

МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

О.Н. Основина, П.И. Жуков

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального
исследовательского технологического университета «МИСиС»,
г. Старый Оскол, Россия

Аннотация: рассматривается комплексный подход обеспечения поддержки ремонтпригодности, эксплуатации и отказоустойчивости технологического оборудования промышленных предприятий на базе разработки и внедрения интегрированной логистической системы, основанной на знаниях. Формализация знаний экспертов позволит сохранить и аккумулировать результаты практических и научных работ, полученные в части обеспечения требуемой надежности оборудования в рамках его эксплуатации. Актуальность исследования обусловлена возможностью сокращения совокупных затрат на эксплуатацию и, как следствие, оптимизацией стоимости жизненного цикла оборудования и продления его ресурса работоспособности. Разработка базы знаний в области надежности вместе с известными математическими методами расчета представляет практическую ценность для промышленных предприятий. Исследованные модели представления знаний обеспечивают сценарии преобразования знаниевых ресурсов в виде последовательности вызова операций между объектами предметной области, реализованными с помощью классов. Категоризация данных и знаний, реализованная с помощью методологии ARIS позволяет определить возможности и ограничения проектируемой системы. С помощью UML-диаграмм разработан визуальный универсальный конструктор построения базы знаний и механизма логического вывода на знаниях. Управление знаниями обеспечивает интеграцию взаимодействия всех участников жизненного цикла оборудования и формирование объективных предпосылок для разработки и создания единого информационного окружения

Ключевые слова: интегрированная логистическая поддержка, эксплуатационная надежность, диагностика, поддержка эксплуатации, база знаний, экземпляры классов

Введение

Эффективная эксплуатация технологического оборудования (ТО) в современных условиях обеспечивается за счет оптимизации его жизненного цикла (ЖЦ) в стоимостных категориях, а именно: определением наилучших мер поддержки ремонтпригодности, надежности и эксплуатации.

Системный подход к обеспечению жизненного цикла ТО в послепродажный период требует внедрения многокритериального комплекса мероприятий в области управленческих решений нацеленных на снижение совокупных затрат на эксплуатацию. Одним из таких подходов, по мнению авторов, можно считать разработку и внедрение системы интегрированной логистической поддержки (ИЛП).

Под ИЛП понимают [1]:

- управление средствами материально-технического обеспечения. Составление планов контроля состояния ТО, его диагностики и ремонта;
- расчет длительности безотказной работы эксплуатируемого ТО, основанный на опе-

ративной оценке и анализе надежности показателей;

- анализ эксплуатационных затрат;
- ведение учета запасных частей и комплектов ЗИП, составление планов закупки и поставок;
- обеспечение взаимодействия клиента в лице эксплуатанта и производителя, направленного на упрощение процесса диагностики и ремонта ТО, сбора и обработки статистики о неисправностях и отказах, а также сопровождение интегрированных процессов повышения надежности;
- формирование и ведение ремонтной, эксплуатационной и иной документации в электронном виде.

Теоретическая основа управления знаниями при эксплуатационной поддержке оборудования

Практическая реализация перечисленных выше аспектов эксплуатационной поддержки ТО требует разработки и внедрения интегрированной интеллектуальной логистической системы (ИИЛС), которая бы осуществляла процесс управления знаниями и была интегриро-

вана с системами управления инженерными данными о ТО. Подобная система позволит предотвратить временные и ресурсные потери в процессе планирования и реализации взаимодействий между всеми участниками процесса поддержки.

Важным компонентом ИИЛС является база знаний (БЗ), в которой содержится структурированная информация, описывающая исследуемую предметную область. Соответственно, первоочередной задачей при разработке ИИЛС является формирование модели представления знаний предметной области, которая должна обеспечивать [2]:

- представление иерархического множества терминов, определяющих объекты предметной области;
- отображение разнородных отношений между объектами, описывающих таксономию и специфику предметной области;
- использование декларативных и процедурных правил для описания достоверных фактов и семантики предметной области;
- упрощение обмена и возможность повторного использования знаний.

Кроме того, для обеспечения технической, методической и информационной поддержки эксплуатации ТО и его отдельных комплектующих элементов на протяжении всего ЖЦ требуется постоянная актуализация данных и знаний.

Методы анализа и расчета надежностных показателей для специализированных классов ТО приводят к неизбежному усложнению инженерных методик расчета для практического применения [3].

Отталкиваясь от этого, внедрение многомерного контроля эксплуатации ТО средствами ИИЛС, которая агрегирует и обобщает весь набор методик расчета и знаний по их применению, становится не только целесообразным, а в какой-то мере необходимым условием осуществления поддержки эксплуатации на практике.

Такой подход обеспечит возможность решения широкого круга задач, оставаясь при этом на более высоком системном уровне. Помимо прочего, также позволит собирать и накапливать результаты практической и научной деятельности по заданному направлению.

Важным аспектом актуальности исследуемой проблемы также является тот факт, что подобные системы, включающие базы знаний, математические методы расчета и анализа в области обеспечения надежности являются для

промышленных предприятий более ценными, чем существующие прикладные программные решения.

Основным преимуществом ИИЛС является возможность выступать в качестве единого информационного ресурса не только конкретного предприятия, но и отрасли в целом, за счет постоянного пополнения системы знаний и набора методов расчета и анализа.

Совокупность профессиональных знаний об эксплуатационной надежности технологического оборудования подразделяется на явные (объективные) и неявные (субъективные). Неявные знания, которые содержатся в головах отдельных сотрудников и специалистов, являются неформализованными и зачастую скрытыми (персональный опыт, навыки, образование и т.п.). Примерами таких знаний могут быть:

- знания о возможных видах и причинах нарушения работоспособности ТС;
- знания о способах обнаружения аварийных ситуаций и идентификации дефектов и отказов (в том случае, если проводится органолептический контроль);
- знания о способах предотвращения (замедления) развития опасных последствий отказов и т.д.

Явные знания, которые содержатся в документах и справочниках, можно считать формализованными, так как ввиду наличия разнообразных требований к документированию такие знания уже представлены определенными на естественном или искусственном языке.

Формальные профессиональные знания нельзя считать наивысшим уровнем, так как предполагается, что и такого рода знания можно обобщить, получив при этом метазнания. Такие сведения предполагают наличие взаимосвязей между знаниями, т.е. они определяют процесс применения профессиональных знаний в конкретных областях и ситуациях.

В настоящее время существует ряд причин, обуславливающих объективные сложности при извлечении, приобретении и использовании знаний, а именно [2]:

- устаревшие модели представления знаний с неадекватным языковым описанием;
- несогласованность в терминологии у производственных специалистов и онтоинженеров;
- фрагментация извлекаемых знаний, не позволяющая сформировать целостную модель конкретной предметной области;

- неизбежные потери знаний предметной области при унификации пространства эксперта;

- трудности при выполнении семантического анализа, из-за отсутствия единого словаря предметной области.

Очевидна объективная актуальность задачи моделирования знаний как ресурса предприятия. При этом сотрудники подразделений предприятия, прямо или косвенно участвующие в поддержке эксплуатации ТОО, должны в полной мере использовать свой опыт, разнородные данные и знания, приобретенные и накопленные в течение длительного срока.

Разработка базы знаний ИИЛС при помощи ARIS-методологии

Концептуально ИИЛС представляет целевую совокупность интегрированных моделей. Основным назначением таких моделей является обработка и хранение знаний экспертов, содержащихся в электронных технических руководствах (ИЭТР), базах данных (БД) и архив-

ных документах, а также предоставление доступа к способам аналитической оценки этих знаний.

Поскольку безотказность и эффективность эксплуатации ТОО определяется с учетом вероятности успешного выполнения требуемых функций на рассматриваемом интервале времени [4], то в качестве основного элемента унификации, типизации и стандартизации при разработке концепции предметной области выбран объект типа «функция».

Для данного объекта с целью обеспечения терминологической согласованности специалистов разных структурных подразделений предприятия, взаимосвязи и иерархической упорядоченности множества объектов процесса контроля эксплуатационной надежности, удобства компьютерной обработки, была разработана модель технических терминов, представленная на рис. 1. Для ее реализации авторами была выбрана ARIS - методология, как универсальный конструктор, адаптируемый для моделирования разнородных знаний о предметной области.

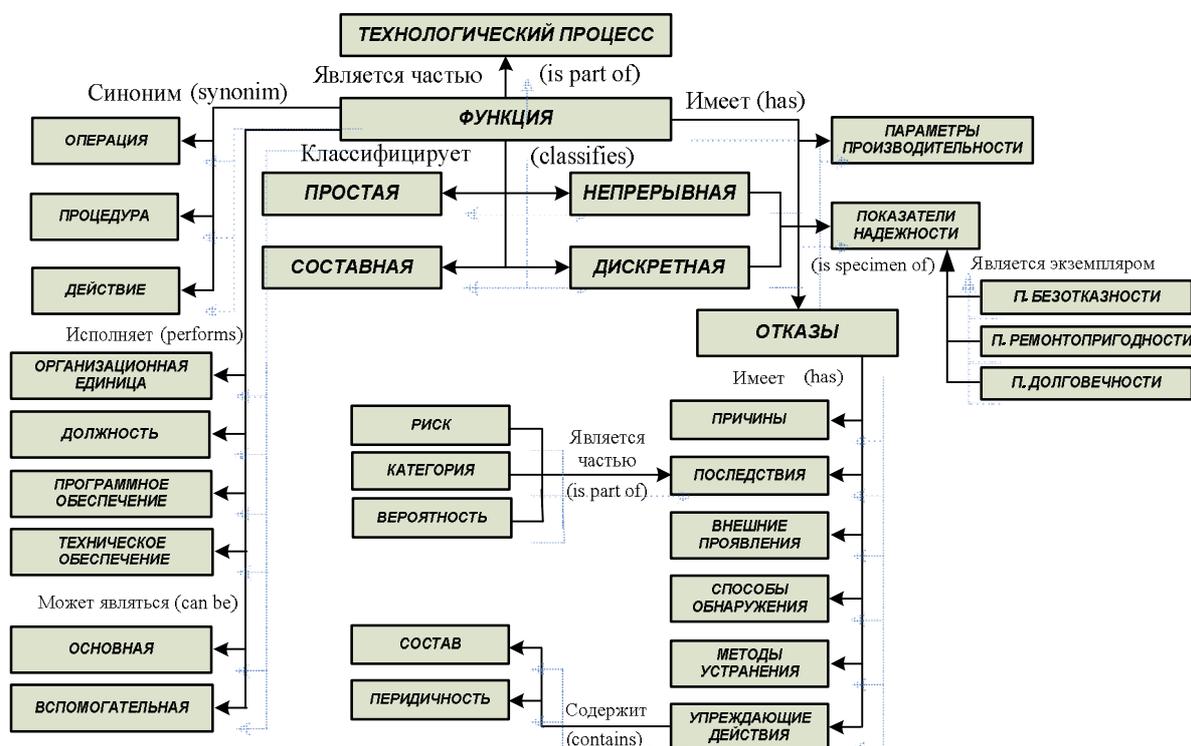


Рис. 1. Объект «функция», представленный с помощью ARIS-модели технических терминов

Для обеспечения эффективного контроля эксплуатации ТОО требуется проведение функционального анализа, в рамках которого необходимо использовать профессиональные зна-

ния трех типов, которые в дальнейшем необходимо учитывать в разрабатываемой ИИЛС:

- знания о функциях;
- знания о функциональных отказах;
- знания о функциональной надежности.

В каждом из перечисленных типов знаний должна быть сконцентрирована и организована информация, необходимая для структурирования основных аспектов знаний и характеристики атрибутов обозначаемых объектов.

Методология ARIS позволяет моделировать процессы создания, подготовки и применения такого рода знаний с использованием различных нотаций и диаграмм, например, применяя ePCs и eERMs диаграммы. Данные структурные представления в рамках ARIS позволяют, применяя конструкции представления, идентифицировать и структурировать знания определенных категорий, а также описывать и обобщать их распределения в рамках конкретных субъектов (например, производственных подразделений).

На рис. 2 представлена разработанная авторами «Диаграмма структуры знаний», которая содержит типы объектов – «Категория знаний», представляющая объект с содержимым, относящимся к конкретным явным и неявным знаниям и «Документированные знания» – объекты, отражающие хорошо формализуемые данные, хранящиеся в виде электронных документов и подлежащие передаче или использованию без процедур предобработки.

Осознанное распределение информации предметной области или данных, основанных на её анализе по важным категориям знаний, выявление и агрегирование документированных знаний позволяют определить потенциал и ограничения в поддержке разрабатываемой ИИИС.

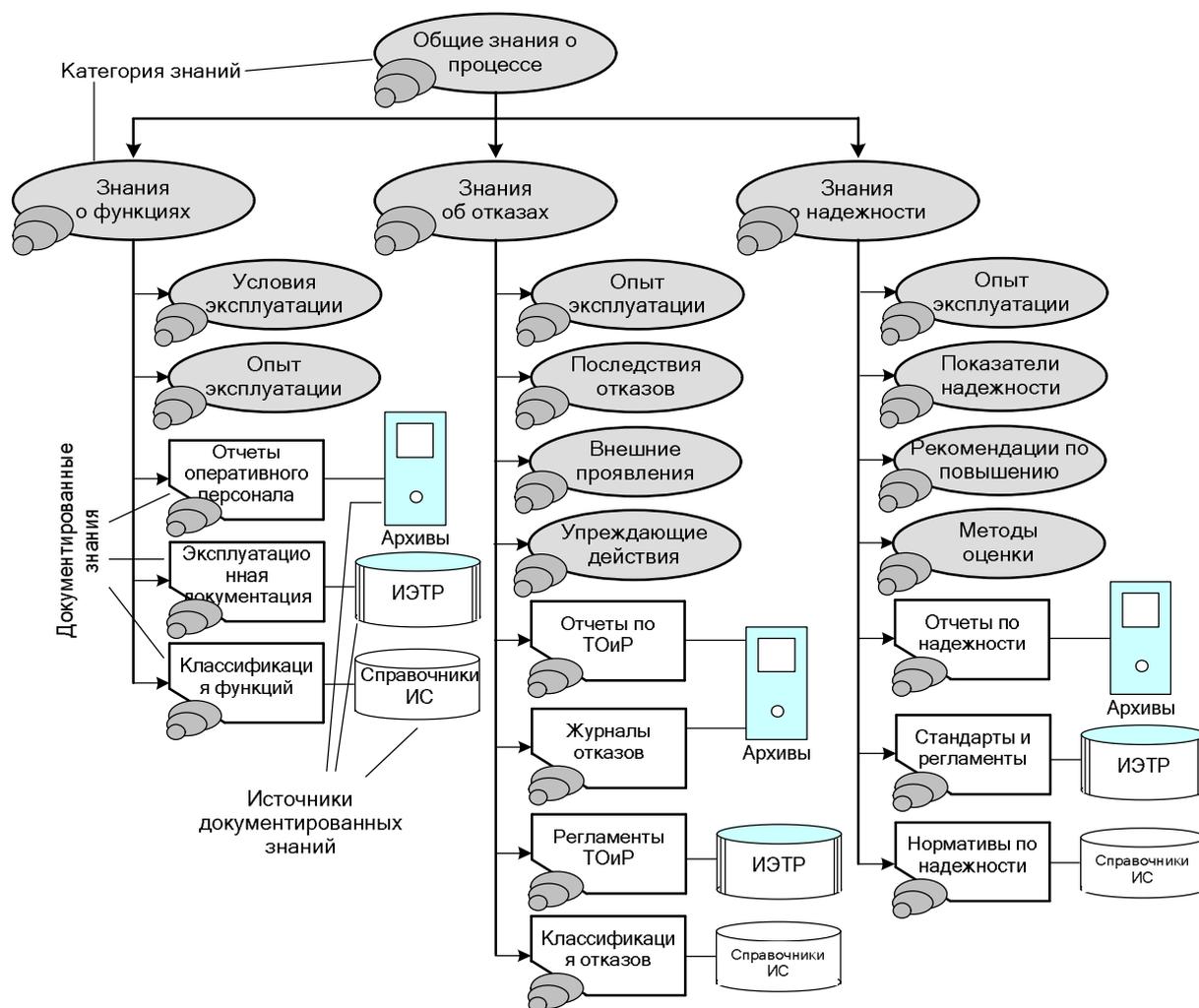


Рис. 2. Диаграмма структуры знаний

Диаграмма структуры распределения знаний (рис. 2) показывает, что элементы типа «категория знаний» и «документированные знания» являются иерархически зависимыми и

представляют собой различные уровни формализации. Однако в рамках «категории знаний» иерархическая зависимость отсутствует, что обусловлено слабой формализуемостью и

вложенностью таких знаний. Например, такие категории, как «знания о надежности», могут включать в себя другие категории знаний такие, как «методы оценки» или «рекомендации по повышению». При этом «документированные знания» не могут иметь на более низких уровнях иерархии неявные категории знаний, и являются по своей сути конечным представлением знания.

Согласно разработанной диаграмме (рис. 2) формализуемые знания (документированные знания) имеют место хранения – это могут быть как ИЭТР, архивные индексируемые электронные хранилища, так и справочные базы данных различных ИС, интегрированных в ИИЛП.

Результаты применение объектно-ориентированного подхода к моделированию знаний

Проведенный системный анализ позволил выявить характерные объекты процесса поддержки эксплуатации ТО и установить связи между ними. Для построения концептуальной структурированной статической модели базы знаний и сокращения затрат на последующую разработку программного обеспечения ИИЛС авторами был выбран объектно-ориентированный подход, позволяющий формировать комплекс именованных совокупностей объектов (классов), их атрибутов (свойств), выполняемых операций (методов) [5]. На рис. 3 представлена разработанная UML диаграмма классов, отображающая различные отношения с объектами выбранных классов.

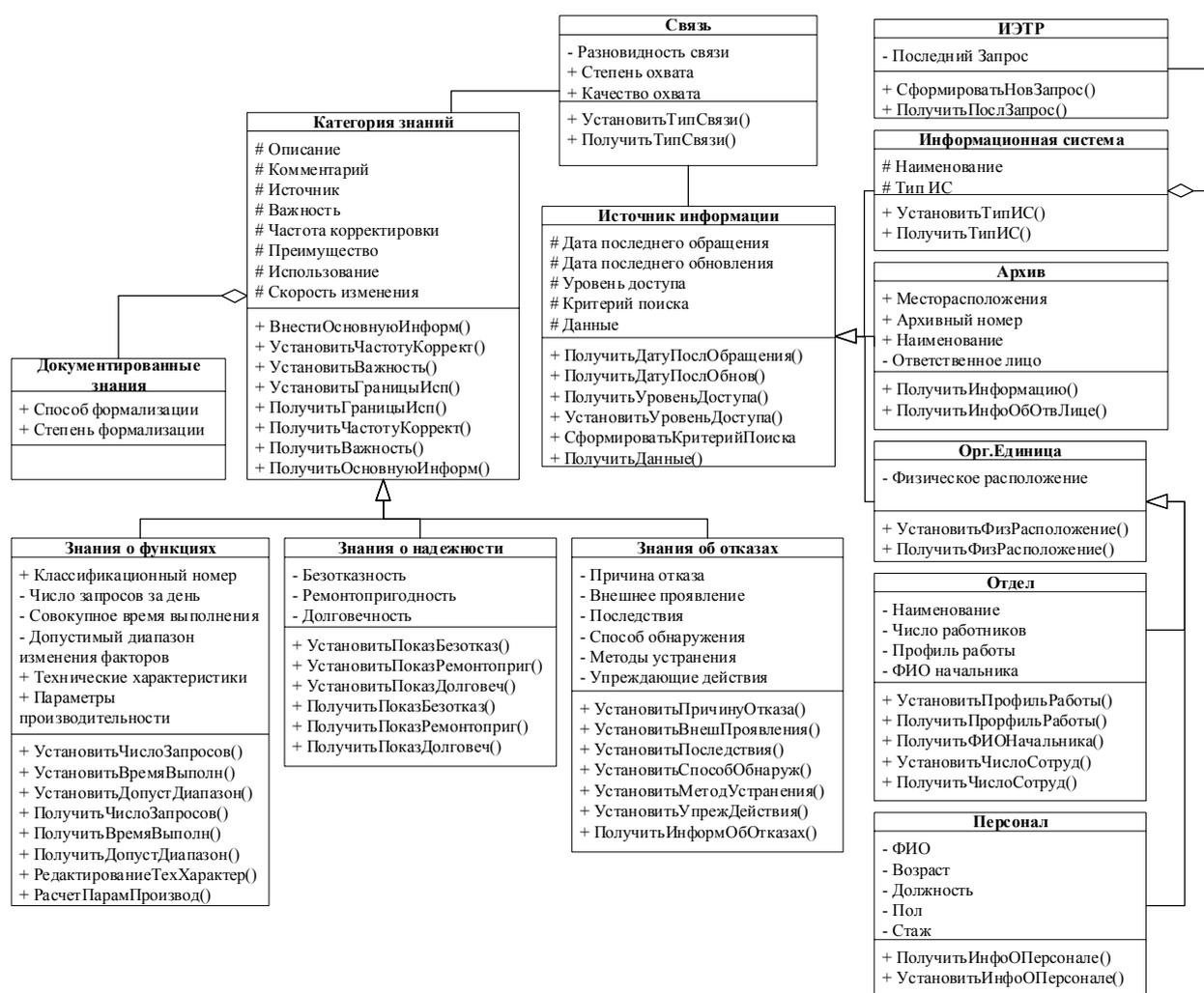


Рис. 3. Статическая модель БЗ, представленная с помощью UML диаграммы классов

Имена классов берутся из словаря технических терминов моделируемой системы. Суперклассом диаграммы является класс «Категории знаний», который находится в отношении обобщения с классами-потомками «Знания о функциях», «Знания об отказах», «Знания о надежности», которые наследуют его свойства и поведение. Для отображения иерархии одиночного наследования такой же тип отношений связывает классы-потомки «Информационная система», «Архив» и «Организационная единица» с классом-предком «Источники информации». Классы «Документированные знания» и «ИЭТР» состоят в отношении агрегации с классами «Категории знаний» и «Информационная система» соответственно. Объекты класса «Категории знаний» связаны ассоциацией с объектами класса «Управление знаниями», который, в свою очередь, имеет ассоциацию с классом «Источник информации», что позволяет осуществлять перемещение от экземпляров одного класса к другому, применяя атрибут «Процедуры». «Степень охвата» характеризует объем определенного знания в конкретном источнике информации, если подразумевается тип связи «распорядится». Данный атрибут, выраженный в процентном отношении, при 100% характеризует полный охват, при 0% характеризует абсолютное отсутствие знаний в заявленном источнике.

«Качество охвата» определяются через атрибут «Степень охвата» следующим образом.

Таблица 1

Соотношение атрибутов охвата знания

Качество охвата	Степень охвата
Низкий	1-25%
Средний	25-50%
Высокий	50-75%
Максимальный	75-100%

Для атрибутов и операций, на основании принципов инкапсуляции, а также существующих ограничений, связанных с возможной политикой предприятия, указаны следующие типы видимости:

- *private* (частный);
- *#protected* (защищенный);
- *+ public* (общий).

Доступ к атрибутам с типом видимости *private* извне класса возможен посредством соответствующих операций с типом видимости *public*. Такой подход позволяет повысить устойчивость разрабатываемой системы, путем

разграничения зон видимости атрибутов для каждого класса объектов.

Класс «Категория знаний» имеет абстрактную оболочку, описывающую конкретные знания, относящиеся к определенным субъектам (например, подразделениям на предприятии). Соответственно атрибуты данного класса, предоставляют доступ к этим знаниям и могут служить для их идентификации при оптимизации управления знаниями.

В табл. 2 приведены примеры количественных атрибутов для класса «категория знаний», имеющих процентное выражение. Помимо численных атрибутов, данный класс имеет также категориальные и текстовые параметры.

Таблица 2

Примеры атрибутов класса «Категории знаний»

Атрибут	Диапазон изменения	Описание
Скорость устаревания	0-100%	0% – не устаревают 100% – теряют актуальность в реальном времени
Использование знаний	0-100%	0% – не используются. 100% – оптимально и полно используются

Для реализации динамического процесса логического вывода по знаниям и моделирование временных взаимодействий использовалась диаграмма последовательности нотации UML (рис. 4), описывающая сценарий преобразования знаниевых ресурсов в виде последовательности вызова операций между объектами классов модели.

Процесс решения задачи оценки надежности ТО инициирует «Отдел по оценке надежности», как экземпляр класса «Организационная единица».

Также во взаимодействии участвуют экземпляры классов «Источники информации», «Категории знаний», «Документированные знания» и «Информационная система».

С целью отражения возможности формализации знаний, их документирования, последующего учета и сохранения в ИИЛС (ИЭТР) на диаграмме последовательности реализован фрагмент условного взаимодействия *alt*, позволяющий выполнять функцию выбора методов/операций соответствующего класса.

Согласно правилам, порядок выполнения операций осуществляется сверху вниз. При необходимости можно выполнять выбор зна-

чения требуемого атрибута экземпляра класса. Диаграмма последовательности позволяет моделировать сценарии решения задачи оценки надежности посредством вызова операций и иллюстрировать процесс обмена сообщениями между объектами модели.

Заключение

С помощью ARIS-методологии и UML диаграмм реализован визуальный универсальный конструктор построения базы знаний и механизма логического вывода на знаниях.

Требуемые для его реализации извлечение, обработка, интеграция разнородных данных и знаний, приобретенных в течение длительного срока, обеспечивают формирование объективных предпосылок для создания единого информационного пространства. При наполнении БЗ знаниями о предметной области и метазнаниями этот конструктор представляет собой ИИЛС, реализующую концепт интегрированной логической поддержки эксплуатации технологического оборудования в области оценки эксплуатационной надежности.



Рис. 4. Модель временного взаимодействия экземпляров классов, представленная с помощью UML диаграммы последовательности

Литература

1. ГОСТ Р 53.393-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.
2. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Системы поддержки принятия решений: учеб. пособие для вузов / под науч. ред. Л.Г. Доросинского. М.: Издательство Юрайт, Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та. 2018. Ч. 1. 103 с.

3. Ефремов Л.В. Проблемы управления надежностью-ориентированной технической эксплуатацией машин. СПб: Art-Xpress, 2015. 206 с.
4. Основина О. Н., Боева Л. М., Симонова А.Г. Оценка эффективности автоматизированных систем управления с учетом показателей эксплуатационной надежности // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 1 (55). С. 56-60.
5. Гагарина Л.Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем: учеб. пособие. М.: ИД «Форум»: ИНФА-М, 2016. 384 с.

Поступила 17.10.2019; принята к публикации 16.12.2019

Информация об авторах

Основина Ольга Николаевна - канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированных и информационных систем управления, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (309500, Россия, г. Старый Оскол, мкр. Макаренко, 42), e-mail: osnovin72@mail.ru
Жуков Петр Игоревич – магистрант кафедры автоматизированных и информационных систем управления, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (309500, Россия, г. Старый Оскол, мкр. Жукова, 50), e-mail: Zhukov.Petr86@yandex.ru

MODELING THE KNOWLEDGE BASE TO SUPPORT OPERATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

O.N. Osnovina, P.I. Zhukov

Starooskolsky Institute of Technology named after A.A. Ugarov (branch) of the National Research Technological University "MISiS", Stary Oskol, Russia

Abstract: a comprehensive approach is considered to provide support for maintainability, operation and fault tolerance of technological equipment of industrial enterprises, based on the development and implementation of an integrated logistics system based on knowledge. The formalization of expert knowledge will allow us to preserve and accumulate the results of practical and scientific work obtained in terms of ensuring the required reliability of equipment during its operation. The relevance of the study is due to the possibility of reducing total operating costs and, as a result, optimizing the cost of the equipment life cycle and extending its service life. The development of a knowledge base in the field of reliability, together with well-known mathematical methods of calculation, is of practical value for industrial enterprises. Implemented models for the representation of knowledge provide scenarios for the transformation of knowledge resources in the form of a sequence of invocation of operations between objects of a subject area implemented using classes. The categorization of data and knowledge, implemented using the ARIS methodology, allows one to determine the capabilities and limitations of the designed system. Using UML diagrams, a visual universal constructor was developed for constructing a knowledge base and a mechanism of logical inference on knowledge. Knowledge management provides the integration of the interaction of all participants in the equipment life cycle and the formation of objective prerequisites for the development and creation of a single information environment

Key words: integrated logistic support, operational reliability, diagnostics, operation support, knowledge base, classes

References

1. GOST R 53.393-2017 "Integrated logistic support. The main provisions" ("Integrirovannaya logisticheskaya podderzhka. Osnovnye polozheniya"), Moscow, Standartinform, 2017, 12 p.
2. Aksenov K.A., Goncharova N.V. "Decision support systems: manual" ("Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: ucheb. posobie dlya vuzov"), Moscow, Yurayt, Ekaterinburg, Ural University, 2018, part 1, 103 p.
3. Efremov L.V. "Problems of managing reliable-oriented technical operation of machines" ("Problemy upravleniya nadezhnostno-orientirovannoy tekhnicheskoy ekspluatatsiyey mashin"), St. Petersburg, Art-Xpress, 2015, 206 p.
4. Osnovina O.N., Boeva L.M., Simonova A.G. "Evaluation of the effectiveness of automated control systems taking into account indicators of operational reliability", Control Systems and Information Technology (Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii), 2014, no. 1 (55), pp. 56-60.
5. Gagarina L.G. "Development and operation of automated information systems: textbook" ("Razrabotka i ekspluatatsiya avtoma-tizirovannykh informatsionnykh sistem: ucheb. posobie"), Moscow, Forum, INFA-M, 2016, 384 p.

Submitted 17.10.2019; revised 16.12.2019

Information about the authors

Ol'ga N. Osnovina, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor, Starooskolsky Institute of Technology named after A.A. Ugarov (branch) of the National Research Technological University "MISiS" (50 Zhukova m., Stary Oskol 309500, Russia), e-mail: osnovin72@mail.ru

Petr I. Zhukov, MA, Starooskolsky Institute of Technology named after A.A. Ugarov (branch) of the National Research Technological University "MISiS" (50 Zhukova m., Stary Oskol 309500, Russia), e-mail: Zhukov.Petr86@yandex.ru