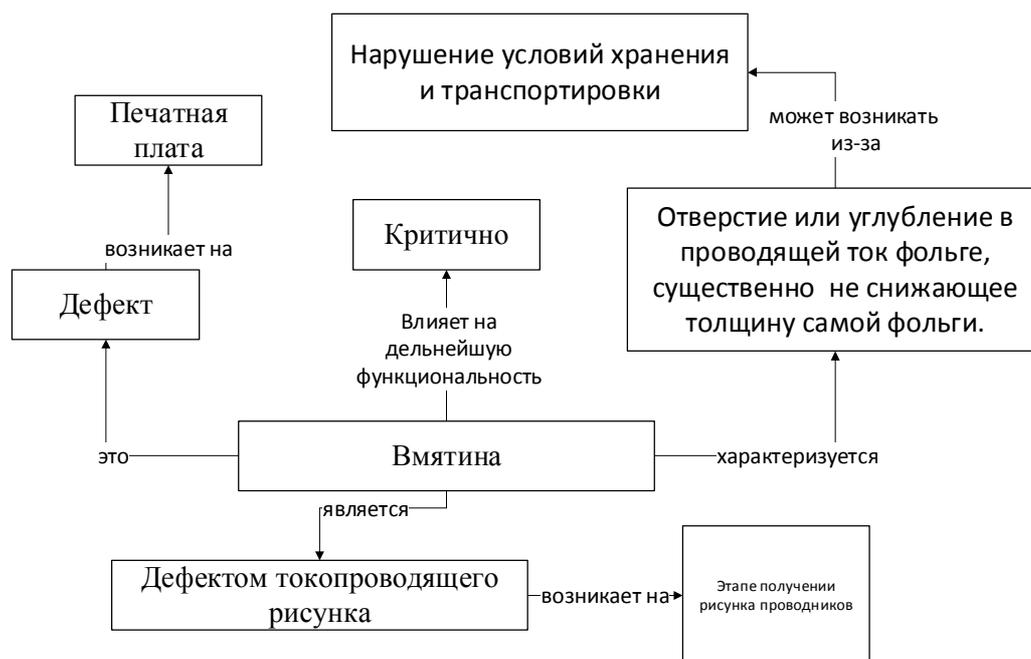


Рисунок 2 – Фрагмент семантической модели представления знаний о возникающих на различных этапах производства дефектах печатной платы при фотолитографической технологии производства

Подобные типы взаимосвязи узлов определяют иерархию наследования в сети, т.е. от элементов более высокого уровня элементы более низкого уровня могут наследовать свойства. Выводы на основе семантической сети формируются через взаимосвязи между наборами множества дуг, имеющих общие узлы [21, 24].

Из достоинств подобного представления можно выделить универсальность и простоту «настраивания» под конкретную предметную область. Визуальная наглядность также является одним из достоинств семантических сетей. Семантические сети не позволяют получить новые знания, так как описывают «статичные» данные. В нашем случае данные о дефектах постоянно накапливаются, увеличивая объемы данных, резко усложняя решение задачи вывода решений. Это свойство накладывает существенные ограничения на размерность и объем моделей.

Семантическая сеть не подходит для нашего случая, при этом следует отметить, что она впоследствии может являться источником данных для производственной модели данных.

Фрейм – это сеть узлов и отношений между ними, имеющих иерархическую структуру [2]. Архитектура фрейма выглядит следующим образом: структура состоит из нескольких слотов. Каждый слот имеет назначение и его значение. Со слотами могут быть связаны процедуры, занимающиеся специфической обработкой значений в слотах. По организации фрейм аналогичен семантической сети. Верхние узлы описывают общие понятия, а нижние узлы – частные случаи понятий [5, 14]. Понятие в узле формируется набором атрибутов (слотов) и их значениями. Каждый атрибут может быть связан с процедурами, выполняющимися в момент изменения информации в слотах. Вариант фреймовой модели представления знаний для области производства печатных плат представлен на рисунке 3.

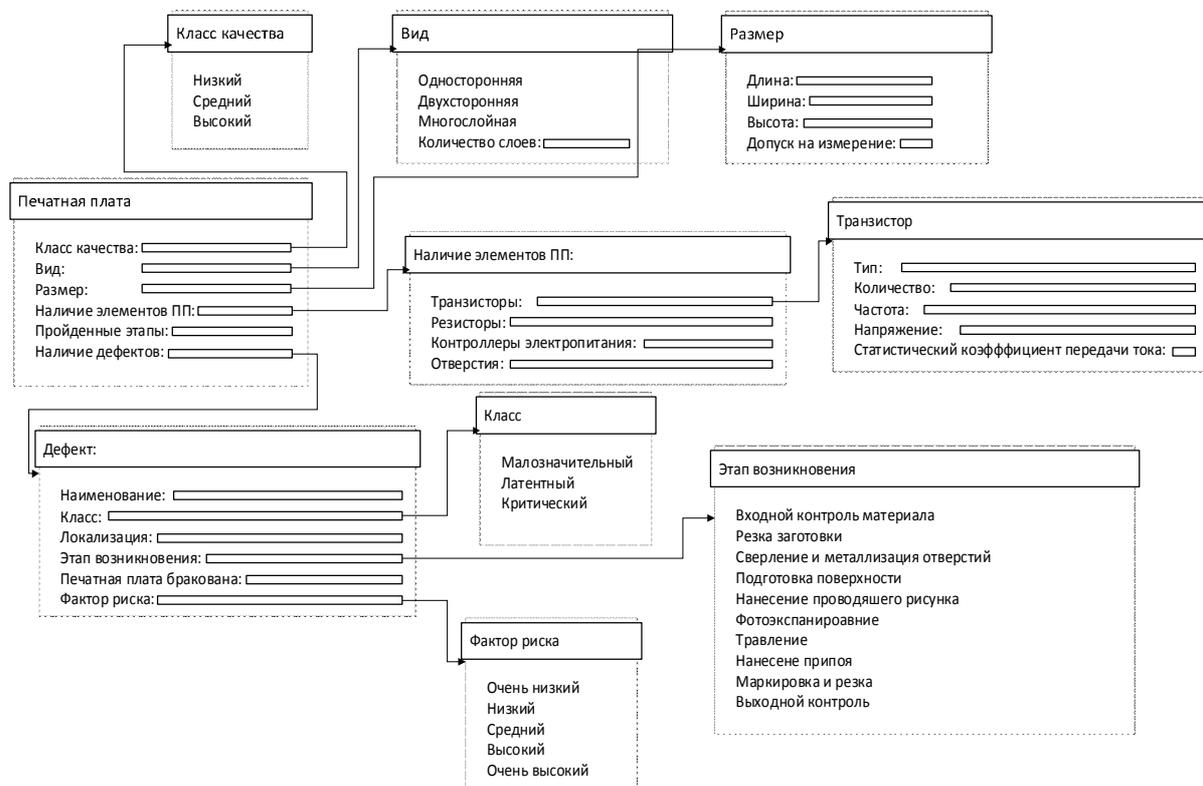


Рисунок 3 – Фрагмент фреймовой модели представления знаний о возникающих на различных этапах производства дефектах печатной платы при использовании фотолитографической технологии производства

Достоинствами фреймовой модели являются универсальность (различают фреймы-ситуации, фреймы-роли и т.п.), наглядность и интуитивная понятность. Также фреймы имеют способность наследования значений характеристик родителей и возможность использования некоторых теоретическомножественных операции, таких как объединение и пересечение.

Фреймы обладают рядом недостатков. Среди них следует выделить: «скептические» и «доверчивые» [15] системы из-за неоднозначности представления знаний; из-за свойства наследуемости изменения в родительском или корневом узле могут быть небезопасными (потеря информации) для дочерних узлов (проблема хрупкости базового узла); также из-за наследования при увеличении знаний в системе образуется большой граф иерархии наследования, что снижает читаемость и повышает слож-

ность вычислительных задач при масштабируемости. Все перечисленные недостатки нередко приводят к неэффективности системы обработки знаний с использованием фреймов.

Продукционная модель основана на правилах и позволяет формулировать знания в виде предложений «ЕСЛИ (условия), то (действие)». Когда условие выполняется (ситуация или факт), то выполняется действие. Оно может являться воздействием на окружающий мир, влиять на управление программным комплексом или добавлять новое условие в базу данных (БД) [19].

На рисунке 4 представлена предметная область обнаружения причины дефекта печатных плат в виде продукционной модели.

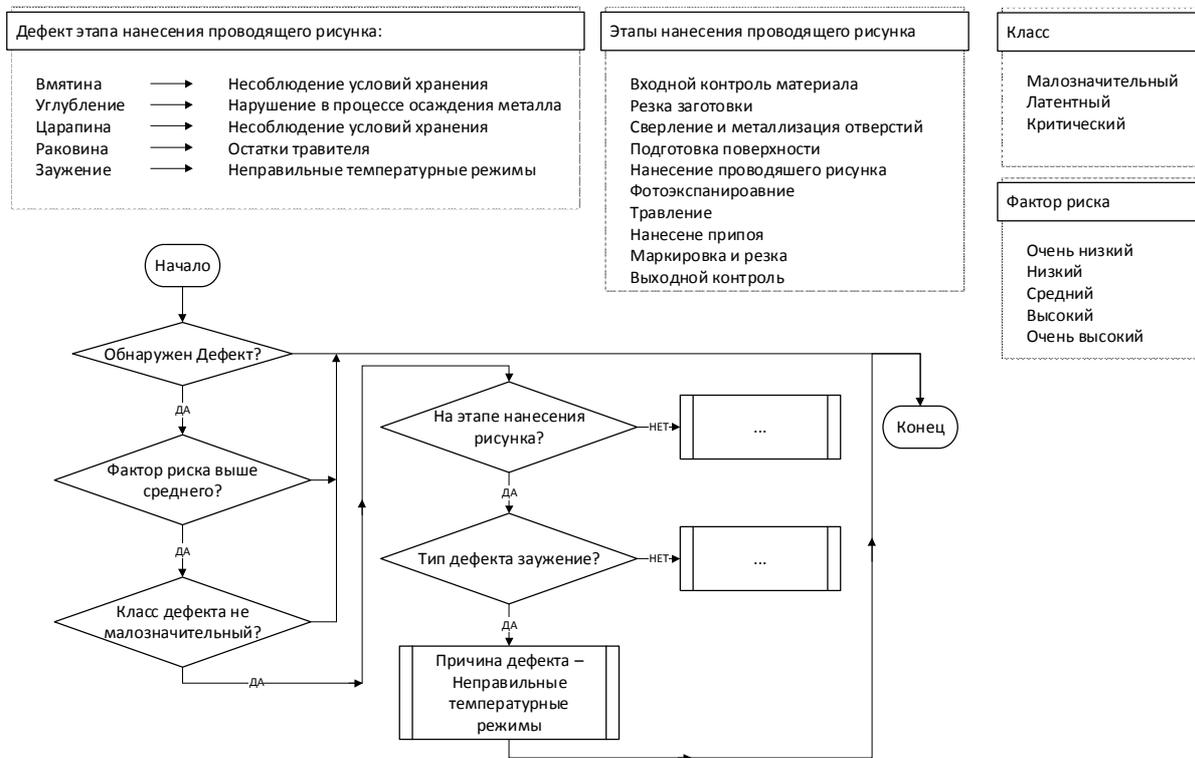


Рисунок 4 – Фрагмент продукционной модели представления знаний о дефектах, возникающих в печатных платах на различных этапах их производства по фотолитографической технологии

В итоге создается дерево решений, т.е. цепочка выводов по заданным условиям. Подобная структура позволяет добавлять в систему новые знания без необходимости вносить изменения или «вдаваться в смысл» других знаний [20]. С другой стороны, эта МПЗ имеет ряд недостатков: неясность взаимных отношений правил, низкая эффективность обработки знаний при больших объемах правил в БЗ, сложность оценки целостности и непротиворечивости знаний. Эта МПЗ не подойдет для описания предметной области производства печатных плат, однако эффективна в СППР при обнаружении причины возникновения дефекта печатных плат на основе созданной информационной модели «дефект-причина».

Основанная на логике предикатов **предиктивная модель** представления знаний (иногда называется логической/символьной моделью) является одним из разделов математической логики и основана на понятиях термина и предиката [4, 12]. Термом называется формализм представления знаний, который устанавливает соответствие знакомых символов описываемому объекту. Предикат используется для описания отношений сущностей в виде реляционной формулы, в которой содержатся термины. Среди достоинств предиктивной модели отметим универсальность представления знаний. При этом сложность оценки целостности образа знаний и низкая эффективность их обработки сильно снижают применимость этой МПЗ области описания предметной области производства печатных плат.

Элементом представления знаний в **объектно-ориентированной модели** является объект. В нем совмещены данные и функции (методы). Каждый элемент класса имеет набор характеристик, который связывает его с другими объектами класса [10, 21]. Подход «работает» с двумя понятиями: классификация – средство упорядочения знаний по группам и классам; абстракция – выделение важных характеристик каждого элемента и определение его концептуальных границ относительно наблюдателя. Усложненность этого МПЗ, сложность реализации и высокая требовательность к ресурсам модели и программного комплекса не затрудняет ее использование для описания предметной области производства печатных плат.

Все большую популярность приобретает форма представления знаний под названием «онтология», которая объединяет решение всех вышеописанных задач. Онтология может быть использована в качестве исходной структуры для БЗ, определяя иерархически структурированное множество терминов, описывающих предметную область [3, 21]. Она реализует представление об исследуемых объектах как о множестве сущностей, которые характеризуются определенным набором свойств [6, 22, 23]. Сущности находятся в определенных отношениях и объединяются по различным признакам в классы. В итоге описываемая область представляется в качестве иерархической БЗ, над которой впоследствии имеется возможность осуществлять проверку целостности, достоверности данных и семантический поиск по ним.

При существующих требованиях к СУЗ следует отметить, что применение онтологии позволит:

- облегчить коммуникацию и передачу информации между операторами экспертной системы на основе предоставления совместно используемых понятий, которые применяются для описания знаний вне зависимости от экземпляров предметной области [7, 26];
- улучшить поиск по предметной области из-за большего количества вариантов описания отношений между элементами в онтологии, что также позволит существенно упростить визуализацию, классификацию и анализ данных;
- на основе большого количества сред построения онтологий выполнение логического вывода становится проще реализовать. Структура онтологий и их разработки также позволяет определить причину связей между элементами онтологии для последующей обработки и прогнозирования [27, 28].

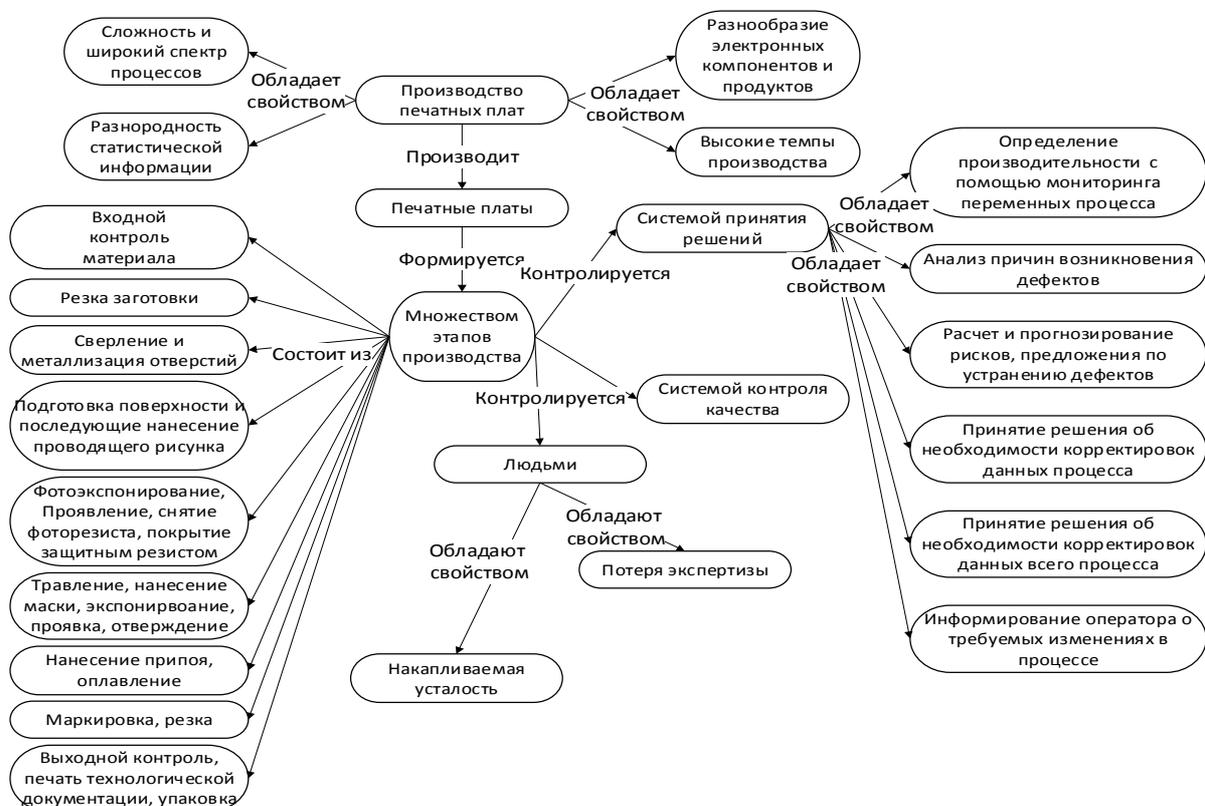


Рисунок 5 – Фрагмент онтологической модели представления знаний о возникающих на различных этапах производства дефектах печатной платы при фотолитографической технологии производства

В таблице 1 представлен **итоговый анализ сравнения** систем представления знаний.

На основе сравнения достоинств и недостатков наиболее часто используемых моделей представления знаний и выявления требованиям к разрабатываемой СУЗ выбор сделан в пользу онтологического и производственного представления. Это позволит разработать простую и логичную структуру СУЗ. Используемая в дальнейшем экспертная система на основе разработанной системы управления знаниями позволит реализовать эффективную, масштабируемую и наглядную СППР производства печатных плат.

Таблица 1 – Сравнение характеристик моделей представления знаний

Требования МПЗ	Универсальность относительно предметной об- ласти	Наглядность представления знаний	Эффективность и простота реализации	Простота оценки целостности данных	Масштабируемость
Семантические сети	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
Фреймы	Средняя	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая
Производственные модели	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя
Предиктивные модели	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя
Объектно- ориентированные модели	Низкая	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Онтология	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая

Анализ возможностей наиболее популярных редакторов онтологий. В последние годы количество доступных редакторов онтологий существенно увеличилось – более 100 [18]. При этом из-за частой разработки онтологий под конкретную задачу трудно встретить универсальное решение. Авторами выполнен анализ существующих решений, на основе которого составлена таблица, описывающая основные характеристики популярных редакторов онтологий (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение редакторов онтологий

Название	Краткое описание (основные функции)	Список поддерживаемых формализмов, языков и форматов
Ontolingua (http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/)	Совместная разработка онтологий	OKBC, KIF
Protege (https://protege.stanford.edu/)	Создание, просмотр онтологий	JDBC, UML, XML, XOL, SHOE, RDF/RDFS, DAML+OIL, OWL
OntoSaurus (http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KA-W96/swartout/ontosaurus_demo.html)	Web-браузер баз знаний на языке LOOM	LOOM
OntoEdit (http://www.daml.org/tools/)	Разработка и поддержка онтологий	F-Logic, RDFS, OIL, OXML
OilEd (http://oiled.semanticweb.org/building/)	Разработка онтологий, поддержка логического вывода	DAML+OIL
WebOnto (https://projects.kmi.open.ac.uk/webonto/)	Многопользовательская разработка онтологий	OCML
WebODE (http://mayor2.dia.fi.upm.es/oeg-upm/index.php/en/old-technologies/60-webode/)	Создание онтологий на основе методологии Methontology	F-Logic, LOOM, Ontolingua

В качестве редактора выбрано решение под названием Protégé из-за его универсальности, простоты интерфейса и разработки онтологий. Это программное средство имеет широкий спектр применения, обширное сообщество разработчиков онтологий и большое количество дополнительных средств от сторонних разработчиков (плагинов) для отрисовки онтологий, экспорта в различные программные среды, поиск проблем структуры и прочее – https://protegewiki.stanford.edu/wiki/Protege_Plugin_Library.

Это впоследствии позволит внедрить разработанную структуру онтологии в СИПР для системы контроля качества производства печатных плат.

С использованием программы Protégé разработана онтологическая схема для сферы производства печатных плат (рис. 6). Ее вариант, разработанный с помощью MS Visio, на русском языке представлен на рисунке 5.

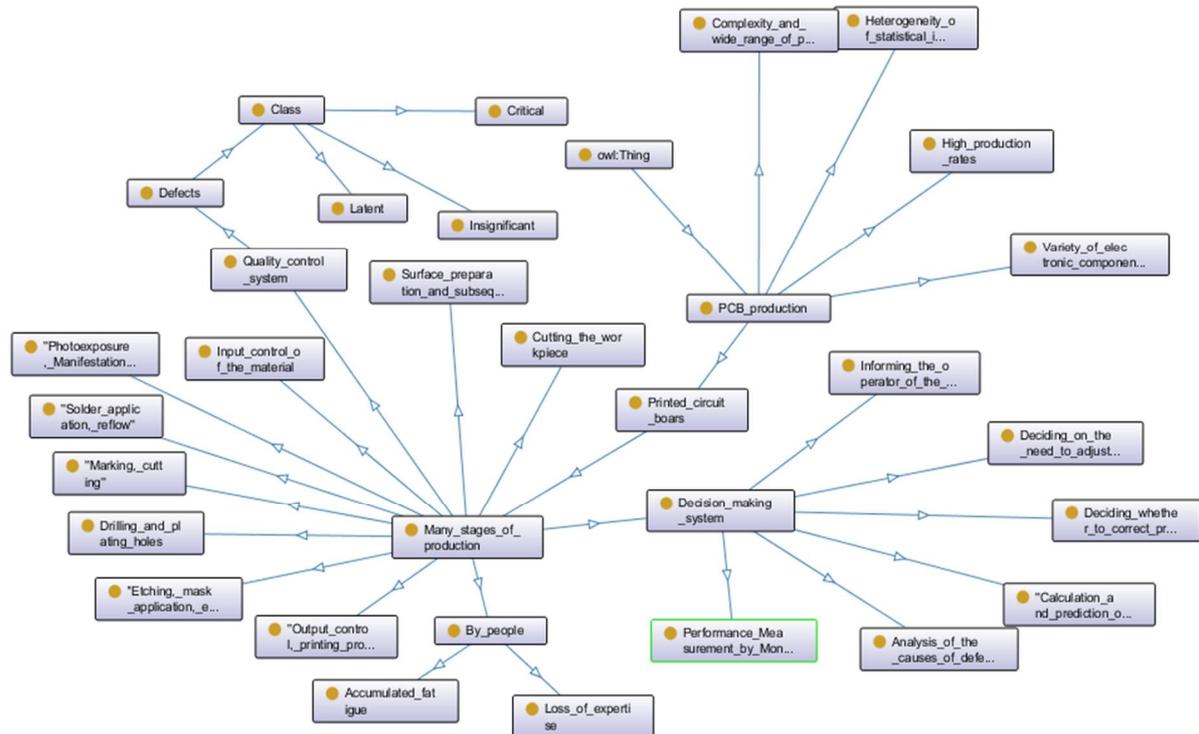


Рисунок 6 – Онтологическая модель предметной области производства ПП

После создания онтологической модели и задания значений параметров узлов и их связей система Protégé создает описание структуры онтологии (рис. 7), которая используется в СППР при производстве электротехнического оборудования.

```

<!-- http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Controlled_by -->
<owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Controlled_by">
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#By_people"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Decision_making_system"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Quality_control_system"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Many_stages_of_production"/>
</owl:ObjectProperty>

<!-- http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Implements -->
<owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Implements">
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Analysis_of_the_causes_of_defects"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Deciding_on_the_need_to_adjust_the_data_of_the"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Deciding_whether_to_correct_process_data"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Informing_the_operator_of_the_required_changes"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Performance_Measurement_by_Monitoring_Process"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Calculation_and_prediction_of_risks_proposals"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/mrlev/ontologies/2019/4/untitled-ontology-3#Decision_making_system"/>
</owl:ObjectProperty>

```

Рисунок 7 – Представление онтологической модели в формате RDF/XML

Рассмотренное выше представление позволит внедрить подготовленную онтологию в разрабатываемую экспертную систему в качестве описания предметной области производства печатных плат.

Выводы. Разработанная онтологическая модель предметной области используется в разрабатываемой системе поддержки принятия решений для производства печатных плат. Эта модель позволяет быстро и эффективно добавлять и обрабатывать знания в экспертной системе, которая является одним из модулей СППР. После проведенного анализа становится очевидным, что СППР в электротехническом производстве должна иметь гибридную МПЗ, в которой будет участвовать онтологическая и продуктивные модели.

С использованием онтологической модели будет описана предметная область производства печатных плат. На ее основе продуктивная модель позволит пользователю накапливать новые знания и получать интеллектуальную поддержку по причинам и рискам возникающих дефектов.

По мнению авторов, это позволит максимально полно описать предметную область и упростить архитектуру СППР для корректного сбора и обработки знаний.

Библиографический список

1. Барановская Т. П. Информационные системы и технологии в экономике / Т. П. Барановская, В. И. Лойко, М. И. Семенов, А. И. Трубилин. – Москва : Финансы и статистика, 2005. – 416 с.
2. Бирюков Д. Н. Когнитивно-функциональная спецификация памяти для моделирования целенаправленного поведения киберсистем / Д. Н. Бирюков // Труды СПИИРАН. – 2015.
3. Бирюков Д. Н. Денотационная семантика контекстов знаний при онтологическом моделировании предметных областей конфликта / Д. Н. Бирюков, А. Г. Ломако // Труды СПИИРАН. – 2015. – Вып. 5 (42). – С. 155–179 ; Вып. 3 (40). – С. 55–76.
4. Бова В. В. Моделирование области знаний в системах поддержки принятия решений для непрерывного профессионального обучения / В. В. Бова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 242–248.
5. Бочаров В. А. Основы логики / В. А. Бочаров, В. И. Маркин. – Москва : МГУ, 2008. – 194 с.
6. Вебер А. В. Knowledge-технологии в консалтинге и управлении предприятием / А. В. Вебер, А. Д. Данилов, С. И. Шифрин. – Москва : Наука и техника, 2002. – 176 с.
7. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – Санкт-Петербург : Питер, 2000. – 384 с.
8. Крисилов В. А. Сравнительный анализ моделей представления знаний в интеллектуальных системах / В. А. Крисилов, С. М. Побережник, Р. А. Тарасенко // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1998. – Вып. 2. – С. 45–49.
9. Кузнецов П. П. Семантические представления / П. П. Кузнецов. – Москва : Наука, 2006. – 295 с.
10. Любченко В. В. Модели знаний для предметных областей учебных курсов / В. В. Любченко // Искусств. интеллект. – 2008. – № 4. – С. 458–462.
11. Малый Л. В. Системный анализ интеллектуальной системы управления качеством обработки заготовок в производстве печатных плат // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-31 : сб. тр. XXXI Междунар. науч. конф. : в 12 т. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН ; Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т ; Минск : БНТУ, 2018. – Т. 10. – С. 80–84.
12. Малый Л. В. Обзор методов, применяемых в системах технического зрения при решении задач контроля производства деталей для электротехнического оборудования / Л. В. Малый // ВИНТИ РАН. – 2017. – № 74-B2017. – 54 с.
13. Малый Л. В. Интеллектуальная система управления качеством обработки заготовок в производстве печатных плат / Л. В. Малый, А. А. Большаков // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2018. – № 47 (73). – С. 121–127.
14. Минский М. Л. Фреймы для представления знаний / М. Л. Минский. – Москва : Энергия, 2009. – 152 с.
15. Представление знаний в экспертных системах : учеб. пос. / сост. В. А. Морозова, В. И. Паутов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 120 с.
16. Тузовский А. Ф. Системы управления знаниями (методы и технологии) / А. Ф. Тузовский, С. В. Чириков, В. З. Ямпольский. – Томск : НТЛ, 2005. – 260 с.
17. Шрейдер Ю. А. Тезаурусы в информатике и теоретической семантике / Ю. А. Шрейдер // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 1971. – № 3. – С. 7–12.
18. Эжк К. Д. Знание как новая парадигма управления / К. Д. Эжк // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 2. – С. 2–14.
19. Элти Дж. Экспертные системы: концепции и примеры / Дж. Элти, М. Кумбс. – Москва : Финансы и статистика, 2007. – 191 с.
20. Bateman J. A. Upper modeling: organizing knowledge for natural language processing / J. A. Bateman // The 5th International Workshop on Natural Language Generation. – Pittsburgh, PA, 1990.
21. Calvanese D. View-based query answering in description logics: Semantics and complexity / D. Calvanese, G. Giacomo, M. Lenzerini, R. Rosati // J. of Computer and System Sciences. – 2012. – Vol. 78 (1). – P. 26–46.
22. Chandrasekaran B. Ontology of Tasks and Methods / B. Chandrasekaran, J. R. Josephson, R. Benjamins // Proceedings of the Eleventh Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management (KAW'98). – Inn, Banff, Alberta, Canada, 1998.
23. Decker S. Ontobroker: Ontology Based Access to Distributed and Semi-Structured Information / S. Decker, M. Erdmann, D. Fensel, R. Studer // Semantic Issues in Multimedia Systems : proceedings of DS-8R (eds. by Meersman et al.). – Boston : Kluwer Academic Publisher, 1999. – P. 351–369.
24. Eiter T. Conjunctive query answering in the description logic SH using knots / T. Eiter, M. Ortiz, M. Simkus // J. of Computer and System Sciences. – 2012. – Vol. 78 (1). – P. 47–85.
25. Firestone J. M. Enterprise Knowledge Portals: What They Are and What They Do / J. M. Firestone // Knowledge and Innovation : J. of the KMCI. – 2000. – Vol. 1, № 1. – P. 13–21.
26. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications / T. R. Gruber // Knowledge systems laboratory, Computer Science Department. – Stanford, California, 2013. – Vol. 6, № 3. – P. 71–92.
27. Goncalves R. The empirical robustness of description logic classification / R. Goncalves, N. Matentzoglou, B. Parsia, U. Sattler // Description Logics. – 2013. – Vol. 1014. – P. 197–208.
28. Sowa J. Knowledge representation: logical, philosophical and computational foundation / J. Sowa. – Boston : PWS Publishing Comp., 1998.
29. Zhang X. A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite / X. Zhang, K. Wang, Z. Wang, Y. Ma, G. Qi // International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management. – 2015. – LNAI 9403. – P. 1–13.

References

1. Baranovskaya T. P. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii v ekonomike* [Information systems and technologies in economics]. Moscow, Finance and statistics, 2005. 416 p.

2. Birukov D. N. Kognitivno-funktsionalnaya spetsifikatsiya pamyati dly modelirovaniya tselenapravennogo povedeniya kibersistem [Cognitive-functional memory specification for modeling targeted cyber-systems behavior]. *Trudy SPIIRAN* [Proceedings of SPIIRAN]. Moscow, 2015, pp. 23–34.
3. Birukov D. N. Denotatsionnaya simantika kontekstov znaniy pri ontologicheskom modelirovanii predmetnykh oblastey konflikta [Denotational semantics of knowledge contexts in ontological modeling of subject areas of conflict]. *Trudy SPIIRAN* [Proceedings of SPIIRAN]. Moscow, 2015, pp. 155–179.
4. Bova B. B. Modelirovaniye oblasti znaniy v sistemah podderjki prinatiya resheniy dlya nepreryvnogo professional'nogo obrazovaniya [Knowledge Modeling in Decision Support Systems for Continuing Professional Education]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [News of South Federal University. Technical science], 2009, no. 4, pp. 242–248.
5. Bocharov V. A. *Osnovy logiki* [Basics of Logic]. Moscow, MSU Publ., 2008. 194 p.
6. Veber A. V. *Knowledge-tehnologii v konsaltinge i upravlenii predpriyatiem* [Knowledge-technologies in consulting and enterprise management]. Moscow, Nauka i tekhnika Publ., 2002. 176 p.
7. Gavrilova T. A. *Bazy znaniy intellektualnykh sistem* [Knowledge Base Intelligent Systems]. St. Petersburg, Piter Publ., 2000. 384 p.
8. Krasilov V. A. Sravnitelnyy analiz dlya modeley predstavleniya znaniy v intellektualnykh sistemakh [Comparative analysis of knowledge representation models in intelligent systems]. *Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Odessa Polytechnical University]. Odessa, 1998, issue 2, pp. 45–49.
9. Kuznetsov P. P. *Semanticheskie predstavleniya* [Semantic representations]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 157 p.
10. Lubchenko V. V. Modeli znaniy dlya predmetnykh oblastey uchebnykh kursov [Knowledge models for subject areas of training courses]. *Iskustvennyy intellect* [Artificial intelligence], 2008, pp. 458–462.
11. Malyy L. V. Sistemnyy analiz intellektualnoy sistemy upravleniya kachestvom obrabotki zagotovok v proizvodstve pechatnykh plat [System analysis of intelligent quality management system for processing blanks in the production of printed circuit boards]. *Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyah – MMTT31: sbornik trudov XXXI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Mathematical Methods in Engineering and Technology – MMTT31 : Proceedings of the International Scientific Conference], 2018, no. 4, pp. 80–84.
12. Malyy L. V. Obzor metodov, primenyaemykh v sistemakh tekhnicheskovo zreniya pri reshenii zadach kontrolya proizvodstva detaley dlya elektrotekhnicheskogo proizvodstva [Review of methods used in technical vision systems in solving problems of control of production of parts for electrical equipment]. *VINITI RAN* [All-Russian Institute of Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 74-V2017. 54 p.
13. Malyy L. V. Intellektualnaya sistema upravleniya kachestvom obrabotki zagotovok v proizvodstve pechatnykh plat [Intelligent quality management system for processing blanks in the production of printed circuit boards]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta* [News of St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2018, no. 47 (73), pp. 121–127.
14. Minsiy M. L. *Freymy dlya predstavleniya znaniy* [Knowledge Frames]. Moscow, Energiya Publ., 2009. 211 p.
15. Morozov V. A., Pautov V. I. (comp.) *Predstavleniye znaniy v ekspertnykh sistemakh : uchebnoe posobiye* [Representation of knowledge in expert systems: a tutorial]. Ekaterinburg, State Ural University Publ., 2017. 120 p.
16. Tuzovskiy A. F. *Sistema upravleniya znaniyami (metody i tekhnologii)* [Knowledge management systems (methods and technologies)]. Tomsk, NTL Publ., 2005. 260 p.
17. Sreider U.A., Tezariyus v informatike i teoreticheskoy semantike [Thesauri in computer science and theoretical semantics]. *Nauchno-tekhnicheskaya informatsia. Seriya 2* [Scientific and Technical Information. Series 2], 1971, no. 3, pp. 7–12.
18. Ekk K. D. Znaniye kak novaya paradigma upravleniya [Knowledge as a new management paradigm]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya* [Problems of Theory and Practice Management], 1998, no. 2, pp. 2–14.
19. Elty J., Cumbs M. *Expertnye sistemy: kontseptsii i primery* [Expert systems: Concepts and applications], Moscow, Finansy i statistika Publ., 2007. 192 p.
20. Bateman J. A. Upper modeling: organizing knowledge for natural language processing. *The 5th International Workshop on Natural Language Generation*. Pittsburgh, PA, 1990.
21. Calvanese D., Giacomo G., Lenzerini M., Rosati R. View-based query answering in description logics: Semantics and complexity. *J. of Computer and System Sciences*, 2012, vol. 78 (1), pp. 26–46.
22. Chandrasekaran B., Josephson J. R., Benjamins R. Ontology of Tasks and Methods. *Proceedings of the Eleventh Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management (KAW'98)*. Inn, Banff, Alberta, Canada, 1998.
23. Decker S., Erdmann M., Fensel D., Studer R. Ontobroker: Ontology Based Access to Distributed and Semi-Structured Information. *Semantic Issues in Multimedia Systems. Proceedings of DS-8R* (eds. by Meersman et al.). Boston, Kluwer Academic Publisher, 1999, pp. 351–369.
24. Eiter T., Ortiz M., Simkus M. Conjunctive query answering in the description logic SH using knots. *J. of Computer and System Sciences*, 2012, vol. 78 (1), pp. 47–85.
25. Firestone J. M. Enterprise Knowledge Portals: What They Are and What They Do. *Knowledge and Innovation: J. of the KMCI*, 2000, vol. 1, no. 1, p. 13–21.
26. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge systems laboratory, Computer Science Department*. Stanford, California, 2013, vol. 6, no. 3, pp. 71–92.
27. Goncalves R., Matentzoglou N., Parsia B., Sattler U. The empirical robustness of description logic classification. *Description Logics*, 2013, vol. 1014, pp. 197–208.
28. Sowa J. *Knowledge representation: logical, philosophical and computational foundation*. Boston, PWS Publishing Comp., 1998.
29. Zhang X., Wang K., Wang Z., Ma Y., Qi G. A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite. *International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management*, 2015, LNAI 9403, pp. 1–13.