

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.891.3:629.7.083

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171



Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники

© 2022, Н.О. Дородных, О.А. Николайчук ✉, А.Ю. Юрин

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск, Россия

Аннотация

В статье представлен метод создания прототипов баз знаний на основе шаблонов онтологического проектирования и таблиц решений. Метод содержит этапы: построение онтологии предметной области на основе онтологического шаблона содержания; формирование продукционной базы знаний на основе трансформации элементов онтологии предметной области; наполнение базы правил с использованием таблиц решений, а также их интерпретация и отладка. Разработан онтологический шаблон содержания, описывающий процесс технического обслуживания и ремонта согласно действующим стандартам. Трансформация онтологии в продукционную модель и генерация таблиц решений осуществлялись с использованием системы программирования продукционных баз знаний. С целью привлечения непрограммирующих конечных пользователей к процессу заполнения структур баз знаний конкретными правилами использован табличный редактор. Содержательная оценка полученной базы знаний осуществлена с использованием авторской программы-оболочки. Предложенные в работе метод и шаблон апробированы при решении задачи поиска причин неисправностей и формирования последовательности работ по техническому обслуживанию и ремонту системы электроснабжения самолёта Сухой Суперджет 100.

Ключевые слова: шаблон проектирования онтологий, база знаний, таблицы решений, модельно-ориентированный подход, система электроснабжения, самолёт, техническое обслуживание и ремонт.

Цитирование: Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.158-171. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.

Финансирование: Результаты получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки России по проекту «Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения» (№ гос регистрации: 121030500071-2).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Онтологии широко используются как удобное средство представления знаний, а их разработка остаётся сложной и трудоёмкой задачей [1]. Для повышения эффективности данного процесса создаются и применяются различные подходы и инструменты, одним из которых являются шаблоны онтологического проектирования (*Ontology Design Pattern, ODP*) [2]. Этот подход позволяет снизить риск повторения ошибок проектирования за счёт использо-

вания типовых решений, представленных в виде шаблонов. Для их централизованного хранения и использования созданы специализированные каталоги шаблонов, которые в большинстве случаев ориентированы на конкретную предметную область (ПрО), не обладают полнотой и универсальностью, но могут быть полезны разработчикам в качестве источников предварительных решений или прототипов. Шаблоны можно разделить на шесть типов в соответствии с их назначением [2]: структурные, соответствия (реинжиниринг и согласование), содержания, обоснования, представления (присвоение имен и аннотирование) и лексико-синтаксические. Онтологические шаблоны содержания фиксируют приёмы концептуального проектирования, предоставляя решения для различных задач моделирования ПрО, и являются наиболее распространёнными.

Онтологии могут являться полезным источником информации о ПрО, как на терминологическом (*T-Box*), так и аксиоматическом (*A-Box*) уровнях при автоматизированном построении баз знаний (БЗ) интеллектуальных систем и генерации программных кодов. Решение подобной задачи требует согласования программных средств создания онтологий и БЗ, в частности, «по данным», т.е. на уровне форматов хранения и обработки данных.

В данной работе описан метод автоматизации создания продукционных БЗ, включающий: использование онтологического шаблона содержания для формирования онтологии ПрО; трансформацию полученной онтологии в продукционную модель; уточнение и наполнение построенной модели при помощи таблиц решений с последующей их интерпретацией или генерацией программных кодов. Для разработки онтологий и их шаблонов могут использоваться различные специализированные редакторы (например, *Protégé*, *OntoEdit*, *Menthor Editor*), позволяющие экспортировать результат в *OWL*-формат, который выбран в качестве исходного. Трансформация *OWL*-онтологии в продукционную модель и генерация таблиц решений осуществлялись с использованием системы программирования продукционных БЗ – *Personal Knowledge Base Designer (PKBD)* [3]. С целью привлечения непрограммирующих конечных пользователей к процессу заполнения структур БЗ конкретными правилами использован табличный редактор *Microsoft Excel*. Содержательная оценка полученной БЗ осуществлена с использованием программы-оболочки *iDSS.Desktop* [4].

Апробация метода осуществлена на примере решения задачи поиска причин неисправностей и формирования последовательности работ по техническому обслуживанию (ТО) и ремонту системы электроснабжения самолёта Сухой Суперджет 100.

1 Использование онтологий при создании БЗ: состояние вопроса

Повышение эффективности разработки БЗ является актуальной проблемой [5, 6]. Одной из тенденций в этой области является использование концептуальных моделей, включая онтологии и семантические сети [7-9], а также программных инструментов в виде фреймворков и специальных редакторов для онтологического моделирования (*Protégé*, *Ontolingua*, *DOE*, *Apollo*, *WebOnto* и др.), которые позволяют создавать графические модели, соответствующие знаниям экспертов в ПрО. Большинство инструментальных средств не охватывают все этапы создания БЗ и не обеспечивают полноту процесса разработки: от моделей ПрО до программных кодов, в некоторых случаях позволяют получать только графические артефакты структур БЗ без их исполнения (интерпретации). Здесь можно выделить *Protégé*, который позволяет генерировать код элементов БЗ, в частности, на *CLIPS/COOL*.

Актуальность разработки специализированного программного обеспечения подтверждается и другими примерами [10-16]. В [12] рассмотрено средство для разработки экспертных систем с использованием технологии *Semantic Web*, которая позволяет инженеру по знаниям и эксперту ПрО описывать её без знаний языков программирования. В [9] используется он-

тология для моделирования знаний ПрО, а правила принятия решений – для представления оперативных знаний, реализуя данный подход на основе объединения систем *Protégé* и *JESS*. В [13, 14] представлены инструментальные средства, обеспечивающие построение продукционных экспертных систем в области диагностики. В [15] описан процесс создания онтологии для представления знаний о диагностике заболеваний и синдромов, онтология реализована на облачной платформе *IACPaaS* и в настоящее время активно используется специалистами для создания БЗ в различных областях медицины.

Анализ этих и подобных исследований показал перспективность использования принципов когнитивного (визуального) моделирования и проектирования, а также подходов, реализующих трансформацию моделей, в частности, модельно-управляемого подхода [17, 18].

2 Метод создания БЗ

Предлагается развитие метода создания продукционных БЗ на основе онтологий и таблиц решений, основанный на трансформации моделей [19], который в обобщённом формальном виде может быть описан следующим выражением:

$$T: Ont \rightarrow Code, \quad (1)$$

где *Ont* – онтологическая модель; *Code* – программный код, *T* – трансформация моделей.

Для рассматриваемого аспекта выражение (1) приобретает вид:

$$T: Ont^{OWL} \rightarrow Code^{KB},$$

где *Ont^{OWL}* – код на языке *OWL 2 DL*, описывающий онтологию ПрО, причём *Ont^{OWL}* создаётся на основе онтологического шаблона *ODP^{OWL}*, *Code^{KB}* – программный код БЗ, записанный с использованием метода из [20].

Последовательность основных этапов метода создания БЗ представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные этапы метода создания БЗ, их результаты и инструментальные средства

- 1) *Построение онтологии на основе определённого онтологического шаблона.* Этап предполагает выбор конкретного шаблона *ODP^{OWL}* из определённого множества онтологических шаблонов согласно решаемой задаче. Источник шаблонов не конкретизируется, как и среда моделирования, основное требование к которой – возможность представления

результата в формате *OWL 2 DL*. Используя определённый онтологический шаблон, производится формирование онтологии решаемой задачи путём определения эквивалентных понятий, подклассов и экземпляров, заданных в шаблоне классов.

- 2) *Формирование модели (структуры) производственной БЗ*. Этап включает преобразование онтологической модели в элементы производственной модели, в частности, шаблоны фактов. Преобразование моделей осуществляется с помощью модуля *PKBD.Onto*, устанавливающего соответствия между их элементами [21].
- 3) *Уточнение и наполнение производственной БЗ*, включая доопределение производственной модели. Для реализации действий этапа могут быть использованы возможности *PKBD* либо внешние табличные редакторы (например, *Microsoft Excel*) при условии использования таблиц решений в *CSV*-формате в качестве целевого формализма.
- 4) *Интерпретация, генерация и отладка* включает действия по оценке корректности (верификации и валидации) полученной БЗ, что может быть выполнено в *PKBD* либо с использованием программы-оболочки *iDSS.Desktop*, обеспечивающей интерпретацию таблиц решений в *CSV*-формате в контексте задач диагностики.

3 Онтологический шаблон ТО и ремонта

Согласно требованиям стандартов [22-24] определены основные понятия нового онтологического шаблона содержания, который описывает процесс ТО и ремонта, включающего отношения между объектом ТО и процессом, а также свойствами объекта и процесса. На рисунках 2 и 3 представлены фрагменты онтологического шаблона содержания для описания технического объекта (рисунок 2) и для описания процесса ТО (рисунок 3).

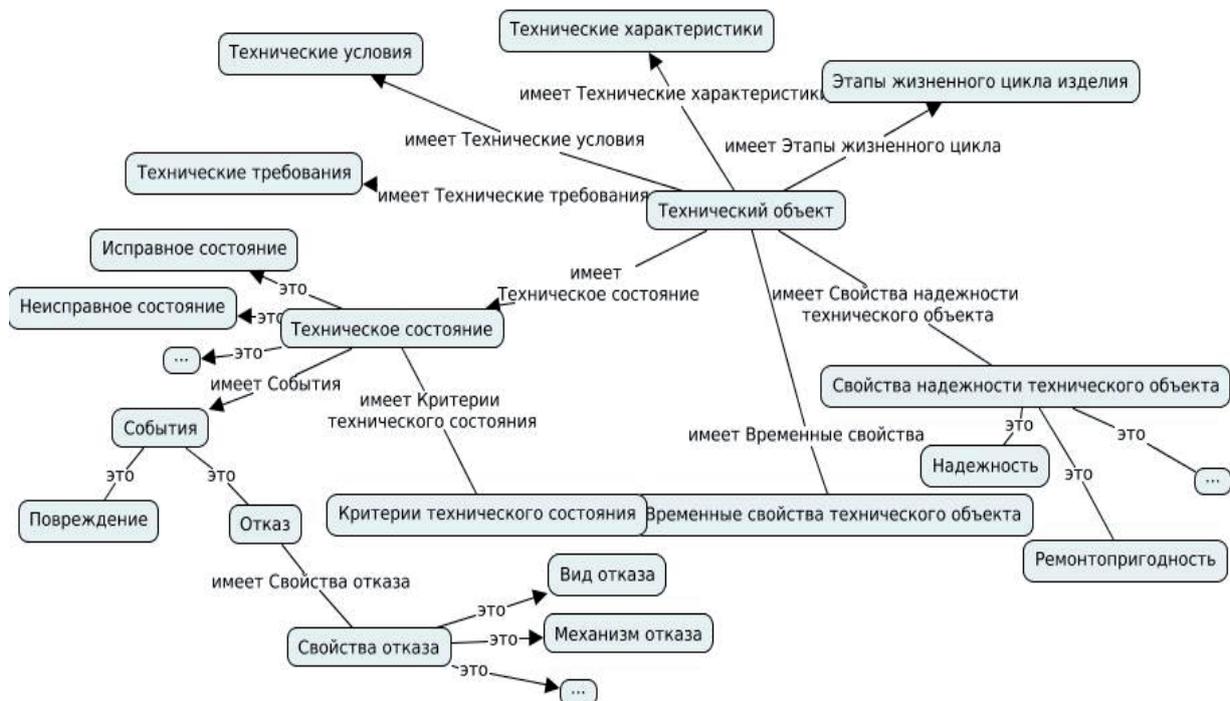


Рисунок 2 – Фрагмент онтологического шаблона содержания для описания технического объекта

Полученный онтологический шаблон ТО и ремонта является основой для разработки онтологий конкретных ПрО, где решаются задачи диагностирования, ТО, ремонта и т.п.

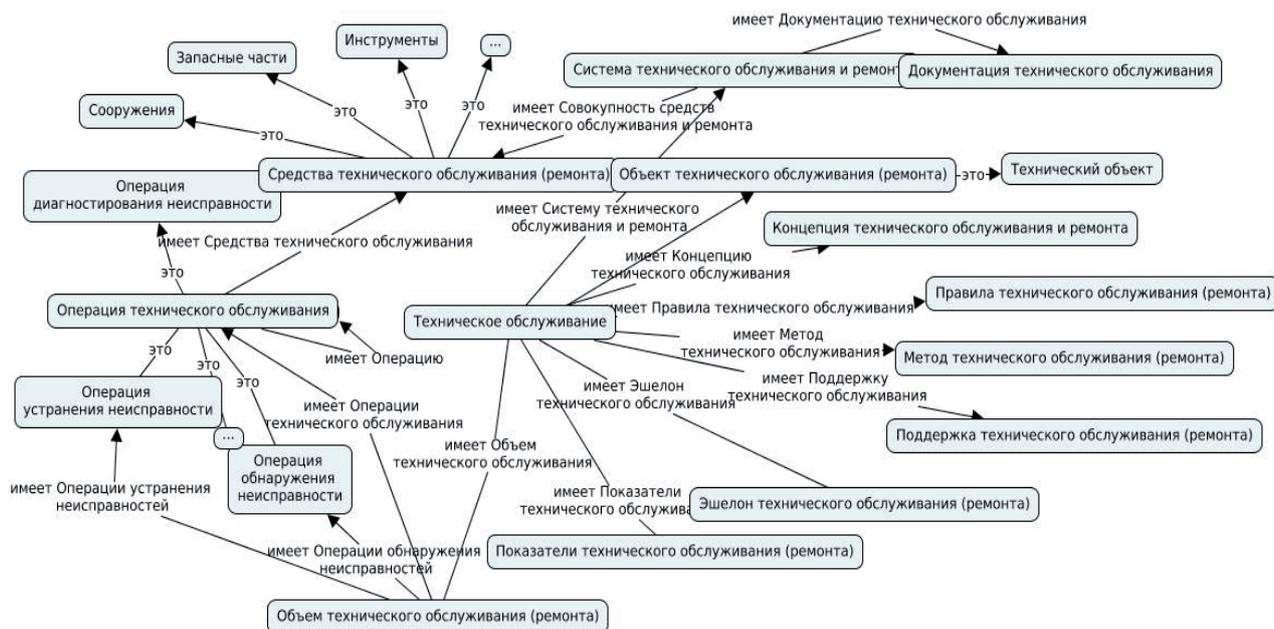


Рисунок 3 – Фрагмент онтологического шаблона содержания для описания процесса ТО и ремонта

4 Онтология ТО и ремонта системы электроснабжения самолёта

Апробация разработанных онтологических шаблонов осуществлена при разработке онтологии для решения задач поддержки принятия решений при ТО и ремонте системы электроснабжения самолёта Сухой Суперджет 100.

Анализ ПрО осуществлен на основе следующей документации: руководство по технической эксплуатации (РЭ) и руководство по поиску и устранению неисправностей (РУН) самолёта. РЭ описывает информацию по процессам обслуживания, замены, регулировки, осмотра и проверки оборудования систем самолёта, выполняемым на перроне или в ангаре ТО. РЭ содержит также информацию об осмотрах и ТО конструкции планера самолёта и описание процедур планового ТО самолёта. РУН описывает возможные отказы и неисправности, последовательности действий и работ по их выявлению и устранению по каждой системе самолёта. Анализ ПрО был выполнен для системы электроснабжения самолёта, где рассмотрены неисправности 7 подсистем.

На основе онтологического шаблона проектирования разработан фрагмент онтологии ТО и ремонта генератора левого двигателя самолёта. Описаны синонимы ПрО, определены структура объекта и работы по обслуживанию генератора левого двигателя самолёта.

Использование данного шаблона при разработке онтологии позволило сократить трудозатраты на её создание, связанные с систематизацией основных понятий ПрО, в данном случае – структуры и основных свойств операций, их классификации. При проектировании онтологии внимание было сосредоточено на детализации и конкретизации созданных классов и понятий. В таблице 1 на фрагментах онтологии представлены дополнения причин отказов и работ по поиску и устранению неисправностей.

Для детализации информации о структуре объекта использована иерархия типа «общее-частное» для описания иерархии систем, подсистем и под-подсистем по их назначению. Пример реализации онтологии для системы электроснабжения самолёта показан на рисунке 4. На основе иерархии «общее-частное» описана иерархия типа «часть-целое» с использованием соответствующих объектных свойств: имеет подсистемы, имеет под-подсистемы. Фрагмент онтологии представлен на рисунке 5.

Таблица 1 – Фрагмент онтологии ПрО, сформированной на основе онтологического шаблона содержания

Фрагмент онтологического шаблона		Итоговый фрагмент онтологии предметной задачи
исходный	с эквивалентными понятиями ПрО	
<ul style="list-style-type: none"> ● Свойства отказа ● Признаки отказа ● Вид отказа ● Критерии отказа ● Критичность отказа ● Механизм отказа ● Последствия отказа ● Причина отказа 	<ul style="list-style-type: none"> ● Свойства отказа ● Вид отказа ● Возможные причины ● Критерии отказа ● Критичность отказа ● Механизм отказа ● Последствия отказа ● Признаки неисправности ● Признаки отказа ● Причина отказа 	<ul style="list-style-type: none"> ● Свойства отказа ● Вид отказа ● Возможные причины ● Критерии отказа ● Критичность отказа ● Механизм отказа ● Последствия отказа ● Признаки неисправности ● Признаки отказа ● Причина отказа <ul style="list-style-type: none"> ● Причины отказа самолета <ul style="list-style-type: none"> ● Возможные причины РУН – Система электроснабжения ● Возможные причины РУН – Система Привод-Генера ● Возможные причины РУН – Отказ привод-генера
<ul style="list-style-type: none"> ● Операции ● Операции технического обслуживания и ремонта ● Операции демонтажа и монтажа ● Операции диагностирования неисправности ● Операции контроля функционирования ● Операции локализации неисправности ● Операции обнаружения неисправности ● Операции обслуживания ● Операции общего обслуживания ● Операции по регулировке и испытаниям ● Операции устранения неисправности 	<ul style="list-style-type: none"> ● Работы ● Классы по функциональному коду_Работы ● Осмотр и проверка_Работы ● Очистка и окраска_Работы ● Техническая эксплуатация_Работы ● Техническое обслуживание и ремонт_Работы <ul style="list-style-type: none"> ● Операции по регулировке и испытаниям ● Операции демонтажа и монтажа ● Демонтаж и монтаж_Работы ● Обслуживание_Работы ● Общее обслуживание_Работы ● Поиск и устранение неисправностей (структурная классификация)_Работы ● Регулировка и испытание_Работы ● Состав работ по устранению неисправностей ● Текущий ремонт_Работы 	<ul style="list-style-type: none"> ● Поиск и устранение неисправностей (структурная классификация)_Работы ● РУН_Проверка отсутствия признаков неисправности ● РУН_Система электроснабжения <ul style="list-style-type: none"> ● РУН_Аварийная система постоянного тока ● РУН_Вспомогательная система переменного тока ● РУН_Основная система переменного тока ● РУН_Основная система постоянного тока ● РУН_Проверка электропроводки ● РУН_Ремонт электропроводки ● РУН_Система подключения потребителей переменного тока ● РУН_Система подключения потребителей постоянного тока ● РУН_Система Привод-Генератора

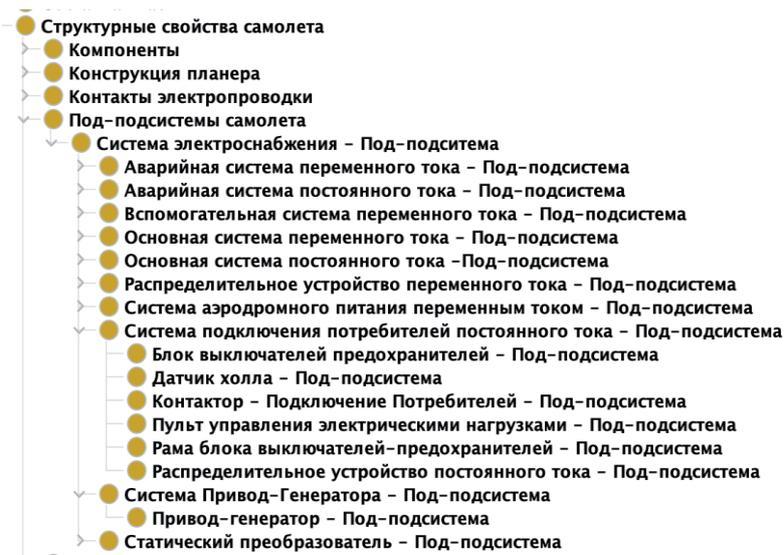


Рисунок 4 – Понятия, отражающие перечень под-подсистем системы электроснабжения

Онтология работ (операций) также описывает иерархию «общее-частное» и «часть-целое». В первом случае использованы различные основания классификации: по назначению, по функциональному коду, классификация работ согласно структуре объекта, по виду работ с точки зрения выполняемых процессов: техническая эксплуатация, ТО, ремонт и устранение неисправностей. Второй тип отношений позволяет описать структуру работ. Например, устранение неисправностей содержит работы, группируемые по этапам процесса выполнения работы: подготовительный этап, подтверждение неисправности, поиск и устранение неисправности, подтверждение устранения неисправности и заключительный этап. Тип отношений «часть-целое» описан с помощью объектных свойств: имеет подготовительные работы, имеет заключительные работы, имеет работы по подтверждению, поиску и устранению неисправностей и др.

6 Полученные результаты

1) Построена онтология на основе рассмотренного в разделе 3 онтологического шаблона содержания, который детализирован на основе информации о ТО и ремонте генератора левого двигателя. Оба этапа могут быть выполнены с использованием редакторов онтологий, например, *Protégé*. Фрагмент онтологии описан в разделе 4.

2) Сформирована модель (структура) продукционной БЗ. С использованием *PKBD.Onto* выполнено преобразование онтологии. В частности классам (*Class*) ставятся в соответствие шаблоны фактов (*Template*), а свойствам данных (*DataProperty*) – слоты (*Slots*).

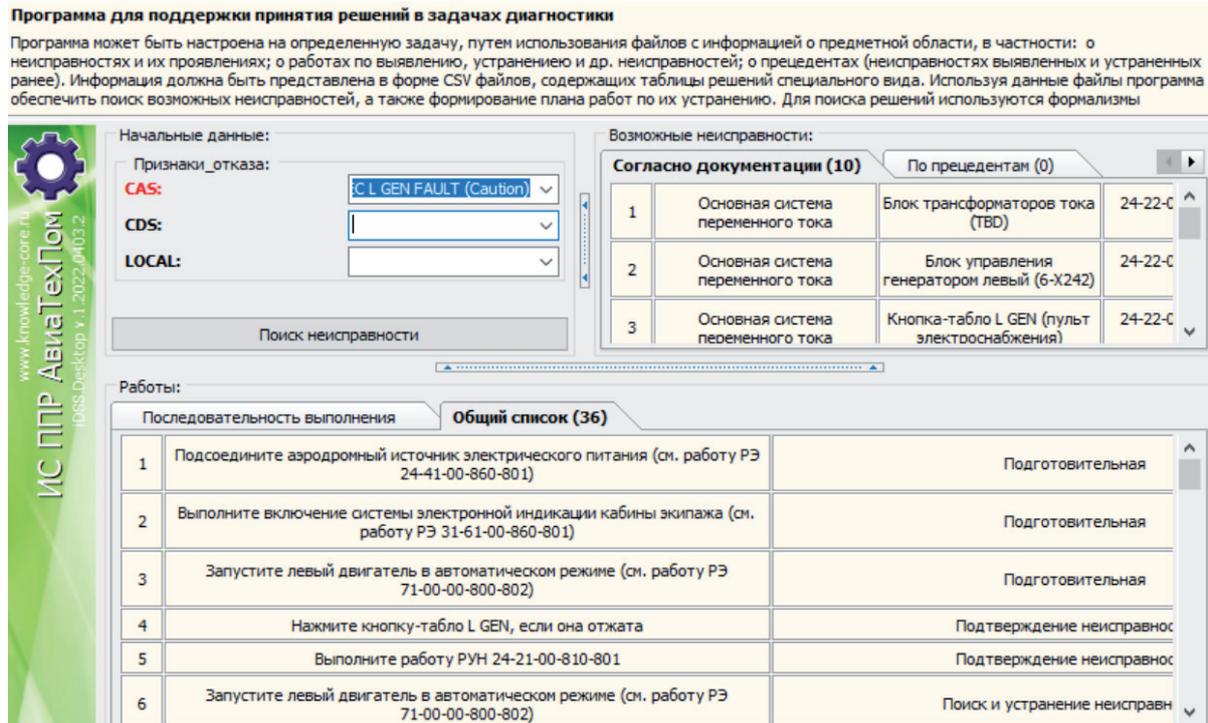
3) Уточнение и наполнение продукционной БЗ осуществлено с использованием *Microsoft Excel*, для чего модель продукции представлена в форме таблиц решений, структура которых описана в разделе 5. Пользователь формирует конкретные правила, описывающие последовательность операций устранения отказа генератора левого двигателя, с использованием шаблонов фактов, полученных из онтологии. Для устранения отказа генератора левого двигателя создано 36 правил. Примеры полученных таблиц приведены на рисунке 8.

	Е	Ж	К
1	Признаки отказа::LOCAL	Подсистема::Наименование	Отказ::Возможные причины
59	Кнопка-табло R GEN светится надпись OFF белым цветом	Основная система переменного тока	Центральная часть потолочного пульта (5-F311)
60	Кнопка-табло R GEN светится надпись OFF белым цветом	Основная система переменного тока	Электропроводка
61	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Блок трансформаторов тока (TBD)
62	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Блок управления генератором левый (6-X242)
63	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Кнопка-табло L GEN (пульт электроснабжения)
64	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Привод-генератор левый (15-X242)
65	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Центральная часть потолочного пульта (5-F311)
66	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Электропроводка
67	Кнопка-табло L GEN светится надпись OFF желтым цветом	Основная система переменного тока	Блок управления генератором левый (6-X242)
68	Кнопка-табло L GEN светится надпись OFF желтым цветом	Основная система переменного тока	Кнопка-табло L GEN (пульт электроснабжения)
69	Кнопка-табло L GEN светится надпись OFF желтым цветом	Основная система переменного тока	Центральная часть потолочного пульта (5-F311)
	А	Б	В
1	Признаки отказа::CAS	Работа::Содержание	Работа::Результат
135	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Подсоедините аэродромный источник электрического питания (см. работу РЭ 24-41-00-860-801)	выполнено как подготовительная работа
136	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните включение системы электронной индикации кабины экипажа (см. работу РЭ 31-61-00-860-801)	выполнено как подготовительная работа
137	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Запустите левый двигатель в автоматическом режиме (см. работу РЭ 71-00-00-800-802)	выполнено для подтверждения неисправности
138	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Нажмите кнопку-табло L GEN, если она отжата	выполнено для подтверждения неисправности
139	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните выключение левого двигателя (штатное) (см. работу РЭ 71-00-00-800-805)	выполнено
140	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Замените блок управления генератором левый (6-X242) (см. работу РЭ 24-22-01-900-801)	выполнено
141	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Запустите левый двигатель в автоматическом режиме (см. работу РЭ 71-00-00-800-802)	выполнено
142	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и привод-г	есть неисправность в электропроводке
143	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и привод-г	выполнено
144	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и контакт	есть неисправность в электропроводке
145	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и контакт	выполнено
146	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и кнопкой-	есть неисправность в электропроводке
147	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и кнопкой-	выполнено
148	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и корпусо	есть неисправность в электропроводке
149	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и корпусо	выполнено
150	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и контакт	есть неисправность в электропроводке
151	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и контакт	выполнено

Рисунок 8 – Примеры фрагментов таблиц решений

4) Интерпретация, генерация и отладка осуществлены с использованием программы-оболочки *iDSS.Desktop*, обеспечивающей интерпретацию таблиц решений в CSV-формате в контексте задач диагностики с целью проверки созданной БЗ. Экранная форма, содержащая результаты работы программы, показана на рисунке 9.

В результате использования данной БЗ экспертная система обеспечивает формирование последовательности операций, выполнение которой необходимо для устранения отказа (неисправности) системы электроснабжения воздушного судна.

Рисунок 9 – Результат интерпретации полученных таблиц решений в *iDSS.Desktop*

Заключение

Представлен метод создания БЗ на основе использования онтологических шаблонов содержания и таблиц решений, предполагающий использование как специализированного инструментария, обеспечивающего трансформацию онтологий и интерпретацию таблиц решений, так и табличного редактора *Microsoft Excel* для наполнения структур БЗ. Разработан содержательный онтологический шаблон ТО и ремонта, соответствующий требованиям действующих стандартов, который использован при поиске и устранении неисправностей системы электрообеспечения самолёта Сухой Суперджет 100.

Список источников

- [1] *Guarino N.* Formal Ontology in Information Systems // In: Processing of the First International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98), 1998. Vol. 46. P.3–15.
- [2] *Hitzler P., Gangemi A., Janowicz K., Krisnadhi A.A., Presutti V.* Ontology Engineering with Ontology Design Patterns: Foundations and Applications. Studies on the Semantic Web. IOS Press/AKA, 2016.
- [3] *Дородных Н.О., Грищенко М.А., Юрин А.Ю.* Система программирования продукционных баз знаний: Personal Knowledge Base Designer // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2016. № 6. С.209–212.
- [4] *Юрин А.Ю., Дородных Н.О.* iDSS.Desktop // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. М. Пер. № 2022617130 от 19.04.22.
- [5] *Luger G.F.* Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, 6th ed. New York: Addison-Wesley, 2008.
- [6] *Wagner W.P.* Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies // Expert Systems With Applications. 2017. Vol. 76. P.85–96.
- [7] *Corsar D., Sleeman D.H.* Developing Knowledge-Based Systems using the Semantic Web // In: Proc. of the 2008 International Conference on Visions of Computer Science: BCS International Academic Conference, 2008. P.29–40.

- [8] **Rajput Q., Khan N.S., Larik A. Haider S.** Ontology Based Expert-System for Suspicious Transactions Detection // Computer and Information Science. 2014. Vol. 7(1). P.103-114.
- [9] **Shue L., Chen C., Shiue W.** The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating // Expert Systems with Applications. 2009. Vol. 36. P.2130-2142.
- [10] **Sahin S., Tolun M.R., Hassanpour R.** Hybrid expert systems: A survey of current approaches and applications // In: Expert Systems with Applications. 2012. Vol. 39(4). P.4609-4617.
- [11] **Rybina G.V., Rybin V.M., Blokhin Y.M., Parondzhanov S.S.** Intelligent Programm Support for Dynamic Integrated Expert Systems Construction.” Procedia Computer Science. In proc. of the 7th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures. 2016. Vol. 88. P.205-210.
- [12] **Nofal M., Fouad K.M.** Developing Web-Based Semantic Expert Systems // International Journal of Computer Science. 2014. Vol. 11(1). P.103-110.
- [13] **Kadhim M.A., Alam M.A., Kaur H.** Design and implementation of Intelligent Agent and Diagnosis Domain Tool for Rule-based Expert System // In: Proc. of the International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement, 2013. P.619-622.
- [14] **Берман А.Ф.** Информатика катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 3. С.17-37.
- [15] **Грибова В.В., Петряева М.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А.** Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Онтология проектирования. 2018. Т.8. №1(27). С.58-73.
- [16] **Golenkov V.V.** Ontology-based Design of Intelligent Systems // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2017. № 7. С.37-56.
- [17] **Cretu L.G., Florin D.** Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press, 2014.
- [18] **da Silva A.R.** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model // Computer Languages, Systems & Structures. 2015. Vol. 43. P.139-155.
- [19] **Грищенко М.А., Дородных Н.О., Коршунов С.А., Юрин А.Ю.** Разработка интеллектуальных диагностических систем на основе онтологий // Онтология проектирования. 2018. Т.8. № 2(28). С.265-284.
- [20] **Грищенко М.А., Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.** Применение модельно-управляемого подхода для создания продукционных экспертных систем и баз знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 2. С.16-29.
- [21] **Дородных Н.О., Видия А.В., Юрин А.Ю.** Разработка схем онтологий на основе преобразования электронных таблиц // Программные продукты и системы. 2021. № 1. С. 124-131.
- [22] ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. Издательское оформление. М.: Стандартинформ, 2009.
- [23] ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Издательское оформление. М.: Стандартинформ, 2017.
- [24] ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. Издательское оформление. М.: Стандартинформ, 2017.

Сведения об авторах



Дородных Никита Олегович, 1990 г. рождения. Окончил Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрНТУ) (2012), к.т.н. (2018). Старший научный сотрудник Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения РАН (ИДСТУ СО РАН). В списке научных трудов около 70 работ в области автоматизации создания интеллектуальных систем и баз знаний, получения знаний на основе преобразования концептуальных моделей и электронных таблиц. ORCID: 0000-0001-7794-4462; Author ID (RSCI): 979843; Author ID (Scopus): 57202323578; Researcher ID (WoS): E-8870-2014. tualatin32@mail.ru.

Николайчук Ольга Анатольевна, 1967 г. рождения. Окончила Иркутский государственный университет (1989), д.т.н. (2011). Ведущий научный сотрудник ИДСТУ СО РАН, доцент. Руководитель Иркутского отделения РАИИ. В списке научных трудов около 160 работ в области моделирования технических систем, разработки методов и инструментальных средств создания интеллектуальных систем. ORCID: 0000-0002-5186-0073; Author ID (РИНЦ): 100081; Author ID (Scopus): 16309876600; Researcher ID (WoS): A-3315-2014. nikoly@icc.ru. ✉.





Юрин Александр Юрьевич, 1980 г. рождения. Окончил ИрННТУ (2002), к.т.н. (2005). Заведующий лабораторией информационных технологий исследования природной и техногенной безопасности ИДСТУ СО РАН, доцент Института информационных технологий и анализа данных ИрННТУ. Член РАИИ и Ассоциации вычислительной техники. Член редколлегии международного научного журнала «Computer, Communication & Collaboration». В списке научных трудов более 100 работ в области разработки систем поддержки принятия решений, экспертных систем и баз знаний, использования семантических технологий при проектировании интеллектуальных диагностических систем. ORCID: 0000-0001-9089-5730; Author ID (RSCI): 174845; Author ID (Scopus): 16311168300; Researcher ID (WoS): A-4355-2014. iskander@icc.ru.

Поступила в редакцию 30.05.2022. Принята к публикации 27.06.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171

Using ontological content patterns in knowledge base engineering for maintenance and repair of aviation equipment

© 2022, N.O. Dorodnykh, O.A. Nikolaychuk ✉, A.Yu. Yurin

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory (ISDCT) of Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia

Abstract

The article presents a method for creating knowledge base prototypes based on ontological design patterns and decision tables. The method contains the following steps: building an ontology of the subject area based on the ontological template of the content; formation of a production knowledge base based on the transformation of elements of the ontology of the subject area; filling the rule base using decision tables, as well as their interpretation and debugging. An ontological content template has been developed that describes the maintenance and repair process in accordance with current standards. The transformation of the ontology into a production model and the generation of decision tables were carried out using a programming system for production knowledge bases. In order to involve non-programming end users in the process of filling knowledge base structures with specific rules, a spreadsheet editor was used. A meaningful assessment of the obtained knowledge base was carried out using the author's shell program. The method and template proposed in the paper were tested in solving the problem of finding the causes of malfunctions and forming a sequence of maintenance and repair of the power supply system of the Sukhoi Superjet 100 aircraft.

Key words: *ontology design pattern, knowledge base, decision tables, model-based approach, aircraft, power supply system, maintenance and repair.*

For citation: Dorodnykh NO, Nikolaychuk OA, Yurin AY. Using ontological content patterns engineering for formalize the process of maintenance and repair of critical objects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 158-171. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.

Financial Support: The present study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Project no. 121030500071-2 "Methods and technologies of a cloud-based service-oriented platform for collecting, storing and processing large volumes of multi-format interdisciplinary data and knowledge based upon the use of artificial intelligence, model-driven approach and machine learning").

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and table

- Figure 1 - The main stages of the knowledge base creation method, their results and tools
- Figure 2 - A fragment of the ontological content pattern for describing a technical object
- Figure 3 - A fragment of the ontological content pattern for describing the process of maintenance and repair
- Figure 4 - Concepts reflecting the list of sub-subsystems of the power supply system
- Figure 5 - A fragment of an ontology reflecting the power supply system

Figure 6 - Detailed structure of the work "Failure of the generator of the left engine"

Figure 7 - Model of the concept of "failure" (CAS, CDS, LOCAL - elements of the electronic indication system)

Figure 8 - Decision Table Fragment Examples

Figure 9 - The result of interpretation of the obtained decision tables in iDSS.Desktop

Table 1 - A fragment of the ontology of the subject area formed on the basis of ontological content pattern

References

- [1] **Guarino N.** Formal Ontology in Information Systems. In: Processing of the First International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98). 1998; 46: 3–15.
- [2] **Hitzler P, Gangemi A, Janowicz K, Krisnadhi AA, Presutti V.** Ontology Engineering with Ontology Design Patterns: Foundations and Applications. Studies on the Semantic Web. IOS Press/AKA, 2016.
- [3] **Dorodnykg NO, Grishchenko MA, Yurin AYU.** Production knowledge base programming system: Personal Knowledge Base Designer [In Russian]. Open semantic technologies for designing intelligent systems. 2016; 6: 209-212.
- [4] **Yurin Ayu, Dorodnykg NO.** iDSS.Desktop. Certificate of state registration of the computer program [In Russian]. Moscow. Per. № 2022617130, 19.04.22.
- [5] **Luger GF.** Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, 6th ed. New York: Addison-Wesley, 2008.
- [6] **Wagner WP.** Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies. Expert Systems With Applications, (accepted) Doi: 10.1016/j.eswa.2017.01.028.
- [7] **Corsar D, Sleeman DH.** Developing Knowledge-Based Systems using the Semantic Web. In: Proc. of the 2008 International Conference on Visions of Computer Science: BCS International Academic Conference, 2008: 29-40.
- [8] **Rajput Q, Khan NS, Larik A, Haider S.** Ontology Based Expert-System for Suspicious Transactions Detection. Computer and Information Science. 2014; 7(1): 103-114.
- [9] Shue L., Chen C., Shiue W. The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating. Expert Systems with Applications, 36, 2130-2142, 2009.
- [10] **Sahin S, Tolun MR, Hassanpour R.** Hybrid expert systems: A survey of current approaches and applications. Expert Systems with Applications. 2012; 39(4): 4609-4617.
- [11] **Rybina GV, Rybin VM, Blokhin YM, Parondzhanov SS.** Intelligent Programm Support for Dynamic Integrated Expert Systems Construction. Procedia Computer Science. In: Proc. of the 7th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, vol. 88, 2016: 205-210.
- [12] **Nofal M, Fouad KM.** Developing Web-Based Semantic Expert Systems. International Journal of Computer Science. 2014; 11(1): 103-110.
- [13] **Kadhim MA, Alam MA, Kaur H.** Design and implementation of Intelligent Agent and Diagnosis Domain Tool for Rule-based Expert System. In: Proc. of the International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement; 2013: 619-622.
- [14] **Berman AF.** Informatics of disasters [In Russian]. Problems of safety and emergency situations. 2012; 3: 17-37.
- [15] **Gribova VV, Petryaeva MV, Okun DB, Shalfeeva EA.** Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(1): 58-73.
- [16] **Golenkov V.V.** Ontology-based Design of Intelligent Systems // Open semantic technologies for designing intelligent systems. 2017; 7: 37-56.
- [17] **Cretu LG, Florin D.** Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press, 2014.
- [18] **da Silva AR.** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model. Computer Languages, Systems & Structures. 2015; 43: 139-155.
- [19] **Grishchenko MA, Dorodnykg NO, Korshunov SA, Yurin AYU.** Ontology-based development of diagnostic intelligent systems [In Russian]. Ontology of Designing. 2018; 2(28): 265-284.
- [20] **Grishchenko MA, Dorodnykg NO, Nikolaychuk OA, Yurin AYU.** Application of the model-driven approach to creation of production expert systems and knowledge bases [In Russian]. Artificial intelligence and decision making. 2016; 2: 16-29.
- [21] **Dorodnykh NO, Vidia AV, Yurin AYU.** Developing ontology schemas based on spreadsheet transformation [In Russian]. Software & Systems. 2021; 1: 124-131.
- [22] GOST 20911-89. Technical diagnostics. Terms and definitions. [In Russian]. Moscow: Russian scientific and technical information center for standardization, metrology and conformity assessment, 2009.

- [23] GOST 18322-2016. Maintenance and repair system of engineering. Terms and definitions. [In Russian]. Moscow: Russian scientific and technical information center for standardization, metrology and conformity assessment, 2017.
- [24] GOST 27.002-2015. Dependability in technics. Terms and definitions. [In Russian]. Moscow: Russian scientific and technical information center for standardization, metrology and conformity assessment, 2017.
-

About the authors

Nikita Olegovich Dorodnykh (b. 1990) graduated from INRTU in 2012, PhD (2018). He is a senior associate researcher at ISDCT SB RAS. Co-author of about 70 publications in the field of computer-aided development of intelligent systems and knowledge bases, knowledge acquisition based on the transformation of conceptual models and tables. ORCID: 0000-0001-7794-4462; Author ID (RSCI): 979843; Author ID (Scopus): 57202323578; Researcher ID (WoS): E-8870-2014. tualatin32@mail.ru.

Olga Anatolyevna Nikolaychuk (b. 1967) graduated from the ISU in 1989, D. Sc. Eng. (2011). She is a leading researcher at ISDCT SB RAS, associate Professor. She is a member of Russian Association of Artificial Intelligence. She is a co-author of more than 160 publications in the field of modeling technical systems, development of methods and tools for creating intelligent systems. ORCID: 0000-0002-5186-0073; Author ID (РИИЦ): 100081; Author ID (Scopus): 16309876600; Researcher ID (WoS): A-3315-2014. nikoly@icc.ru. ✉.

Alexander Yurievich Yurin (b.1980) graduated from the INRTU in 2002, PhD (2005). He is the Head of the "Information and telecommunication technologies for investigation of natural and technogenic safety" laboratory at ISDCT SB RAS and associate professor of the Institute of information technologies and data analysis of INRTU. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (RAAI) and Association for Computing Machinery (ACM). He is a member of the Editorial Board of the international scientific journal "Computer, Communication & Collaboration". The list of scientific works includes more than 100 scientific papers in the field of development of decision support systems, expert systems and knowledge bases, application of the case-based reasoning and semantic technologies in the design of diagnostic intelligent systems, maintenance of reliability and safety of complex technical systems. ORCID: 0000-0001-9089-5730; Author ID (RSCI): 174845; Author ID (Scopus): 16311168300; Researcher ID (WoS): A-4355-2014. iskander@icc.ru.

Received May 30, 2022. Accepted June 27, 2022.
