

УДК 004.82

ДИАГНОСТИКА ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА КАК СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Л. Р. ЧЕРНЯХОВСКАЯ¹, Н. О. НИКУЛИНА², А. С. ДАВЛИЕВА³

¹lrchern@yandex.ru, ²nick_nataly@rambler.ru, ³aliyasr21@gmail.com

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 21 июня 2020 г.

Аннотация. Предлагается разработка интеллектуальных методов диагностики программного проекта как сложной технической системы на основе онтологических моделей. Предлагается подход к разработке методов и алгоритмов принятия решений в условиях неопределенности, основанный на применении методов извлечения и формализации знаний о состояниях сложных технических систем и технологических процессов на основе онтологического анализа, что позволяет повысить обоснованность, оперативность и качество диагностирования сложных технических систем.

Ключевые слова: программный проект; принятие решений; онтологический анализ; интеллектуальная поддержка принятия решений.

ВВЕДЕНИЕ

Диагностика состояний технических систем является сложным процессом, направленным на поддержание работоспособности систем и снижение уровня рисков, поэтому вполне обоснованным является обеспечение поддержки принятия решений участников процесса. Системы поддержки принятия решений включают в себя свойства диагностических систем и должны выдавать предписания персоналу для предотвращения опасного состояния объекта и приведения его в нормальное состояние [1]. Применение интеллектуальных методов диагностики, основанных на управлении знаниями, для раннего и точного обнаружения неисправностей и диагностики состояний технологических процессов, может повысить обоснованность и точность управленческих решений, сократить время простоя оборудования, повысить безопасность

технических систем и снизить производственные затраты. Системы, основанные на знаниях, применяются для решения задач диагностики технических систем и технологических процессов в условиях неопределенной и/или неполной информации, знаний и опыта экспертов [2–4]. Предлагается путем разработки и применения методов извлечения и формализации знаний о состояниях сложных технических систем и технологических процессов на основе онтологического анализа разработать базу знаний, содержащую правила и прецеденты для интеллектуальной поддержки принятия решений в условиях существенной неопределенности.

ПРОГРАММНЫЙ ПРОЕКТ КАК СЛОЖНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

При управлении сложной технической системой актуальной задачей является оказание поддержки принятия решений в процессе диагностики и ликвидации проблем-

ных ситуаций на основе накопленных знаний и опыта. Предметной областью для решения такой задачи может служить практически любая сфера человеческой деятельности, но нужно отдавать себе отчет в том, что без применения современных информационных технологий говорить о возможности использования результатов решения задачи не приходится. Поэтому объектом исследования при постановке задачи поддержки принятия решений в процессе диагностики и ликвидации проблемных ситуаций являются процессы разработки программного обеспечения (ПО) в ИТ-компаниях. Характерной особенностью современных сложных технических систем является значительное усложнение используемого в них программного обеспечения, которое представляет собой большие комплексы взаимодействующих компонентов. При этом все более заметный рост надежности вычислительной техники позволяет уделять серьезное внимание обеспечению надежности программных компонентов технических систем, ведь именно они становятся основным источником неправильного функционирования систем управления [5]. В современных условиях обострения конкурентной борьбы между разработчиками программного обеспечения преимущество получает та компания, которая может предложить своим клиентам более качественные услуги и продукты по наиболее привлекательной цене. На первый план выходят методики, позволяющие оценить бизнес-процессы, а также технологические и управленческие процессы компаний с точки зрения максимизации прибыли и минимизации затрат. Одной из таких методик является «Модель цепочки добавления потребительской ценности», разработанная М. Портером [6], рассматривающая предприятие как цепь базисных действий, каждое из которых добавляет ценность продукту, а оптимизация этих базисных действий максимизирует прибыль и/или минимизирует затраты. Как показали исследования, эту модель можно применить к любой организации, основной целью деятельности которой является извлечение прибыли путем продажи товаров и/или услуг, в том числе и к компании-

разработчику программного обеспечения. Согласно [7], к основным процессам ИТ-компаний относятся маркетинг, продажи и обслуживание клиентов, оказание консультационных услуг, разработка программных проектов, сопровождение и техническая поддержка ИТ-продуктов. Успешность функционирования ИТ-компаний зависит от качества выполнения ими комплекса технологических процессов, объединяемых в понятие «программный проект». Одним из важнейших технологических процессов программного проекта является тестирование ИТ-продукта, поэтому оно присутствует во всех моделях жизненного цикла программных средств любого масштаба. Под тестированием понимают проверку соответствия между реальным и ожидаемым поведением программы, осуществляемую на конечном наборе тестов, выбранном определенным образом [8]. Исходя из этого, можно заключить, что тестирование является своего рода диагностикой ИТ-продукта, процессом проверки соответствия программного обеспечения предъявляемым к нему требованиям путем проведения экспериментов и наблюдения за реакцией системы. От качества и глубины проводимого тестирования зависят:

- сроки сдачи ИТ-продукта в эксплуатацию, а значит, затраты и прибыль;
- необходимость устранения ошибок после ввода ИТ-продукта в эксплуатацию;
- отношение заказчиков к продукту и, как следствие, к его разработчику.

Следовательно, проведение качественного тестирования в течение всего жизненного цикла программного проекта (включая предварительный этап планирования и завершающий этап сопровождения) позволит сократить текущие расходы и пресечь будущие убытки. Повысить качество диагностики ИТ-продукта может использование накопленного опыта сотрудников ИТ-компаний, обобщенного и формализованного с помощью интеллектуальных методов обработки знаний.

МЕТОДОЛОГИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ДИАГНОСТИКИ

Основываясь на классах понятий и видах свойств понятий, предлагается произвести категоризацию теоретико-множественного представления информационных потоков по отдельным задачам управления и создать структурно-лингвистическое представление технологических процессов в форме семантической сети онтологии. Онтология включает:

- Уровень индивидов классов (I – *individuals*), входящих в описание проблемных ситуаций (ПС), обладающих свойствами типов данных $X = (x_i)$, характеризующих категорию Cat_j .

- Уровень семантических подсетей, образованных в соответствии с областями знаний управления (категориями), применяемых в конкретном производственном процессе.

- Уровень правил *Rule*, формируемых из суждений экспертов и/или полученных в результате интеллектуального анализа данных. Индивиды классов классифицированы в соответствии с определенными экспертами множеством классов *Cat*. Рассматриваемую многоуровневую модель в обобщенном виде можно представить в форме системы аналитических зависимостей. Однако для решения задач управления и описания последовательностей функции принятия решений представляется целесообразным выбрать онтологическую модель, формальным языком для конструирования и определения категорий в онтологии является описательная логика (англ. *Description Logic, DL*) с применением семейства языков дескрипционной логики ALC (*Attributive Language with Complement*) [9]. Записываемые с помощью языка *DL* аксиомы подразделяются на: набор терминологических аксиом (*Tbox*) и набор утверждений об индивидах (*Abox*). В разработанной онтологии содержатся классы объектов «Проблемная ситуация» (*PS*), «Описание ситуации» (*PSD*), «Решение» (*Dec*). Бинарные отношения между индивидами классов семантической сети определяются в онтологии как объектные

отношения. Примером является отношение между конкретной проблемной ситуацией *PS* и принятым для устранения *PS* решением *Dec*, определяющее прецедент принятия решений в проблемной ситуации [10, 11]. Используя унарные предикаты $PS(x)$, $PSD(x,y)$, $Dec(y)$ и бинарный предикат $acceptable(x,y)$, формулируем аксиомы описания ситуации и зависимости индивидов прецедентов как составляющих компонентов проблемной ситуации на основе спецификации понятий и бинарных отношений между ними, установленных в семантической сети онтологии:

$$\begin{aligned} &PS(x) \rightarrow PSD(x) \\ &\forall x.(x) \rightarrow \exists y.PSD(y) \wedge acceptable(x,y) \\ &acceptable(x,y) \rightarrow PS(x) \wedge PSD(x) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\forall x.PSD(x) \rightarrow \exists y.acceptable Dec(x)$$

Аксиомы (1) выражают утверждения что является истинным, а также приемлемости (*acceptability*) описаний прецедентов. Накопление опыта управления в проблемных ситуациях и его актуализация выполняется путем адаптации решений, содержащихся в прецедентах, к новым ситуациям. Формирование правил выполнено в соответствии с принятым представлением продукционных правил:

$$r : Z_j, \wedge A_g \rightarrow Dec, S, \quad (2)$$

где r – номер правила ($r = 1, \dots, R$, R – количество правил в базе знаний); Z_j – класс ситуации, $Z_j \in Z^0$, Z^0 – множество классифицируемых типовых ситуаций; j – номер класса ситуации в упорядоченном множестве классов ситуаций ($j = 1, \dots, J$, J – количество классов ситуаций); A_g – условие antecedента в правиле r ($g = 1, \dots, G$, которое формулируется на основе описания ситуации PSD , S – ситуация, которая возникает вследствие применения правила).

Полученные правила записаны в онтологии на языке формализации онтологических правил SWRL.

$$\begin{aligned} r:: &C1(?x) \wedge C2(?y) \wedge P1(?x, ?y) \wedge \\ &C3(?x, ?z) \rightarrow C2(?z, ?y), \end{aligned} \quad (3)$$

где $(C1, C2, C3) \in C$, C – класс в *OWL DL*; $P1 \in P$, x, y – экземпляры или переменные, z – переменные или значения.

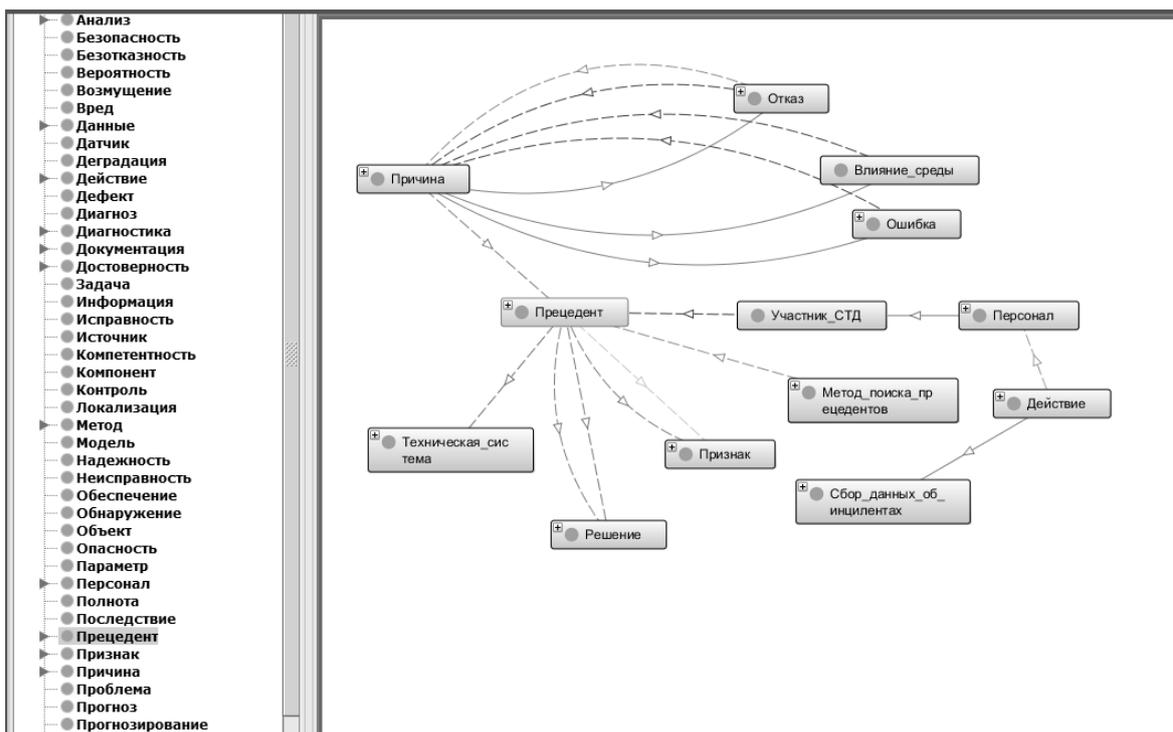


Рис. 1. Фрагмент онтологии, включающий связи класса «Прецедент», используемые при диагностировании проблемных ситуаций

Онтологическая модель системы технической диагностики (СТД) включает модуль поиска и выбора успешных прецедентов принятия решений при диагностировании проблемных ситуаций. Накопление опыта управления в проблемных ситуациях и его актуализация выполняется путем адаптации решений, содержащихся в прецедентах, к новым ситуациям, возникающим при управлении сложными техническими системами и/или технологическими процессами. Модуль поиска и выбора успешных прецедентов представлен на рис. 1 как фрагмент онтологии.

Повторное использование решений, адаптированных к текущим проблемным ситуациям, способствует прогнозированию состояний системы.

Аналогичный модуль представления признаков прецедентов при управлении проектами включен в онтологию интеллектуальной системы поддержки коллективного принятия решений в проектно-ориентированных организациях [12], что подчеркивает универсальность выбранного подхода к формированию базы знаний.

Определение признаков как свойств класса проблемных ситуаций обеспечивает формирование иерархической классификации прецедентов на основании ранжирования признаков в соответствии с их важностью (приоритетом). При возникновении проблемной ситуации новый прецедент будет записываться в соответствии с классификацией, что обеспечит релевантный поиск в базе знаний.

База прецедентов является основой для построения решающих деревьев с применением алгоритмов обучения (ID3, C4.5, CART и др.), которые строят дерево решений из заданной обучающей выборки. Формирование рекомендаций производится на основе правил классификации, устанавливающих соответствие между значениями признаков проблемной ситуации и управляющими решениями.

В настоящее время исследователями предложено множество методов поиска ближайших прецедентов: метод ближайшего соседа (NN – k-nearest Neighbor), метод извлечения прецедентов на основе деревьев

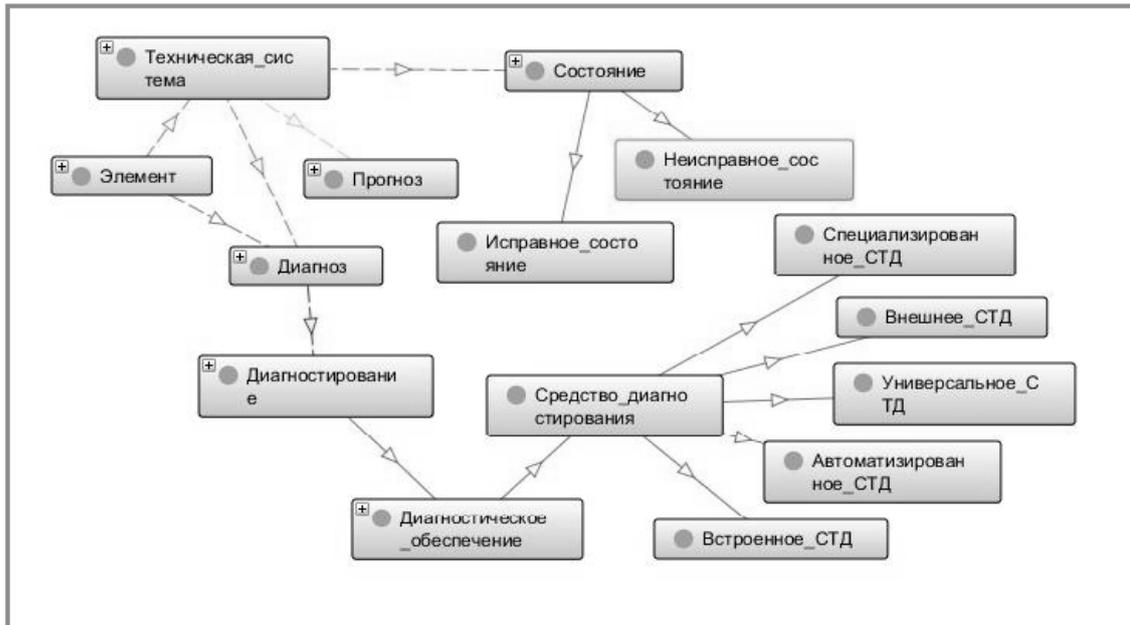


Рис. 2. Структура связей класса «Диагностирование»

решений, метод поиска ближайших прецедентов с применением нечетких множеств, метод поиска прецедентов в онтологии диагностики и др. [13–15].

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ

Рассмотрим в качестве примера класс «Прецедент» применительно к программным проектам. На рис. 2 показана структура связей класса «Диагностирование», включающая классы «Техническая система», «Техническое состояние», «Диагноз» и др., и отношения обобщения и ассоциации между ними.

Система может находиться в определенном состоянии, выделение же этих состояний можно определить как исправное или неисправное состояние. На основе определенного на настоящий момент времени технического состояния можно составить прогноз (например, возможность восстановления работоспособности системы). Одним из наиболее важных классов является класс «Отказ». С целью предупредить отказы проводится диагностирование. Диагностическое обеспечение включает в себя алгоритм диагностирования, правила диагностирования, методы и средства систем технической диагностики (СТД).

Опираясь на терминологию разработки программных проектов и применительно к технологическому процессу тестирования ИТ-продукта была разработана онтологическая модель для описания и выбора успешных решений в ходе диагностики программного обеспечения. В основе модели лежит оценка и анализ основных атрибутов прецедента, а также выделение наиболее существенных признаков программного проекта из его общих характеристик (табл. 1).

Структура онтологии разработана с учетом описания прецедента таким образом, чтобы отобразить множество классов проблемных ситуаций, связанных с решением различных задач, возникающих во время выполнения программного проекта. На рис. 3 представлена структура онтологии для поиска и выбора успешных прецедентов обнаружения ошибок при тестировании ПО, признаки которых структурированы с использованием иерархий понятий.

В ходе проектирования онтологии были выделены основные классы понятий, необходимых для процесса тестирования программного обеспечения, и связи между ними. На рис. 4 представлен фрагмент онтологии прецедента проблемной ситуации (ошибки), возникающей в процессе тестирования ИТ-продукта.

Реализация перечисленных этапов требует активного участия сотрудников ИТ-компании, наилучшего использования их компетенций.

Поиск осуществляется среди прецедентов в базе знаний, встроенной в онтологию. При этом сохраняются все связи между элементами онтологии (см. рис. 1, 2). Ввод запроса осуществляется путём выбора значений параметров проблемной ситуации из выпадающего списка. Список возможных значений для каждого параметра формируется исходя из множества значений, хранящихся в базе знаний.

Для определения соответствия результата запросу пользователя вычисляются локальная и глобальная меры сходства для найденных прецедентов. Применялись две локальные меры сходства: сходство атрибутов экземпляров класса ПС и онтологическая мера сходства. Онтологическая мера сходства учитывает иерархические связи классов и свойств. При этом учитывается то, что сравниваемые свойства проблемной ситуации и прецедентов в общем случае принадлежат к различным классам в установленной иерархии свойств данных.

Для нахождения локальных мер сходства между свойствами проблемной ситуации и прецедентов выделяется поддерево в иерархии свойств, содержащее сравниваемые узлы, и вычисляются уровни этих узлов. Глобальная мера сходства вычисляется путем сложения локальных мер сходства, откорректированных весами, заданными экспертом. Устанавливается порог значимости мер сходства и пользователю выдаются только те прецеденты, чьи значения глобальных мер сходства выше определенного порога. Аналитические выражения для вычисления мер сходства приведены в публикации [11].

По результатам принятия решения с использованием предлагаемых системой прецедентов применения тех или иных моделей, методов и алгоритмов поддержки принятия решений производится оценка качества работы СППР. Она представляет собой взвешенную оценку, данную экспертами, с учетом их опыта и квалификации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее время наблюдается активное развитие информационных технологий и искусственного интеллекта и все более широкое их включение в решение производственных задач в компаниях самого различного профиля. Предложенный подход к разработке методов и алгоритмов принятия решений в условиях неопределенности, основанный на применении методов извлечения и формализации знаний о состояниях сложных технических систем и технологических процессов на основе онтологического анализа, позволяет повысить обоснованность, оперативность и качество диагностирования сложных технических систем.

Практическая ценность представленных результатов состоит в разработке и использовании компонентов системы диагностических знаний для обнаружения и распознавания проблемных ситуаций в технологических процессах, применяющихся при реализации программных проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ Р 53564-2009.** Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. [GOST R 53564-2009. National standard of the Russian Federation. Condition monitoring and machine diagnostics. Monitoring the status of equipment in hazardous industries. Requirements for monitoring systems.]
2. **Гаврилова Т. А., Муромцев Д. И.** Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы: Учебн. пособие. 2-е изд. – СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008. – 488 с. [Т. А. Gavrilova, D. I. Muromcev, *Intelligent technologies in management: tools and systems: a tutorial*, 2nd edition (in Russian). St. Petersburg, 2008.]
3. **Черняховская Л. Р., Старцева Е. Б., Муксимов П. В., Макаров К. А., Малахова А. И.** Поддержка принятия решений при стратегическом управлении предприятием на основе инженерии знаний. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. – 128 с. [L. R. Chernyakhovskaya, E. B. Starceva, P. V. Muksimov, K. A. Makarov, A. I. Malahova, *Decision support in strategic enterprise management based on knowledge engineering* (in Russian), Ufa: Academy of Sciences of RB, Ghilem, 2010.]
4. **Юсупова Н. И., Ризванов Д. А., Сметанина О. Н., Еникеева К. Р.** Модели представления знаний для поддержки принятия решений при управлении сложными системами в условиях неопределенности и ресурсных ограничений// Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: ITIDS'2016, Т.2, 2016. С. 24-27. [N. I. Yusupova, D. A. Rizvanov, O. N. Smetanina, K. R. Enikeeva "Knowledge representation models for decision support in managing complex systems under conditions of uncertainty and resource constraints" (in Russian) in *Infor-*

mation Technologies for Intellectual Decision Support: ITIDS'2016. Vol. 2, 2016.]

5. **Бадамшин Р. А., Ильясов Б. Г., Черняховская Л. Р.** Проблемы управления сложными динамическими объектами в критических ситуациях на основе знаний – М.: Машиностроение, 2003. – 240 с. [R. A. Badamshin, B. G. Ilyasov, L. R. Chernyakhovskaya, *Problems of managing complex dynamic objects in critical situations based on knowledge* (in Russian), M.: Mashinostroenie, 2003.]

6. **Porter M. E.** Towards a Dynamic Theory of Strategy// *Strategic Management Journal*, 1991, Volume 12, Special Issue: Fundamental Research Issues in Strategy and Economics, pp. 95-117.

7. **Бармина О. В., Никулина Н. О.** Интеллектуальная система управления взаимодействием бизнес-процессов в проектно-ориентированных организациях // *Онтологии проектирования*. 2017. Т. 7, №1 (23). – С. 48-65. [O. V. Barmina, N. O. Nikulina, "Intelligent system for managing the interaction of business processes in project-oriented organizations" (in Russian), in *Design Ontologies*. Vol. 7, No.1(23), pp. 48-65. 2007.]

8. **IEEE Guide to Software Engineering Body of Knowledge**, SWEBOOK, 2004.

9. **Russell S., Norvig P.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2nd Edition 1408 с. Prentice Hall, 2002. – 1408 p.

10. **Guarino N.** Formal ontology and information systems. In Nicola Guarino, editor, *Formal Ontology and Information Systems*, (FOIS'98). IOS Press, 1998.

11. **Bittner T., Donnelly M., Smith B.** Individuals, universals, collections: On the foundational relations of ontology. In *Proceedings of the International Conference on Formal Ontology in Information Systems*, FOIS04, 2004.

12. **Никулина Н. О., Бармина О. В.** Построение системы поддержки принятия решений на основе онтологического анализа предметной области // *Интеллектуальные системы, управление и мехатроника*. Изд. СевГУ, 2016. С. 463-467. [O. V. Barmina, N. O. Nikulina, "Building a decision support system based on an ontological analysis of a subject area" (in Russian) in *Intelligent systems, management and mechatronics*. SevSU, 2016.]

13. **Watson I.** *Applying Case-Based Reasoning, Techniques for Enterprise Systems*, Morgan Kaufmann Publishers Inc. 1997.

14. **Kolodner J., Leake D.** A tutorial introduction to case-based reasoning. In *Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons and Future Directions*, AAAI/MIT Press, pp. 31-65, 1996.

15. **Черняховская Л. Р., Никулина Н. О., Давлиева А. С.** Интеллектуальные методы диагностики и прогнозирования состояний сложных технических систем на основе онтологической модели // *Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: ITIDS'2017*, Т.2, 2017. С. 83-86. [L. R. Chernyakhovskaya, N. O. Nikulina, A. S. Davlieva, "Intelligent methods for diagnosing and predicting the states of complex technical systems based on the ontological model" (in Russian) in *Information Technologies for Intellectual Decision Support: ITIDS'2017*. Vol. 2, 2017.]

ОБ АВТОРАХ

ЧЕРНЯХОВСКАЯ Лилия Рашитовна, проф. каф. ТК. Дипл. Инженер электронной техники (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по сист. анализу, обраб. инф. и управл. (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. систем поддержки принятия решений искусственного интеллекта, интеллектуального анализа данных, моделирования сложных технических систем.

НИКУЛИНА Наталья Олеговна, доц. каф. АСУ. Дипл. Инженер-системотехник (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по автоматизир. сист. управл. (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. моделирования организационно-технических систем, управления проектами, автоматизации и управления бизнес-процессам.

ДАВЛИЕВА Алия Салаватовна, асп. каф. ТК. Дипл. Преподаватель-исследователь (УГАТУ, 2019). Готовит дис. о функциональной безопасности сложных аппаратно-программных комплексов. Иссл. в обл. математической статистики, информационных систем.

METADATA

Title: Diagnostic software project as complex technical systems using intelligent methods.

Authors: L. R. Chernyakhovskaya¹, N. O. Nikulina², A. S. Davlieva³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹lrchern@yandex.ru, ²nick_nataly@rambler.ru, ³aliyasr21@gmail.com

Language: Russian.

Source: SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 2, no. 1 (3), pp. 32-39, 2020. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

Abstract: In this article the development of intelligent diagnostic methods for a software project as a complex technical system based on ontological models is described. An approach to the development of decision-making methods and algorithms under conditions of uncertainty is proposed, based on the application of methods for extracting and formalizing knowledge about the states of complex technical systems and technological processes based on ontological analysis. It allows to increase the validity, efficiency and quality of diagnosis of complex technical systems.

Key words: Software project; making decisions; ontological analysis; intelligent decision support.

About authors:

CHERNYAKHOVSKAYA, Liliya Rashitovna, Prof., Dept. of EC. Dipl. electronic engineer (UAU 1970). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 2004).

NIKULINA, Natalia Olegovna, Docent, Dept. of AMS. Dipl. systems engineer (USATU 1994). Cand. of Tech. Sci. (USATU, 1998).

DAVLIEVA, Aliya Salavatovna, Postgrad. Student, Dept. of EC. Dipl. Researcher (USATU, 2019).