ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ • СПбГЭТУ «ЛЭТИ» • 1886

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ»

15-17 марта 2022

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

IPSDQA

Санкт-Петербург, 2022

Министерство образования и науки РФ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Российская Северо-западная секция IEEE

Международная конференция

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

15 – 17 марта 2022

Сборник докладов

Санкт-Петербург
2022

УДК: 004.9(08)
ББК: 3973.233.02я43+3973.233–018.2я43
П79

ISBN 978-5-7629-2980-6

П79 Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем: сборник докладов Международной конференции. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022, 163 с.

В сборнике докладов представлены материалы конференции по четырем секциям: 1) Методы и технологии проектирования и применения информационных систем, 2) Технологии и системы управления инновационной деятельностью, 3) Проектирование и обеспечение качества процессов и систем, 4) Информационные технологии в образовании.

ISBN 978-5-7629-2980-6 © СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2022

Магистрально-модульный принцип построения программного обеспечения информационных систем с микросервисной архитектурой

Г. В. Верхова[1], С. В. Акимов[2]
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ)
[1]galina500@inbox.ru, [2]akimov-sv@yandex.ru

Аннотация. **Представлена концепция магистрально-модульного построения программно-алгоритмического обеспечения информационных систем с микросервисной архитектурой. Предложен метод разработки и технология автоматизации комплексирования магистрально-модульного программного обеспечения. Приведены примеры совместного использование микросервисов, реализующих функцию управления контентом, и микросистемы управления учебным процессом. Предложен подход к разделению задач аутентификации и авторизации в микросервисных системах, имеющих магистрально-модульное построение. Сформулированы требования к микросервисам, допускающим бесшовную интеграцию в любые распределенные информационные системы, имеющие магистрально модульное построение.**

Ключевые слова: магистрально-модульный принцип; программно-алгоритмическое обеспечение; распределенные информационные системы; комплексирование программного обеспечения; микросервисная архитектура; автоматизация комплексирования программного обеспечения

I. Введение

В настоящий момент времени модульный принцип построения систем находит все более широкое распространение [1–5]. Наличие у модуля четко определенной функциональности и множества интерфейсов обеспечивает возможность комплексирование системы их отдельных, полностью отлаженных модулей, путем их объединения друг с другом. Модульные системы обладают достаточной гибкостью и позволяют выполнять оперативную конфигурацию под конкретную задачу.

Магистрально-модульный принцип построения систем [6], который является разновидностью модульного принципа, нашел широкое применение в создании радиоэлектронных систем и средств [7–8], включая вычислительные системы и сети. Особенностью магистрально-модульного принципа построения является обеспечение коммутации входящих в систему модулей с посредством единой шины (магистрали). Обеспечение различных видов совместимости (конструктивной, интерфейсной, информационной и функциональной) реализуется с помощью применения базовых электронных модулей различных уровней разукрупнения.

Появление технологии микросервисов, обеспечившей возможность создания распределенных информационных систем, состоящих из небольших, слабо связанных программных модулей, а в дальнейшем и технологии микрофронтендов, открывает перспективы распространение магистрально-модульного принципа на программное обеспечение. Создание метода разработки магистрально-модульного программного обеспечение позволит решить проблему интероперабельности программных модулей, что в конечном итоге приведет к возможности максимально широкого использования готовых, хорошо отлаженных программных модулей для решения стандартных задач, допускающих глубокую бесшовную интеграцию в создаваемую информационную систему.

II. Особенности информационных систем с микросервисной архитектурой

Микросервисная архитектура представляет собой разновидность сервис-ориентированной архитектуры программного обеспечения, состоящего из взаимодействующих друг с другом небольших, слабо связанных, легко изменяемых модулей, получивших название микросервисов (рис. 1). Распределенные веб-приложения с микросервисной архитектурой в настоящий момент времени получили широкое распространение благодаря хорошей масштабируемости, заменимости микросервисов, возможности использовать различные языки программирования и фреймворки в рамках одной информационной системы [9–10].

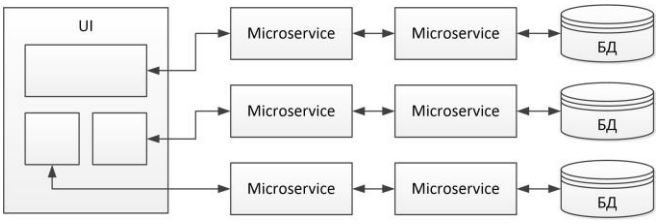


Рис. 1. Микросервисная архитектура программного обеспечения

Изначально микросервисы рассматривались исключительно для создания серверного распределенного программного обеспечения (бэкенд). Графический интерфейс пользователя (фронтенд) должен был создаваться в виде монолитного приложения с использованием либо традиционных технологий (ASP.NET Core Razor Pages, ASP.NET Core MVC), либо с помощью фреймворков одностраничных веб-приложений (Angular, React, Vue, Blazor). Более перспективным вариантом является композитный пользовательский интерфейс, в котором отдельные компоненты связываются с микросервисами, выполняющими роль модели-представления (рис. 1).

Следующим этапом развития микросервисных технологий стала технология микрофронтендов. Микрофронтенды распространяют концепцию микросервисной архитектуры на организацию

графического пользовательского интерфейса. Идея микрофронтенда состоит в разделении монолитного приложения на семантически изолированные части, которые разрабатываются независимо командами разработчиков [11–12]. Семантически независимая часть представляет собой микроприложение (рис. 2).

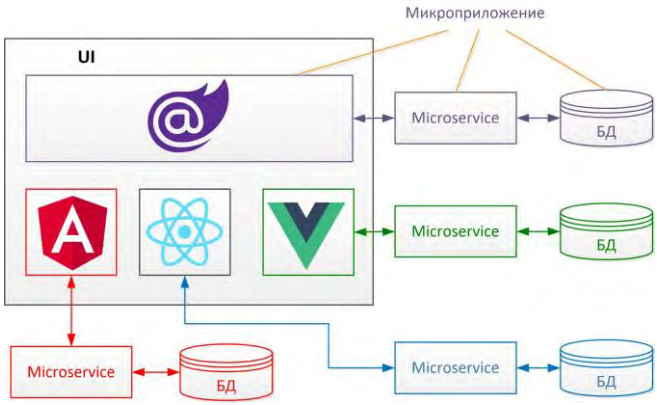


Рис. 2. Концепция микрофронтендов

Применение микрофронтендов позволяет формировать информационную систему из отдельных микроприложений, а также совместно использовать различные фреймворки (Angular, React, Vue, Blazor) при использовании пользовательского интерфейса. Это открывает возможность создания на базе концепции микросервисов и микрофронтендов метода разработки магистрально-модульного программного обеспечения.

III. Метод разработки магистрально-модульного программного обеспечения

Магистрально-модульный принцип построения программного обеспечения базируется на технологии микросервисов и микрофронтендов и распространяет метод создания магистрально-модульных радиоэлектронных систем на разработку программного обеспечения. Основными понятиями магистрально-модульного принципа построения программного обеспечения являются программный модуль и магистраль. Модули группируются в микроприложения, из которых в свою очередь формируются приложения и распределенные информационные системы (1).

$$IS = \langle M, MicroSW, SW, Bus \rangle, \quad (1)$$

где: *IS* – распределенная информационная система; *M* – программный модуль; *MicroSW* – микроприложение; *SW* – программное приложение; *Bus* – магистраль.

Модули могут иметь различные уровни разукрупнения (табл. 1). Программная библиотека относится к нулевому уровню. Библиотека распространяется в исходных кодах и, соответственно, зависит от языка программирования. Микромодуль соответствует первому уровню разукрупнения и фактически представляет собой библиотеку, реализованную в виде микросервиса. Как любой микросервис, микромодуль не зависит от языка программирования и используемых фреймворков. Микроприложение представляет собой комплект микросервиса и графического пользовательского интерфейса, созданного с использованием технологий микрофронтендов. Обычно микроприложение соответствует минимальному ограниченному контексту. Из микроприложений формируется приложение, которое соответствует более крупному контексту, по сравнению с контекстом микроприложения. Приложение позволяет решать конкретные бизнес-задачи, автоматизируя укрупненную зону ответственности предметной области (домена).

ТАБЛИЦА I Уровни разукрупнения программных модулей

Уровень разукрупнения	Тип модуля	Зависимость от языка программирования
0	Программная библиотека	Да
1	Микромодуль	Нет
2	Микроприложение	Нет
3	Приложение	Нет

Модули делятся на модули ядра, модули общего назначения и прикладные модули (рис. 3). Модули ядра реализуют функционал, необходимый для большинства других модулей. К данной группе модулей относятся модуль идентификации, менеджер связей, формирующий отношения между агентами, и магистраль. Модули общего назначения используются в составе большого числа прикладных модулей, избавляя программистов, создающих прикладные модули, от реализации функциональности, предоставляемой данными модулями. К числу модулей общего назначения относятся модули управления документами (MicroCMS) и коммуникационные модули. Прикладные модули реализуют бизнес логику, специфичную для конкретных зон ответственностей предметных областей. Данные модули имеют иерархическую структуру и могут иметь любые уровни разукрупнения. Модули могут взаимодействовать как напрямую (обычно, в рамках микроприложений и приложений), так и через магистраль.

Структура микроприложения представлена на рис. 4. Слои «Доменная модель», «Web API» репозиторий соответствуют слоям микросервиса, созданного в стиле предметно-ориентированного проектирования. Графический интерфейс пользователя (UI) может быть создан с использованием любой технологии создания фронтенда одностраничных веб-приложений.

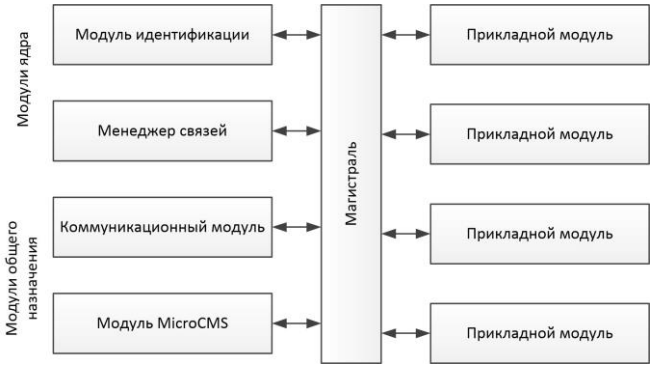


Рис. 3. Магистрально-модульное построение программного обеспечения

Модуль управления правами доступа получает необходимую информацию об аутентификации пользователя с сервера идентификации и на ее основе осуществляет авторизацию с учетом логики ограниченного контекста, в рамках которого функционирует микроприложение. На основании выполненной авторизации модифицируются элементы управления в пользовательском интерфейсе с учетом прав доступа текущего пользователя. Аналогичную структуру может иметь и модуль приложения.

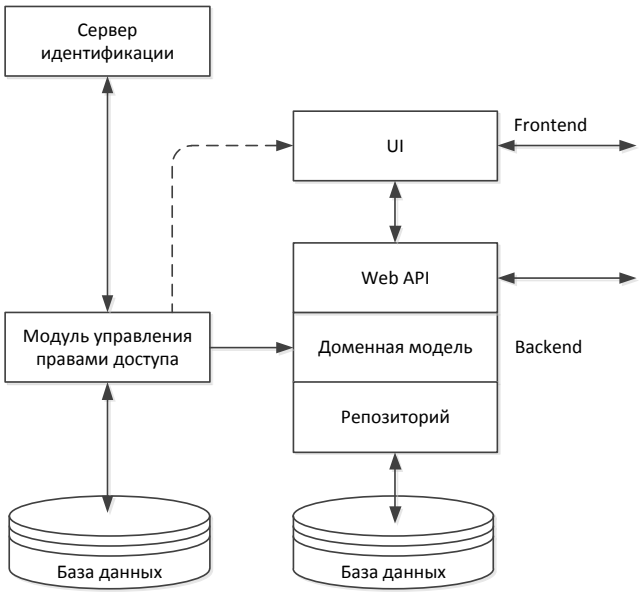


Рис. 4. Архитектура программного модуля

В рамках предложенного метода следует отметить особую важность разработки концептуальных моделей прикладных модулей и модулей общей функциональности, описывающих их с точки зрения предоставляемой функциональности. Эти модели являются иерархическими и ранжируют функциональность по трем уровням, определяя необходимую, желательную и опциональную функциональность. Важно избегать дублирования не только функциональности, имманентно не присущей данному модулю, но попытаться минимизировать номенклатуру модулей, путем объединения модулей со схожей функциональностью, но традиционно относящихся к различным типам, в единую службу.

ТАБЛИЦА II СТРУКТУРА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ МОДУЛЯ

Пункт модели	Описание
Название модуля	Дает краткое название модуля
Определение и назначение модуля	Формулирует общие критерии, позволяющие идентифицировать принадлежность модуля к данному классу
Обязательная функциональность	Перечень функций, без выполнения которых, модуль не может принадлежать к данному классу
Рекомендуемая функциональность	Перечень функций, поддержка выполнения которых весьма желательна для данного класса модулей
Опциональная функциональность	Перечень прочих функций, не выходящих за рамки функциональности данного модуля
Функциональность, не предполагаемая у данного модуля	Перечень функций, поддержка которых не предполагается модулями данного класса
Модули-агрегаты	Модули, от которых зависит данный модуль
Зависимые модули	Модули, в которых может использоваться данный модуль

Пример модуля, реализующего функциональность микросистемы управления контентом, представлен на рис. 5. Данный модуль имеет иерархическую структуру и позволяет управлять отдельными документами (DocKeeper), «подшивками» документов (BookKeeper) и отдельными файлами (FileKeeper, ImgKeeper, VideoKeeper). Данный модуль относится к модулям общей функциональности и может использоваться любыми модулями, для которых необходима реализация функции управления контентом.

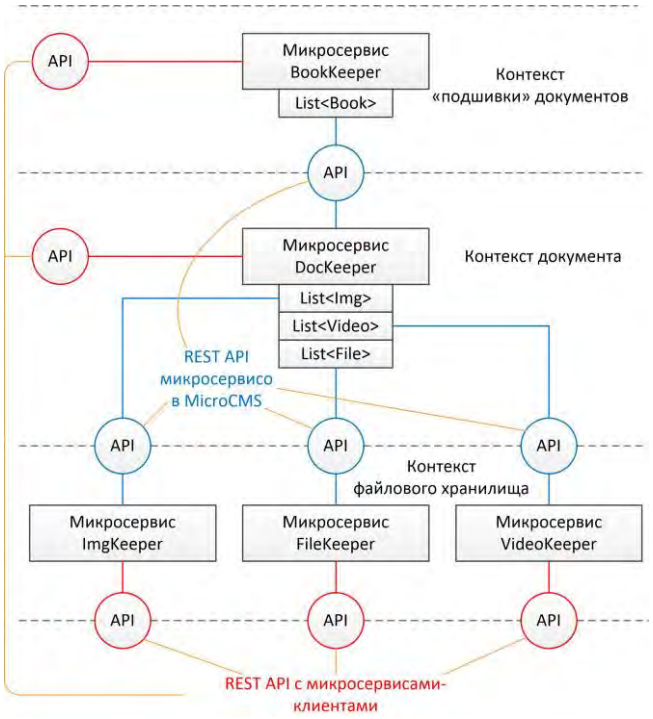


Рис. 5. Микросистема управления контентом (MicroCMS)

Пример использования микросистемы управления контентом в рамках микросистемы управления учебным процессом представлен на рис. 6.

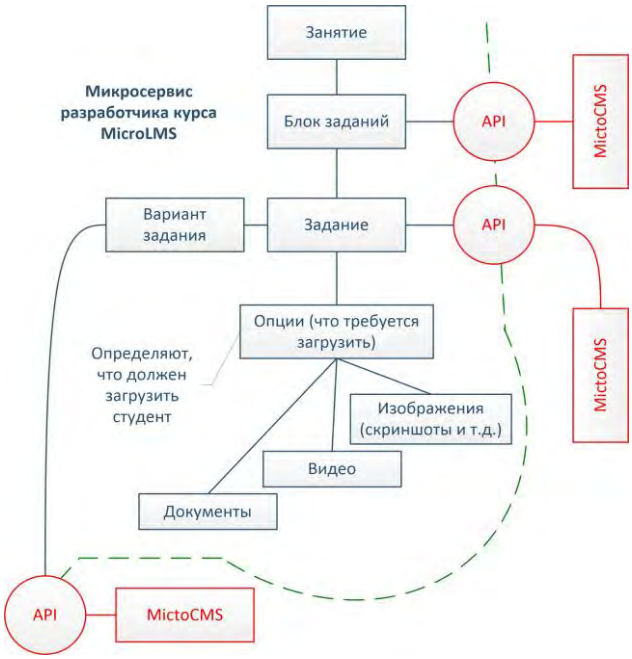


Рис. 6. Использование микросистемы управления контентом в рамках микросистемы управления учебным процессом (микросервис, реализующий ограниченный контекст разработчика курсов)

В рамках метода разработки магистрально-модульного программного обеспечения может быть реализована автоматизация комплексирования программного обеспечения с магистрально-модульным принципом построения, реализуемая на базе механизма фильтрации, входящего в состав комплексных моделей (2):

$$Filter = \langle X, Y, Cond, Mech \rangle, \quad (2)$$

где: X – исходное множество программных модулей, представленных комплексными моделями; Y –

множество, полученное в результате фильтрации исходного множества согласно условию фильтрации; *Cond* – условия фильтрации; *Mech* – механизм фильтрации.

Поиск осуществляется на множестве программных модулей, представленных комплексными моделями. Методология комплексных моделей изложена в [8].

IV. Заключение

Магистрально-модульный принцип построения программного обеспечения информационных систем с микросервисной архитектурой позволяет выполнять комплексирование распределенных информационных систем из программных модулей различных уровней разукрупнения. Метод проектирования программного обеспечения на основе данного принципа должен существенно повысить коэффициент повторного использования программного обеспечения, а также даст возможность программистам сосредоточить внимание на реализации функциональности, имманентно присущей создаваемым модулям, используя для реализации общих функции соответствующие унифицируемые модули. Метод комплексирования программного обеспечения на основе магистрально-модульного принципа предполагает наличие базы данных программных модулей, представленных комплексными моделями, что существенно повысит коэффициент использования хорошо зарекомендовавших программных модулей в различных проектах.

Список литературы

[1] M. Schiemann, J. Hodapp and U. Berger, "Collaboration-Gap: A bus-modular architecture for human-robot-collaboration systems in production environments," ISR 2018; 50th International Symposium on Robotics, 2018, pp. 1-5.

[2] R. Chen, B. Liu, M. Pan and H. Zhou, "Design of Distributed Control System for the Pick-up Robot Based on CAN Bus," 2019 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 2019, pp. 102-107, DOI: 10.1109/ICMA.2019.8816619.

[3] M.M. Michałek, B. Patkowski and T. Gawron, "Modular Kinematic Modelling of Articulated Buses," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 69, no. 8, pp. 8381-8394, Aug. 2020, DOI: 10.1109/TVT.2020.2999639.

[4] X. Han and H. Wen, "Analysis and design of Modular Multi-level DC/DC Converter," 2021 IEEE 16th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2021, pp. 649-654, DOI: 10.1109/ICIEA51954.2021.9516112.

[5] V. Shynkarenko, A. Makki, V. Kotliarova and A. Shymanska, "Modular Principle in the Structural organization and Evolution of Electromechanical Objects," 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2019, pp. 162-165, DOI: 10.1109/MEES.2019.8896446.

[6] Шубарев В.А., Меткин Н.П., Зверев В.Н. Магистрально-модульное построение РЭС – стратегическое направление радиоэлектронного приборостроения // Электроника: наука, технология, бизнес. СПб., 2008. Спецвыпуск. С. 20–23.

[7] H.M. Khoder, G.V. Verkhova and S.V. Akimov, "Parametric multi-aspect modeling of distributed bus-modular control systems," 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS), 2017, pp. 259-262, DOI: 10.1109/CTSYS.2017.8109540.

[8] Акимов С.В. Теоретические основы CALS / С.В. Акимов, Г.В. Верхова, Н.П. Меткин. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2018. 263 с. ISBN 978-5-89160-172-7.

[9] A. Aizstrauts, D Burkhardt, E. Ginters and K. Nazemi, "On Microservice Architecture Based Communication Environment for Cycling Map Developing and Maintenance Simulator," 2020 61st International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS), 2020, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ITMS51158.2020.9259299.

[10] L. Bao, C. Wu, X. Bu, N. Ren and M. Shen, "Performance Modeling and Workflow Scheduling of Microservice-Based Applications in Clouds," in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 30, no. 9, pp. 2114-2129, 1 Sept. 2019, DOI: 10.1109/TPDS.2019.2901467.

Модели и методы интеллектуального анализа данных в управлении проектами

А. А. Васильев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
tolya051996@mail.ru

А. В. Горячев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
avgoryachev@gmail.com

Аннотация. **В данной статье рассматривается интеллектуальный анализ данных в области управления проектами в части выявления скрытых закономерностей или взаимосвязей между объектами в больших массивах данных. Рассматриваются теоретические основы и задачи, которые решаются в ходе применение интеллектуального анализа данных. Анализируются и описываются свойства и особенности существующих методов интеллектуального анализа данных – начиная от построения деревьев решений и заканчивая нейронными сетями. Формулируются задачи и проблемы в области управления проектами, которые могут быть решены с помощью применения методов интеллектуального анализа данных.**

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, Data Mining, регрессия; классификация, кластеризация, деревья решений, нейронные сети, управление проектами

I. Введение

Бурное развитие и внедрение информационных технологий и программных средств в конце XX-начале XXI века в корне изменило подходы к управлению проектами (УП) в различных областях, включая и область система автоматизированного проектирования (САПР). Развитие баз данных (БД) и систем управления базами данных (СУБД) позволило хранить, обрабатывать и представлять по запросу пользователя огромные массивы данных, относящихся к проектам, ведущимся в различных проектных организациях, и изделиям, разрабатываемых в рамках эти х проектов. Развитие различных методологий и инструментов для управления проектами (например, диаграмм Ганта) позволило и руководителям, и участникам наглядно представлять и контролировать весь процесс проектирования, а в случае отклонений – принимать решения по корректировке планов.

Однако нужно отметить, что в связи с накоплением огромных массивов данных в организациях встает вопрос: как эффективно использовать эти данные в текущих и будущих проектах так, чтобы ускорить разработку и ведение последних? Как сделать так, чтобы весь объем накопленных данных не лежал «мертвым грузом» в базах данных или архивах организации – а «работал»? Ответом на этот вопрос могут быть различные модели и методы интеллектуального анализа данных (ИАД), которые в настоящее время все более активно внедряются в системы управления проектами (СУП) и системы поддержки принятия решений (СППР).

Данная статья посвящена обзору существующих моделей и методов ИАД, их свойств и различий. Рассматриваются возможности и перспективы использования ИАД в области УП, а также выявляются типы знаний, которые могут быть получены с помощью интеллектуального анализа данных. Произведено сравнение методов ИАД для анализа больших объемов данных и выявлены наиболее подходящие методы, которые бы позволили наиболее полно и точно проанализировать данные, хранящиеся в проектных организациях.

II. Определение интеллектуального анализа данных

Интеллектуальный анализ данных (англ. «Data Mining», другие варианты перевода – «добыча данных», «раскопка данных») в полной мере раскрывает специфические и уникальные взаимозависимости разных данных друг от друга. Он позволяет на основании имеющихся данных быстро принимать максимально правильные решения. Вторая по значимости задача, стоящая перед анализом данных – это обнаружение новых неявных закономерностей, которые формируются в наборах данных.

Активнее всего интеллектуальный анализ начал использоваться в конце XX века. Этому поспособствовало стремительное технологическое развитие. К информации и данным начали относиться как к наиболее важному и ценному ресурсу, который приносит прибыль. Из-за существенного развития технологий объемы данных в цифровом формате возросли до невероятных масштабов. Интеллектуальный анализ позволяет быстро и оперативно обнаруживать интересующую информацию, быстро ею оперировать для выполнения определенных задач.

В настоящий момент большинством ученых принято считать классическим определение интеллектуального анализа данных, данное Григорием Пятецким-Шапиро: «Интеллектуальный анализ данных – исследование и обнаружение "машиной" (алгоритмами, средствами искусственного интеллекта) в сырых данных скрытых знаний, которые ранее не были известны, нетривиальны, практически полезны, доступны для интерпретации» [1].

Из рассматриваемого определения вытекают следующие свойства знаний:

1) ***Знания должны быть новые, ранее неизвестные***. Как известно, все силы и ресурсы, которые используются для получения уже имеющейся информации никогда не окупаются. Это подтверждает факт того, что ценнейшим ресурсом в этой области могут быть только новые знания, к которым никто до этого не мог добраться.

2) ***Знания должны быть нетривиальны***. Естественно, что получаемые данные обязаны быть нетривиальными, неожидаемыми. Это важно при изучении всех взаимосвязей между элементами и объектами изучаемых данных. Только в случае

обнаружения всех скрытых, ранее неизвестных данных можно говорить о какой-то ценности реализации ИАД. Иными словами, после получения результатов и установления факта получения скрытых данных, все вложенные ресурсы, включая время окупаются в полной мере. Data Mining – это очень сложный и трудоемкий метод получения информации и используется далеко не в всех случаях. Если присутствует потенциальная возможность получения аналогичной информации менее затратными способами, то интеллектуальный анализ данных не используется.

3) ***Знания должны быть практически полезны***. После открытия новых знаний. очень важно добиться того, чтобы все эти знания и информация были как-то применимы на практике, приносили соответствующую пользу. Иными словами, Data Mining используется только в том случае, когда потенциальные данные, обнаруженные после использования метода, будут полезными для конкретного человека или организации.

4) ***Знания должны быть доступны для понимания человеку***. Важно, чтобы вся полученная информация была логически объяснена простым языком для человека. Ценность новых данных в том, чтобы при относительной собственной простоте данные, полученные с помощью интеллектуального анализа, не вызывали лишних вопросов, противоречий или непонимания.

III. Модели и задачи интеллектуального анализа данных

A. Модели Data Mining

Data Mining – это комплексный метод получения ценной новой информации. Естественно, что для функционирования во всех сферах, на всех уровнях, важно правильно подготовить ключевые компоненты метода. Иными словами – адаптировать все ресурсы метода так, чтобы получить максимальный результат. В итоге, формируются разные формы Data Mining, которые могут использоваться в зависимости от условий осуществления интеллектуального анализа.

Наиболее распространенными моделями Data Mining являются:

- ассоциативные правила;
- деревья решений;
- кластеры;
- математические функции.

Методы формирования моделей Data Mining принято относить к области т.н. "искусственного интеллекта".

B. Задачи Data Mining

Различные методы Data Mining используется для решения таких задач, как [2]:

- описательные (англ. *«descriptive»*);
- предсказательные (англ. *«predictive»*).

Описательные (descriptive) задачи полностью концентрируются на деформировании и изменении всех анализируемых данных для более комфортного понимания. Важнейший момент в подобных моделях – это максимальное упрощение данных и их прозрачность для понимания обычным человеком. Также в этой ситуации отдельно стоит отметить, что все описательные задачи в обязательном порядке должны упрощать информацию даже при условии, что полученные результаты будут анализироваться впервые. Наиболее распространенными формами описательных задач есть ассоциативные правила и кластеризация.

Все *предсказательные (predictive)* задачи по умолчанию разбиваются на два фундаментальных этапа. Первый этап предусматривает формирование необходимой модели интеллектуальных данных, основываясь на характере и наборе информации, которые будет раскрываться в этой задаче. Важно добиться состояния максимальной продуктивности функционирования модели.

Если ориентироваться на способы решения поставленных задач, что можно выделить два ключевых способа:

- *supervised learning* (обучение с учителем);
- *unsupervised learning* (обучение без учителя).

В первом случае реализация всего процесса анализа данных будет распределена на несколько соответствующих этапов. Для начала создается специальная модель Data Mining, которая лучше всего раскрывается в процессе анализа данных. Подобная модель называется классификатором. Только после создания соответствующего классификатора большое значение будет иметь его дальнейшее изучении. В случае получения неудовлетворительного результата происходит дополнительная процедура изучения классификатора. Такой тип задач чаще всего представляется в виде регрессии и классификации.

Второй случай подразумевает процесс целостного объединения всех задач, которые позволяют определить описательные модели. Этот тип задач представлен кластеризацией и поиском ассоциативных условий (правил).

Изучим и проанализируем каждую из упомянутых задач ИАД [3].

Задача классификации (стратификации) подразумевает изучение всех особенностей и характеристик объекта (события) для присвоения ему соответствующего класса. До процесса определения класса все классы должны быть полностью изучены и исчисляться ограниченным количеством. Только в таком случае можно говорить о субъективность выбранного класса для объекта (явления).

Задача регрессии – подобный классификации процесс, за исключением того, что все осуществляемые процессы идентификации концентрируются вокруг одного отличительного параметра. Иными словами, один характерный параметр позволяет определить ту классификацию, к которой можно отнести объект (явление).

Обе выше упомянутые формы (регрессия и классификация) используют две переменные для установления третьей, что будет также представлять уникальную характеризирующую форму этого самого объекта [4].

Если рассматривать регрессию или классификацию через решение задачи, то она представляется в таком

формате. Существует определенное множество разных объектов:

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n\},$$

где i_j – исследуемый объект.

При этом для каждого объекта также существуют собственные специфические переменные, из которых он состоит:

$$I_j = \{x_1, x_2, \dots, x_h, \dots, x_m, y\},$$

где x_h – независимые переменные, значения которых известны и на основании которых определяется значение зависимой переменной y.

Достаточно часто для более комфортного представления формы зависимых переменных используется векторный вид:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_h, \dots, x_m\}.$$

Каждая переменная x_h может принимать значения из некоторого множества:

$$C_h = \{c_{h1}, c_{h2}, \dots\}.$$

Если значениями переменной являются элементы конечного множества, то говорят, что она имеет категориальный тип. Если множество значений $C = \{c_1, c_2, \dots, c_r, \dots, c_k\}$ переменной y конечное, то задача называется задачей классификации. Если переменная y принимает значение на множестве действительных чисел R, то задача называется задачей регрессии.

Задача кластеризации во многом напоминает предыдущий пример. Практически все процессы, проводимые непосредственно при формировании задачи классификации, также применяются и в задачах кластеризации. Однако, в этом случае множество будет распределяться на небольшие подгруппы (кластеры), объединенные общим параметром. Стоит отметить, что при кластеризации окончательное количество создаваемых кластеров будет известно только после завершения деления множества на группы.

Формально данная задача описывается следующим образом.

Есть множество I с определенным количеством данных. Задача заключается в необходимости формирования множества кластеров (подгрупп) в соответствии с определенными параметрами (атрибутами), так, чтобы происходило полноценное отображение F множества I на множество C, т. е. $F : I \rightarrow C$.

Множество I определим следующим образом:

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n\},$$

где i_j – исследуемый объект.

Каждый из объектов характеризуется набором параметров:

$$i_j = \{x_1, x_2, \dots, x_h, \dots, x_m\}.$$

Каждая переменная может принимать значения из некоторого множества:

$$x = \{v_h^1, v_h^2, \dots\}.$$

Задача кластеризации состоит в построении множества:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, x_g\}.$$

Здесь c_k – кластер, содержащий похожие друг на друга объекты из множества I:

$$c_k = \{i_j, i_p \mid i_j \in I,\ i_p \in I \text{ и } d(i_j, i_p) < \sigma\},$$

где σ – величина, определяющая меру близости для включения объектов в один кластер; $d(i_j, i_p)$ – мера близости между объектами, называемая *расстоянием*.

Неотрицательное значение $d(i_j, i_p)$ называется *расстоянием* между элементами i_j и i_p если выполняются следующие условия:

а) $d(i_j, i_p) \geq 0$ для всех i_j и i_p;

б) $d(i_j, i_p) = 0$ тогда и только тогда, когда $i_j = i_p$;

в) $d(i_j, i_p) = d(i_j, i_p)$;

г) $d(i_j, i_p) \leq d(i_j, i_r) + d(i_r, i_p)$.

Если расстояние $d(i_j, i_p)$ меньше некоторого значения σ, то говорят, что элементы близки и помещаются в один кластер. В противном случае говорят, что элементы отличны друг от друга и их помещают в разные кластеры.

Большинство популярных алгоритмов, решающих задачу кластеризации, используют в качестве формата входных данных матрицу отличия D. Строки и столбцы матрицы соответствуют элементам множества I. Элементами матрицы являются значения $d(i_j, i_p)$ в строке j и столбце p. Очевидно, что на главной диагонали значения будут равны нулю:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d(e_1, e_2) & d(e_1, e_n) \\ d(e_2, e_1) & 0 & d(e_2, e_n) \\ d(e_n, e_1) & d(e_n, e_2) & 0 \end{pmatrix}.$$

Многие изучаемые и часто используемые алгоритмы отлично функционируют с симметричными матрицами. При условии установления отсутствии симметрии в матрице логично провести типичное преобразование таким способом:

$$(D + D^m) / 2$$

Задача определения взаимосвязей (поиска ассоциативных правил) основывается на процессе отдельного выделения наиболее часто встречаемых наборов объектов среди других объектов этого самого множества. Именно все обнаруженные взаимосвязи между объектами будут использоваться для формирования соответствующих правил, которые значительно упрощают изучаемые объекты и явления, делают их максимально простыми для понимания, а соответственно и позволяет человеку предсказать дальнейшие события, связанные с этими компонентами.

Естественно, что процесс идентификации наиболее встречаемых подмножеств объектов очень часто используется в виде задачи интеллектуального анализа данных.

В целом, задача будет выглядеть так. Для начала следует обозначить все объекты, касающиеся отобранного набора объектов. Это можно сделать в таком виде:

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n\},$$

где i_j – объекты, входящие в анализируемые наборы; n – общее количество объектов.

Наборы объектов из множества *I*, хранящиеся в базе данных и подвергаемые анализу, называются *транзакциями*. Опишем транзакцию как подмножество множества *I*:

$$T = \{i_j \mid i_j \in I\}.$$

Набор транзакций, информация о которых доступна для анализа, обозначим следующим множеством:

$$D = \{T_1, T_2, \ldots, T_r, \ldots, T_m\},$$

где *m* – количество доступных для анализа транзакций.

Множество транзакций, в которые входит объект i_j, обозначим следующим образом:

$$D_{ij} = \{ T_r \mid i_j \in T_r;\ j = 1..n;\ r = 1..m \} \subseteq D.$$

Некоторый произвольный набор объектов обозначим следующим образом:

$$F = \{ i_j \mid i_j \in I;\ j = 1..n\}.$$

Набор, состоящий из *k* объектов, называется *k* – элементным набором.

Множество транзакций, в которые входит набор *F*, обозначим следующим образом:

$$D_F = \{T_r \mid F \subseteq T_r;\ r = 1..m\} \subseteq D.$$

Отношение количества транзакций, в которое входит набор *F*, к общему количеству транзакций называется *поддержкой набора F* и обозначается *Supp(F)*:

$$Supp(F) = \frac{|D_F|}{|D|}.$$

Задача анализа последовательностей (сиквенциальный анализ, поиск последовательных шаблонов) заключается в нахождении закономерностей среди взаимосвязанных по времени событий.

Сиквенциальный анализ достаточно интересный в плане более подробного и целостного изучения всех событий, но в правильной хронологической последовательности. Такая процедура имеет достаточное количество специфических и уникальных процессов. стоит выделить необходимость четкой идентификации всех закономерностей в изучаемой последовательности. Подобные знания поспособствуют возникновению возможности полноценного предугадывать с большой долей вероятности событий, что будут происходить в ближайшем будущем. Следует понимать, что подобный процесс невозможно воспринимать как точное и бесспорное предсказание поведения объектов или явлений в будущем, так как практически невозможно предусмотреть все внешние и внутренние обстоятельства, способные повлиять на это событие или объект, что уже сдвигает осуществление всех процессов далеко от спектра, который предусматривался проведением этого анализа. Иными словами, такие задачи показывают самые вероятное развитие событий, логику поведения, которые могут случиться при условии отсутствия прочих независящих обстоятельств, влияющие на ход развития.

Исходя из всего этого, большое значение важно уделить понятию *последовательности*. Этим термином в научной литературе объясняют любое упорядоченное множество объектов. Но для того, чтобы исследуемое множество обрело характерные черты последовательности, необходимо четко установить любое отношение порядка. Иными словами, при анализе множества просто добавляется еще одно свойство, которое влияет на это множество, заставляя изучать все его элементы в соответствии с тем условием порядка, что было ранее добавлено.

Учитывая всю эту информацию, можно показать множество с условием последовательности в таком виде:

$$S = \{\ldots, i_p, \ldots, i_q, \ldots\}, \text{где } q < p.$$

Очень важно понимать, что последовательность не является универсальным значением, и для более точной характеристики, следует учитывать разделение на последовательности с циклами и последовательность без циклов. С циклами последовательность представляет собою последовательность, в которой присутствует повторяющийся объект в разных позициях:

$$S = \{\ldots, i_p, \ldots, i_q, \ldots\}, \text{где } q < p, \text{а } i_q = i_p.$$

Поддержкой последовательности S называется отношение количества транзакций, в которое входит последовательность *S*, к общему количеству транзакций. Последовательность является частой, если ее поддержка превышает минимальную поддержку, заданную пользователем:

$$Supp(S) > Supp_{min}.$$

Задачей сиквенциального анализа является поиск всех частых последовательностей:

$$L = \{S \mid Supp(S) > Supp_{min}\}.$$

IV. Применение методов интеллектуального анализа данных в управлении проектами

Конечная цель извлечения полезной информации в проектной деятельности – повышение эффективности труда инженеров за счет сокращения трудоемкости и сроков проектирования.

Обычно это обеспечивается за счет решения следующих задач проектной деятельности:

1. Автоматизации оформления документации.

2. Информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений.

3. Унификации проектных решений и процессов проектирования для повторного использования проектных решений, данных и наработок.

4. Стратегического проектирования.

5. Замены натурных испытаний и макетирования математическим моделированием.

6. Повышения качества управления проектированием.

7. Применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

Поскольку формулировка этих задач максимально общая, то ниже приводится краткое описание более частных задач в сфере планирования и управления проектами, где может быть полезно применение моделей и методов ИАД.

A. Планирование ресурсов проекта

Перед началом нового проекта его руководитель должен определить некоторые важные параметры – цель проекта, вид разрабатываемой детали или объекта, уровень технического оснащения, квалификацию исполнителей и т. д. Используя модели и методы ИАД, а также значения данных параметров из других проектов, ранее уже выполнявшихся организацией, руководитель проекта может получить предварительную оценку затрат ресурсов на выполнение проекта – временных, людских, материальных, финансовых и т. д.

Все эти данные могут быть представлены в виде различных графиков для анализа и принятия взвешенного решения.

B. Контроль качества и ресурсов проекта

В ходе выполнения проекта могут возникать различные ситуации, которые так или иначе могут повлиять на качество выполнения проекта или затраты его ресурсов. С помощью моделей и методов ИАД пользователи могут оперативно получать аналитическую информацию о ходе выполнения проекта, затратах его ресурсов и т. д., а также контролировать возникновение нештатных ситуаций. Кроме того, возможно получение информации о связях между событиями, которые привели к тем или иным последствиям.

Данная информация может быть полезна не только для проведения анализа хода выполнения текущего проекта, но и для планирования будущих проектов организации.

C. Анализ документов и данных по проектам

Применение интеллектуального анализа данных в этой области может быть сосредоточено на анализе хранилища данных проектов для того, чтобы найти аналогичную конфигурацию требований к проектам, которые уже были выполнены организацией. Это может быть достигнуто за счет интеллектуального анализа текста и генерации правил с использованием классификации и ассоциации хранилища данных проектов [7]. Модели и методы ИДА могут быть использованы для автоматического суммирования текстовых данных и извлечения ценных правил, которые могут быть далее преобразованы в семантическую сеть, способную предоставить краткую и точную сводку проанализированного текста.

D. Анализ критического пути проекта

Интеллектуальный анализ данных также становится чрезвычайно полезным на этапе реализации проекта в ситуациях, когда критические действия проекта близки (или отстают) от графика или когда некритические действия приближаются к критическим [8]. В этой ситуации интеллектуальный анализ данных может использоваться для анализа аналогичных действий из хранилища данных текущих и предыдущих проектов и предложения альтернативных методов выполнения конкретного действия для восстановления потерянного времени с оптимальными затратами.

Общая цель применения интеллектуального анализа данных на этом уровне состоит в том, чтобы обеспечить реализацию оптимального экономического решения проекта при изменении обстоятельств проекта.

E. Управление рисками проекта

Интеллектуальный анализ данных чрезвычайно полезен для облегчения управления рисками проекта. Например, идентификация риска в основном касается вопроса: что может пойти не так? Целью этого процесса является выявление и конкретное наименование рисков проекта и их характеристик [9].

Интеллектуальный анализ данных может применяться посредством анализа хранилища данных проектов, поиска правил классификации и ассоциации для определения атрибутов потенциальных выявленных рисков. В ходе анализа необходимо тщательное изучение текущего плана проекта на наличие областей неопределенности по сравнению с уже реализованными проектами и поиска проблем, которые могут привести к отставанию проекта от графика.

Результатом анализа будет полный перечень рисков, в котором риск может классифицироваться по ряду основных признаков, состоящих из двух компонентов, а именно: вероятная причина конкретного условия (например, несоблюдение субподрядчиком графика поставки) и общее влияние риска на проект (например, не будут достигнуты контрольные точки и/или бюджет будет превышен) [10].

F. Применение методов интеллектуального анализа данных для решения задач в области управления проектами

Ниже представлена связь вышеперечисленных задач, решаемых в области управления проектами, с основными классами задач и методами интеллектуального анализа данных.

1. Исследование проектной ситуации.

Методы ИАД: *метод k-ближайших соседей, байесовские сети, метод ближайших соседей.*

2. Поиск аналогов

Методы ИАД: *метод k-ближайших соседей, байесовские сети, метод ближайших соседей, ассоциативная память*.

3. Поиск несоответствий и новизны

Методы ИАД: *метод k-ближайших соседей, ассоциативная память*.

4. Моделирование связей

Методы ИАД: *байесовские сети, метод ближайших соседей, прогнозирование*.

5. Поиск связей

Методы ИАД: *метод k-ближайших соседей, ассоциативная память, прогнозирование*.

6. Оценивание вариантов для принятия решения

Методы ИАД: *метод k-ближайших соседей, байесовские сети, метод ближайших соседей, агрегация.*

7. Анализ качества продукции

Методы ИАД: *деревья решений, линейная регрессия, метод k-ближайших соседей*.

8. Оценка стоимости нового объекта на рынке

Методы ИАД: *линейная регрессия, нейронные сети, генетические алгоритмы*.

9. Подбор исполнителей

Методы ИАД: *деревья решений*

10. Анализ документов

Методы ИАД: *байесовские сети, метод ближайших соседей, нейронные сети, генетические алгоритмы*.

11. Планирование сроков проекта

Методы ИАД: *деревья решений, нейронные сети*.

12. Оценка сроков выполнения конкретной задачи

Методы ИАД: *метод k-ближайших соседей*.

13. Оценка затрат ресурсов

Методы ИАД: *линейная регрессия, нейронные сети, метод k-ближайших соседей*.

V. Заключение

В данной работе было дано определение интеллектуального анализа данных, выделены его основные этапы. Проанализированы различные методы ИАД, приведена их классификация.

В ходе исследования было выявлено, что различные методы ИАД могут быть применены в проектной деятельности организаций с целью повышения ее скорости и качества, а также для более эффективного управления проектами и рационального использования ресурсов (материальных, финансовых, временных и т. д.). Для каждой из задач, с которыми сталкиваются руководители и исполнители проектов, были определены основные методы ИАД, которые могут быть успешно использованы для их решения.

Список литературы

[1] Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы в экономике. М.: СИНТЕГ, 2002. 306 с.

[2] Барсегян А.А., Куприянов М.С., Холод И.И., Тесс М.Д., Елизаров С.И. Анализ данных и процессов: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 512 с.

[3] Дюк В.А., Самойленко А.П. Data Mining: учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 368 с.

[4] Чубукова И.А. Data Mining: учеб. пособие. М.: Интернет-университет информационных технологий: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2006. 382 с.

[5] Пальмов С.В. Интеллектуальный анализ данных: учеб. пособие. Самара: ПГУТИ, 2017. 124 с.

[6] Степанов Р.Г. Технология Data Mining: Интеллектуальный Анализ Данных. Казанский Государственный Университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2008. 57 с.

[7] Nemati H.R., & Barko C.D. (2002). Enhancing Enterprise Decisions Through Organizational Data Mining. Journal of Computer Information Systems, (Summer), 21-28.

[8] Iranmanesh, S.H., & Mokhtari, Z. (2008, August). Application of Data Mining Tools to Predicate Completion Time of a Project. In Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, (Vol. 32, pp. 234-239).

[9] Datta, R.P. (2008). Data Mining Applications and Infrastructural Issues: An Indian Perspective. ICFAI Journal of Infrastructure, 6(3), 42-50.

[10] Turner, K., & Zizzamia, F. (2008). Predicting Better Claims Management. Risk Management, 55 (7), 52-55.

[11] A. Bakir, B. Turhan, A. Bener, A Comparative Study for Estimating Software Development Effort Intervals, “Software Quality Journal” 2011, vol. 19, pp. 537–552.

[12] P. Sentas, L. Angelis, I. Stamelos, Multinominal Logistic Regression Applied on Software Productivity Prediction, 9th Panhellenic Cconference in Informatics, Thessaloniki 2003.

[13] I. Barcelos Tronto, J. Simoes da Silva, N. Sant’Anna, Comparison of Artificial Neural Network and Regression Models in Software Effort Estimation, International Joint Conference on Neural Networks, Orlando 2007, pp. 771–776.

Структурное проектирование односкачковых ДКМВ радиосетей

А. Ю. Дорогов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
Vaksa2006@yandex.ru

***Аннотация*. Рассматривается алгоритм структурного проектирования территориально распределённых радиосетей КВ-диапазона. Представлена программная модель алгоритма, позволяющая выполнить построение топологии сети с заданным числом узлов и с учетом приоритетного выбора узлов из базы данных. Приведены примеры структурного проектирования ДКМВ–сети для территории РФ. Предлагается для оценки структуры сети использовать критерий функциональной устойчивости. Описана имитационная модель расчета функциональной устойчивости радиосети при воздействии дестабилизирующих факторов. Приведены результаты имитационных экспериментов.**

Ключевые слова: ДКМВ-радиосеть, стуктура радиосети, функциональная устойчивость, коэффициент готовности

I. Введение

Коротковолновый (ДКМВ) канал позволяет обеспечить связь на многие тысячи километров при малой мощности передатчиков. КВ-связь безальтернативна в областях, не имеющих инфраструктуры, труднодоступных и северных районах, районах стихийных бедствий [1]. Для РФ с ее огромной протяженностью территории и множеством малодоступных мест, значимость КВ-радиосвязи трудно переоценить. Стоимость ДКМВ радиоканалов на порядок ниже, а живучесть в условиях конфликтных ситуаций выше по сравнению со спутниковыми каналами связи. ДКМВ-радиоканалы могут использоваться для передачи звуковой информации, телеграфных сигналов и цифровых данных.

Однако качество ДКМВ радиоканала существенно зависит от частоты радиосигнала, состояния ионосферы, времени суток, солнечной активности. Распространение КВ-радиоволн по нескольким путям и сложение их в точке приема с разными фазами является причиной появления селективных замираний. К недостаткам ДКМВ канала также относится наличие «зон молчания» в ближней зоне, полярных областях, и в прибрежных районах на границе «море-суша».

Дальние связи в КВ-диапазоне реализуются за счет многократного отражения радиоволн от ионосферных слоев атмосферы. Протяженность одного скачка радиоволны составляет ориентировочно 1500–2500 км. Из-за нестабильности атмосферы дальние связи не устойчивы. Повысить надежность КВ-связи можно за счет организации КВ-радиосетей. В радиосети передаваемый сигнал, проходит несколько узлов, на каждом из которых он усиливается и очищается от помех. Мощность принимаемого радиосигнала максимальна после первого скачка, поэтому целесообразным представляется построение КВ-радиосетей на односкачковых радиоканалах. Сложность физических процессов распространения ионосферных радиоволн приводит к необходимости разработки моделей имитационного моделирования аналоговых и цифровых каналов передачи данных в КВ-диапазоне [2–5].

Надежность сети определяется степенью связанности ее узлов, т.е. количеством радиолиний связывающих узел радиосети с соседними узлами. Каждый радиоузел может быть оборудован средствами радиодоступа, обеспечивающими связь с узлом на расстоянии до 1500 км. Для территории РФ с ее большой протяженностью актуальна задача оптимального размещения радиоузлов сети, так чтобы при минимальном количестве узлов обеспечить полное радио покрытие территории страны и прилегающих областей.

В данной статье рассматривается методы структурного проектирования одоскачковых ДКМВ-радиосетей. Задача решается применительно к территории РФ. Кроме односкачковости структурными критериями проектирования являются степень связанности узлов сети и неравновесность дистанционных плеч радионаправлений узлов. Последний критерий принципиально важен, поскольку позволяет повысить надежности радиосети, за счет выбора радионаправления, обеспечивающего наилучшее качество связи при различных ионосферных условиях. Оценка структуры радиосети выполняется по критерию функциональной устойчивости сети к дестабилизирующим факторам.

II. Особенности структурного проектирования радиосети

При проектировании предполагается, что узлы радиосети имеют стационарные позиции размещения на территории РФ, а мобильность абонентов реализуется за счет средств радиодоступа. Задача оптимального размещения узлов на территории РФ может иметь множество решений. Кроме факторов дистанционного и географического положения на размещение могут влиять технологические условия размещения стационарного узла, такие как необходимая инфраструктура для установки радиоузла, наличие кадрового потенциала, транспортная доступность, профиль местности и пр. Зона радио покрытия территории РФ, оценивается после того как структура сети построена. На рис. 1 показан пользовательский интерфейс программы структурного проектирования. Программа реализована в среде МАТЛАБ.

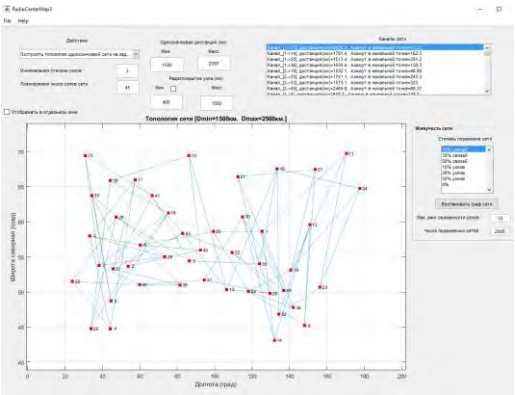


Рис. 1. Пользовательский интерфейс программы структурного проектирования ДКМВ-радиосетей

Тестовая база возможных размещений узлов сети представляет собой текстовый файл, содержащий координаты 1082 городов Российской федерации с распределением по федеральным округам и регионам. Формат файла показан на рис. 2.

	City	Region	Okrug	lat	lng
1	Абаза	Хакасия	Сибирский	52.6517	90.0886
2	Абакан	Хакасия	Сибирский	53.7212	91.4424
3	Абдулино	Оренбургская область	Приволжский	53.6778	53.6473
4	Абинск	Краснодарский край	Южный	44.8663	38.1512
5	Агидель	Башкортостан	Приволжский	55.8998	53.9220
6	Агрыз	Татарстан	Приволжский	56.5263	52.9953
7	Адыгейск	Адыгея	Южный	44.8849	39.1906
8	Азнакаево	Татарстан	Приволжский	54.8598	53.0745
9	Азов	Ростовская область	Южный	47.1124	39.4236
10	Ак-Довурак	Тыва	Сибирский	51.1785	90.5985
11	Аксай	Ростовская область	Южный	47.2698	39.8626
12	Алагир	Северная Осетия — Алания	Северо-Кавказский	43.0417	44.2199
13	Алапаевск	Свердловская область	Уральский	57.8530	61.7027
14	Алатырь	Чувашия	Приволжский	54.8398	46.5722
15	Алдан	Якутия	Дальневосточный	58.6095	125.3817
16	Алейск	Алтайский край	Сибирский	52.4922	82.7794

Рис. 2. Формат файла базы городов РФ

База данных содержит наименование города принадлежность федеральному региону и округу, а также географические координаты широты и долготы размещения города на территории РФ.

III. Алгоритм структурного синтеза радиосети

Алгоритм структурного синтеза сети является эвристическим. Мотивация используемых операций определяется критериями синтеза, изложенными в разделах I и II. Для работы алгоритма структурного синтеза должен быть задан следующий набор входных данных:

- Диапазон [Dmin, Dmax] установления односкачковой связи между узлами.
- Минимальная степень связанности узлов радиосети (типично 3). Этот показатель определяет степень надёжности установления связи через сеть.
- База данных с координатами потенциально-возможных мест размещения радиоцентров. Для тестового режима используется база данных городов РФ.
- Планируемое число узлов сети.
- Подмножество приоритетных городов (базовых узлов), в которых заведомо планируется размещение радиоцентров сети.

Алгоритм выполняется в следующей последовательности:

1) Выбор базовых (приоритетных) узлов сети производится в интерактивном режиме. Для базы данных городов выбор узлов осуществляется по федеральным округам. Число базовых узлов для каждого федерального округа не ограничено.

2) Для набора базовых узлов строится возможный граф радиосети, удовлетворяющий критерию односкачковости.

3) Алгоритм структурного синтеза запускается, если число базовых узлов меньше планируемого числа узлов сети. В противном случае выдаётся результат для сети, состоящей из базовых узлов, и на этом работа программы завершается.

4) Если число базовых узлов меньше планируемого числа узлов сети, то на базовых узлах строится сеть, в которой радиолинии по протяжённости удовлетворяют допустимому диапазону односкачковости.

5) В построенной сети для каждого узла определяется набор смежных вершин и из этого набора формируются комбинации с числом вершин, не превышающих допустимую степень вершин сети.

6) Из допустимых комбинаций выбирается комбинация смежных вершин с наиболее неравновесными по протяжённости радиолиниями, связывающими смежные вершины с узлом. Выбор неравновесных плеч обеспечивает максимальную надёжность сети. Оценка неравновесности производится по значению энтропии протяжённости связывающих радиолиний. Найденные оптимальные комбинации смежных вершин сохраняются для каждого узла в массиве смежных вершин. Первоначально это массив пуст, но корректируется при оптимизации каждого узла. Значения массива используются при формировании оптимальных комбинаций смежных вершин на последующих этапах.

7) Операции 5) и 6) повторяются для всех узлов текущей сети. В результате массив смежных вершин заполняется оптимальными комбинациями с заданной степенью вершин.

8) Построенный массив смежных вершин используется для построения графа оптимальной сети для текущего значения числа вершин.

9) Если текущее значение числа вершин меньше запланированного, то осуществляется добавление новой вершины, с этой целью начиная с первого узла построенной оптимальной сети, в базе городов ищется город удовлетворяющий критерию односкачковости по удалённости от первого узла. Таких городов может быть несколько. Из них выбираются города, удалённые на расстоянии не менее Dmin1 от всех прочих узлов сети (первоначально Dmin1= Dmin). Таких городов также может быть несколько. Из полученного набора выбирается город с максимальным расстоянием от всех прочих узлов сети. Этот принцип выбора новой вершины обеспечивает максимальное покрытие территории РФ.

10) В случае если новая вершина найдена, поиск вершин завершается на текущем узле, в противном случае, осуществляется переход ко второму узлу, и так до исчерпания всех узлов. Если оказалось, что после перебора всех узлов, новая вершина не найдена,

значение Dmin1 снижается (типично на 100 км) и процесс поиска новой вершины повторяется заново.

11) Когда новая вершина найдена, граф сети строится заново. Выполняется его оптимизация (по пунктам 5) 6) 7)). Строится оптимальный граф (пункт 8).

12) Если число вершин графа сети совпадает с запланированным значением, работа алгоритма завершается, Отображается структура сети, и её характеристики, в противном случае выполняется поиск новой вершины (пункт 9) и процесс построения сети продолжается.

На рис. 3 показан результат работы алгоритма структурного синтеза для сети с 45 узлами.

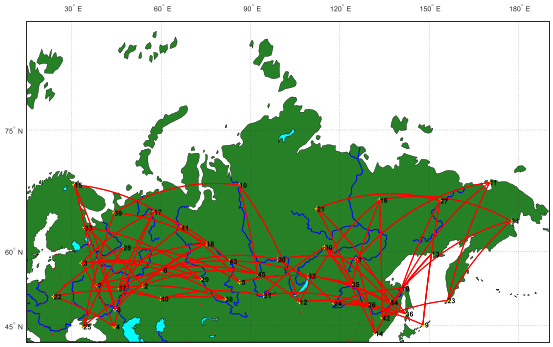


Рис. 3. Топология радиосети на карте РФ

На рис. 4 показаны фрагменты результирующих таблиц содержащей значения координат и степеней связанности и дистанций между узлами узлов.

	Node	Latitude	Longitude	Degree
1	1	58.6095	125.3817	4
2	2	53.6778	53.6473	4
3	3	57.9802	33.2467	4
4	4	44.7815	44.1650	3
5	5	54.4221	86.3037	3
6	6	56.6985	60.0867	4
7	7	53.7707	38.1317	4
8	8	48.7071	44.5169	3
9	9	45.2252	147.8838	3
10	10	69.4031	86.1909	3
11	11	69.7018	170.2999	3
12	12	50.3552	106.4499	4
13	13	59.5682	150.8085	3
14	14	43.1155	131.8855	3
15	15	69.4261	30.8207	3
16	16	67.5502	133.3907	4

	Node1	Node2	Distance
1	1	11	2431
2	1	14	1781
3	1	20	1513
4	1	36	1634
5	2	18	1532
6	2	25	1741
7	2	33	1573
8	2	45	2470
9	3	4	1649
10	3	6	1612
11	3	17	1540
12	3	29	2457
13	4	3	1649
14	4	17	2497
15	4	22	1673
16	5	28	2399

Рис. 4. Структурные характеристики синтезированной сети

Следует отметить, что от выбора значений входных данных существенно зависят результаты структурного синтеза. Возможны ситуации, когда входные данные противоречат требованиям, предъявляемым к структуре сети. В этом случае требуется подбор входных данных.

IV. Функциональная устойчивость радиосети

Обеспечение функциональной устойчивости заключается в сохранении функционирования сетей радиосвязи в условиях мирного времени, в чрезвычайных ситуациях и в условиях чрезвычайного положения.

Устойчивость оценивается вероятностью связности (связность) радионаправления, т. е. вероятностью того, что на заданном радионаправлении существует хотя бы один путь, по которому возможна передача информации с требуемыми качеством и объемом (другое название показателя «коэффициент оперативной готовности направления»).

Ущерб, наносимый радиосети воздействием внешних дестабилизирующих факторов, оценивается по соотношению вышедших из строя элементов сети к общему числу элементов сети с градациями 50 % (высокий), 30 % (средний) и 10 % (низкий) [6].

Воздействие внешних дестабилизирующих факторов может приводить к уничтожению линий связи и узлов сети. Моделирование ущерба проводится отдельно для линий связи и узлов.

Оценка степени связанности выполняется с помощью имитационной модели для конкретной топологии сети. В процессе моделирования случайным образом (с равномерным дискретным законом распределения) в графе сети удаляются элементы сети в объеме 10 %, 30 %, 50 %. Для каждого уровня ущерба выполняется серия экспериментов по генерации случайного графа, в каждом эксперименте осуществляется контроль связанности сети по всем возможным направлениям. Накопленные частоты событий связанности являются оценкой вероятностей связанностей по направлениям (коэффициентов оперативной готовности). Число имитационных экспериментов определяются исходя из значения доверительной вероятности и требуемой точности оценки показателей.

Расчетная формула оценки числа экспериментов основана на центральной предельной теореме и для доверительной вероятности 0.95 имеет вид:

$$n \geq 3.8416 \frac{pq}{\varepsilon^2},$$

где p – нормативная вероятность связанности узлов. Согласно ГОСТ Р 53111-2008 значение нормативной вероятности связанности в зависимости от категорий спецпотребителей и степени ущерба принадлежит диапазону [0.7÷0.8] с градацией 0.05. Для наихудшего случая примем $p = 0.7$. Точность оценки вероятности примем $\varepsilon = 0.02$. $q = 1 - p$; – вероятность нарушения связанности направления. Из формулы получим число экспериментов $n \geq 2017$.

Имитационная модель является составной частью программы структурного проектирования радиосети. При разработке модели были введены следующие ограничения:

- На сеть воздействуют внешние дестабилизирующие факторы пространственного действия или многочисленные факторы локального действия.
- Воздействие дестабилизирующего фактора на линию связи полностью подавляет связь по этой линии.
- Воздействие дестабилизирующего фактора на узел связи, подавляет все связи данного узла с соседними.
- Случайный граф, образуемый действием дестабилизирующих факторов, выделяется из исходного графа удалением заданного числа линий связи либо узлов связи.
- Выбор удаляемых элементов выполняется через реализацию процесса выбора случайной перестановки с заданным числом элементов.

- Закон распределения случайных перестановок равномерный.

На рис. 5 показаны результаты имитационного моделирования коэффициента готовности при 10 % поражении радиоканалов.

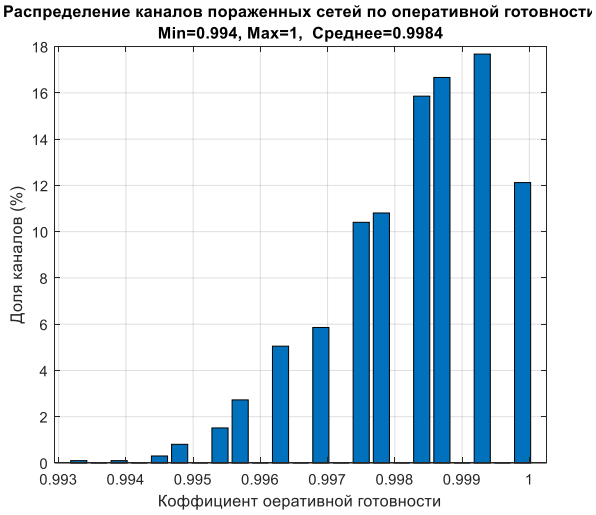


Рис. 5. Функциональная устойчивость радиосети

Имитационная модель позволяет задать максимальный ранг связанности узлов (число транзитных участков цепи между узлами) и построить гистограмму рангов связанности на множестве пораженных сетей. На рис. 6 показано распределение рангов связанности при 10 % поражении радиоканалов.

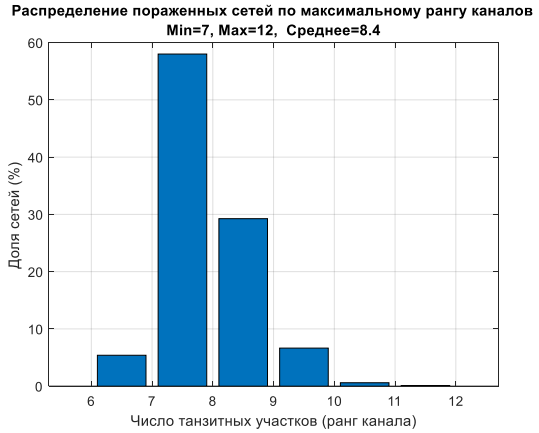


Рис. 6. Оценка ранга связанности радионаправлений

V. Заключение

В работе предложен алгоритм автоматического структурного синтеза радиосетей с условиями приоритетного выбора узлов из базы данных их возможного размещения. Алгоритм обеспечивают решение задачи синтеза топологии радиосети с заданным показателем вершинной связанности и с хорошим покрытием территории РФ. Критерием оценки результата структурного синтеза может служить степень функциональной устойчивости топологии сети к внешним деструктивным воздействиям.

Список литературы

[1] Березовский В.А., Дулькейт И.В., Савицкий О.К. Современная декаметровая радиосвязь: Оборудование, системы и комплексы. М.: Радиотехника, 2011. 444 с.

[2] Путилин А.Н., Хвостунов Ю.С. Использование частотного ресурса системой декаметровой связи в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 24-35.

[3] Дорогов А.Ю., Потапов И.А., Тутене А.С. Моделирование протоколов беспроводных сетей в среде MatLab // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 2. С. 32–50.

[4] Дорогов А.Ю., Подранюк Е.П. Имитационная модель и результаты моделирования протокола маршрутизации O2M для низкоскоростных мобильных радиосетей // Техника средств связи, №4(152), 2020. С. 51-59.

[5] Дорогов А.Ю., Яшин А.И. Программный комплекс моделирования пакетных радиосетей КВ-диапазона // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2020.Т. 12. № 6. С. 26–37.

[6] ГОСТ Р 53111-2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки».

Информационное сопровождение инновационных процессов в условиях цифровизации

Д. Л. Красовский[1], И. Л. Туккель[2]
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[1]krasovskij.dl@edu.spbstu.ru, [2]tukkel@mail.ru

***Аннотация*. Разработана информационная модель инновационного процесса. Модель представляет собой ряд последовательных блоков, соответствующих этапам жизненного цикла. При этом блоки включают в себя набор микро-проектов, которые представлены информационными моделями. В модели сформирован перечень изменяемых и неизменяемых параметров, необходимых для принятия решений, а также определены частотные характеристики перечня параметров, применяемых в модели.**

Ключевые слова: инновации; инновационный процесс; модель инновационного процесса; цифровая экономика; большие данные; цифровизация

I. Введение

Анализ публикаций, посвященных инновациям и информационным системам, показывает, что для достижения конкурентного преимущества организациям необходимо все больше смещать фокус на систематическое обучение, восприятие знаний в качестве стратегического ресурса, а также учитывать, что при возрастающем темпе последовательного изменения технологий и сокращении жизненного цикла продукта возрастает степень влияния способности создания, накопления и управления знаниями [1, 2]. Различные подходы к увеличению степени данного влияния можно проследить в динамике развития самообучающихся организаций. Значительный вклад внес П. Сенге [3]. Инновационная деятельность стала пониматься не как последовательность единичных актов внедрения какого-либо новшества, а как система, непрерывно производящая знания и порождающая инновации. Опираясь на данный подход, инновации можно рассматривать как применение существующих знаний для получения новых знаний [4].

Из этого следует, что можно определить инновационный процесс как процесс взаимосвязанных видов деятельности от идеи, возникшей в результате некой потребности, до опытного образца и последующей коммерциализации конечного инновационного продукта, которое использует уже существующие знания и генерирует новые [5]. Схожую точку зрения на инновационный процесс высказывали Свон и Ньювел [6]. Иными словами, инновация есть не что иное как ряд рекурсивных и взаимосвязанных действий, начинающихся с осознания новых идей, выбора (или отказа) от определенных идей вплоть до их реализации.

Протекание инновационного процесса, как и любого другого, обусловлено сложным взаимодействием многих факторов. Этот вывод опирается на доказательства того, что существует широкий спектр инновационных моделей. Каждая из таких моделей является отражением на сопутствующие каждому поколению тенденции в экономике: при изменениях в подходах в экономике также меняются и подходы к определению инновационного процесса. Они могут быть использованы как шаблоны, реализация каждого из которых своя в каждой организации и может зависеть от наличия индивидуальных ограничений и допущений.

II. Управление инновационными процессами в условиях цифровизации

Развития моделей инноваций как результат изменений, происходящих в экономике, является предпосылкой зарождения новых взглядов на инновационные модели в разрезе цифровизации экономики.

Цифровизация, распространяясь и трансформируя существующую экономику и порождая качественные перемены в различных институтах, создает самоорганизующуюся экосистему. Так же она влияет и на инновации в целом и, как следствие, на модели инноваций. В последние несколько лет наблюдается увеличение количества научных трудов, посвященных взаимосвязям инноваций между собой и между внешней средой [7-9].

Согласно исследованиям, посвященным инновациям, происходит все более тесное взаимодействие с внешней средой. Наблюдается расширение вектора исследований не только моделей инновационной сферы. Примером могут служить результаты исследований проблематики управления инновационными процессами [10, 11, 12, 13]. Следует отметить, что при качественном расширении возможностей для исследования, ряд моделей основываются на общеизвестных законах физики или биологии.

Для управления процессами, которые протекают в социо-экономической среде характерно наличие ЛПР – замыкающего звена в контуре обратных связей, который принимает окончательное решение.

Анализ существующих моделей управления показывает наличие тенденции к:

- увеличению влияния характеристик внешней среды;
- стремительное увеличение количества различных состояний системы.

При этом возрастает важность информации, ее прироста, объема, вариативности и, соответственно, скорости обработки и выработки упреждающего воздействия как реакции системы. Появились возможности собирать, форматировать и анализировать

информацию из различных источников для упреждающих действий [14].

Современные технологии позволяют собирать практически любую информацию с высокой скоростью прироста (в зависимости от объема свободного хранилища для данных). Данные параметры описываются аббревиатурой 3V: Volume, Variety, Velocity [15, 16].

Однако, большие объемы данных порождают проблемы при формировании информационных ресурсов из таких данных. Эти проблемы обуславливают постановку и решение новых задач, что в свою очередь обуславливает развитие интегрированных и комплексных систем и технологий.

В последнем цикле зрелости технологий за 2021 год, представленном Gartner можно видеть довольно много упоминаний искусственного интеллекта, а точнее, вариаций его применения в различных сферах.

На кривой появились «инновации, основанные на искусственном интеллекте» (AI-Driven Innovation). На сегодняшний день наиболее активно разрабатываются модели, использующие механизм глубокого обучения (deep learning). Стоит понимать, что глубокое обучение является частью машинного обучения и является методом, с помощью которого обучаются искусственные нейронные сети. Именно глубокое обучение максимально приближено к принципам функционирования нейронных сетей человеческого мозга.

Так, компания IBM в настоящее время активно двигается в направлении так называемого «unsupervised learning» – обучения без участия человека (обучение без присмотра).

Реализация данного обучения носит название «One-shot learning», что означает обучение на одном примере. Именно данный способ обучение лежит в основе обучения человека.

Это позволит использовать необработанные, немаркированные данные для обучения системы практически без человеческих усилий. По сути, при обучении без присмотра система просто взаимодействует с окружающим миром. Она просто видит, что там есть, и извлекает из этого знания и может их использовать.

Описанный механизм обучения является оптимальным вариантом для инновации, основанные на искусственном интеллекте из прогноза Gartner, при этом на графике отмечено, что эта технология находится в самом начале кривой и имеет период развития более 10 лет.

Одновременно с этим, данный инструмент имеет огромный потенциал в инновационной сфере, так как разрешает главное противоречие: качество работы искусственного интеллекта прямо пропорционально объему и качеству данных, в то время как инновационные процессы имеют характерную особенность в виде большей степени неопределенности. Ряд методологий по менеджменту оценивает сложность, а, соответственно, ресурсоемкость задачи или работы с помощью чисел Фибоначчи. Из вышесказанного можно предположить, что глубокое обучение без участия человека сможет в результате обучения снижать вероятность неудачи создания инновации.

Резюмируя, уместно выдвинуть предположение об использовании информации (данных), как полноценного, играющего важную роль, актива для успешного ввода инновации на рынок. Существующие типовые модели в большинстве своем используют бинарное включение информации в модели или весовые коэффициенты, отражающие влияние информации на ход информационного процесса.

III. Модель инновационного процесса как набор взаимосвязанных микропроектов

Несмотря на вышеупомянутое качественное и количественное развитие систем, знаний и технологий, различные нововведения, в том числе модели инноваций, основаны на фундаментальных знаниях и концепциях.

Отталкиваясь от необходимости создания типового решения, целесообразным является декомпозиция инновационного процесса на ряд этапов, различных по функциональности, но схожей по структуре. Структура модели может включать в себя несколько классических этапов, линейно взаимосвязанных между собой: селекция (отбор перспективных идей), планирование, проектирование, производство. В модель необходимо ввести элемент «База данных и знаний», которая накапливает, обрабатывает и предоставляет информацию всем этапам инновационного процесса, а также обеспечивает связь с внешней средой.

Завершающей стадией создания модели является представление каждого этапа в виде ряда микропроектов – локальных конечных проектов, реализуемых на каждом этапе жизненного цикла процесса. Существующая информационная модель, представленная С.А. Голубевым [16], хотя и может являться прототипом, однако лишена некоторых важных компонентов:

- выделенного информационного блока «База данных и знаний», наличие которого, как минимум обязывает учитывать информационные потоки модели;
- применение модели на уровень выше (от отдельного проекта к процессу из нескольких проектов);
- необходимость пересмотра входов и выходов каждого этапа модели в силу непрерывности процесса и конечности проекта [17,18].

В рамках классического понимания управления проектами главными были и остаются люди (команда), это обеспечивает большую гибкость, но при переходе на уровень выше – процессов, инновационных в том числе, следует вести поиск инструмента или методологии, которая имела бы такую же гибкость и могла бы отслеживать большое количество факторов и учитывать их влияние на управляемость. Иными словами, переходя на управление уровнем выше конечные решения должны быть подконтрольны ЛПР, а промежуточные могут быть скрыты в силу их сложности.

Немаловажным фактом следует отметить цель инновации, как правило некий положительный эффект. Его и стоит рассматривать некой точкой глобального оптимума модели, так как успешный локальный оптимум – выполнение этапа, не всегда гарантирует приближение к глобальной цели. Одним из наиболее популярных инструментов, который сейчас

используются для обеспечения высокой степени управляемости системы – машинное обучение.

На сегодняшний день уже имеется положительная тенденция, говорящая в пользу машинных алгоритмов, работающих по принципу черного ящика, так как системы становятся настолько сложными и стремительно изменяющимися, что трудно уследить и обработать потоки информации.

Таким образом, достижение типового решения происходит за счет единой структуры внутри этапов инновационного процесса. Благодаря своей специфике модель инновационного процесса [17], например, может быть встроена в каждый этап, не нарушая обратных связей между элементами.

Исходя из специфики инновационного процесса предлагается на различных этапах использовать различные инструменты. Так, например, на этапе отбора наиболее перспективных идей оптимальным вариантом является использование экспертных оценок, мозгового штурма и т.д. Это обусловлено тем, что на данном этапе основная задача – определить пул перспективных идей, иными словами, выходом данного этапа является информация о принятии или отказе от той или иной идеи. Входом же может являться доступная информация о новых перспективных технологиях, доступных ресурсах и т. д. Под доступными ресурсами понимаются финансовые и человеческие ресурсы, а также материально-техническое снабжение. В большинстве своем, фирмы, реализующие инновации уже имеют как оборудование, так и определенные ресурсы.

На этапе планирования выбранные идеи нуждаются в более подробном исследовании. Целесообразно провести технико-экономическое обоснование (максимально точное) каждой бизнес-идеи, в частности, определить необходимые ресурсы, достаточно ли их, определить особенности реализации, которые могут повлиять на сложность, наметить временные рамки с разбиением на ключевые точки (вехи) и степень влияния производственных и организационных изменений, влияющих на существующее производство. При наличии ряда потенциальных инноваций возникает необходимость определить последовательность их запуска с учетом достижения максимального синергетического эффекта. Это может быть достигнуто путем решения задачи статической/динамической оптимизации. Задачи типа распределения ресурсов в большей степени подходят для выбора последовательности запуска ряда инноваций. Затем, при помощь сетевого графа может быть построен плановый график, так как основными показателями на этапе планирования является календарный план работ с учетом затрат, резервов и имеющихся производственных мощностей. помимо этого сетевая модель полезна с точки зрения определения критического пути, управляя которым можно повысить управляемость всего процесса.

На этапе проектирования, имея календарный график и перечень доступных ресурсов необходимо подготовить производственные мощности к производству. Необходимо разработать маршрутную технологическую карту, рабочую документацию, обеспечить непрерывную логистику и, при необходимости, до/переоборудовать производство. Для анализа работоспособности необходимо организовать некое опытное производство, по результатам которого можно сделать вывод о полноценности и работоспособности результатов работы предыдущих этапов. Рабочая документация оформляется в виде технологической и поступает на вход производственного этапа. При этом на этапах проектирования и производства можно говорить об управлении через ряд классических показателей, имеющихся в документации и отчетности.

Актуальной проблемой является необходимость в формализации информации с точки зрения частоты и диапазона ее измерения. Для этого необходимо определить смысловое понятие каждого параметра и затем, при помощи теоремы Котельникова, определить требуемую частоту измерения данных показателей.

Для того чтобы восстановить исходный непрерывный сигнал из дискретизированного с допустимыми погрешностями, необходимо рационально выбрать шаг дискретизации. Поэтому при преобразовании аналогового сигнала в дискретный обязательно возникает вопрос о величине шага дискретизации. Если аналоговый сигнал обладает низкочастотным спектром, ограниченным определенной верхней частотой (т.е. имеет вид плавно изменяющейся кривой без резких изменений амплитуды), то маловероятно, что на некотором небольшом временном интервале дискретизации эта функция может существенно изменяться по амплитуде.

Точность восстановления аналогового сигнала по его отсчетам зависит от интервала дискретизации. Чем он короче, тем меньше будет отличаться функция от кривой, проходящей через точки отсчетов. Однако с уменьшением интервала существенно возрастают сложность и объем обработки. При большом интервале дискретизации возрастает вероятность искажения или потери информации при восстановлении аналогового сигнала.

Исходя из структуры модели, регулярно будет наблюдаться качественный переход: завершение одного этапа модели является при этом стартом нового, что приводит к барьерам взаимодействия между этапами инновационного процесса, которые необходимо преодолеть для успешного продолжения управления процессом.

На сегодняшний день многие фирмы, от гигантов рынка, то малых инновационных предприятия перенимают успешные практики взаимодействия и адаптируют их под свои специфические особенности. Например, широко известная гибкая методология управления проектами и производные инструменты от нее (Scrum, Canban) успешно реализовываются внутри жесткой линейной и зачастую иерархической системы.

Так как целью модели является информационное сопровождение инновационного процесса, важные для ЛПР критерии и показатели необходимо агрегировать или сразу представлять в виде набора понятных и единым образом интерпретируемых показателей. Данное предложение также продиктовано необходимостью: на практике ЛПР редко владеет спецификой отдельного этапа, и, тем более, отдельно взятого микропроекта. Это также позволит реализовать типовое решение: задать специфику по которой показатели должны изменяться и задать ограничения, присущие инновационным процессам, не акцентируя внимание на специфике отрасли и т. д. В условиях реализации машинного обучения, постоянного обеспечения информацией и тем фактом, что на старте микропроекта главной

составляющей будет является информация, полученная с предыдущего этапа и пул доступных ресурсов, одним из инструментов, позволяющим преодолеть барьеры между этапами может стать связка стандартных форм документации (отчетностей), наличие экспертов или экспертных групп на границах этапов для сдачи/приемки всей необходимой информации и алгоритмы, способные работать с большими объемами информации.

IV. Заключение

В результате исследования были проанализированы подходы к рассмотрению инноваций и построению моделей инноваций. Изучены коренные изменения, которые привносит цифровизация. Даны основные понятия, связанные с большими данными и машинным обучением, а также перспективы их применения в разрезе инноваций.

Описана модель информационного сопровождения инновационного процесса для увеличения степени наблюдаемости и управляемости. Модель является примером типового решения и представляет собой декомпозицию черного ящика как ряд логически взаимосвязанных этапов инновационного процесса. Каждый этап имеет прямые и обратные связи с другими элементами модели. Каждый этап может быть представлен в виде рядя локальных проектов – микропроектов, при этом особенностью является схожая структура этапов, но различная функциональность в силу специфики каждого отдельного этапа. Определены варианты преодоления «барьеров» между этапами инновационного процесса с помощью различных инструментов.

Предложено использовать теорему Котельникова в качестве инструмента для дискретизации непрерывного потока информации и поиска оптимального периода сбора информации, сохраняя достаточно информации для обеспечения высокой степени управляемости и при этом ограничивая получаемые объемы информации.

Список литературы

[1] Garvin D.A. Learning in action: A guide to putting the learning organization to work. Boston: Harvard Business Review Press, 2003. 272 с.

[2] Davenport T.H., Prusak L. Working knowledge: How organizations manage what they know. Boston: Harvard Business Press, 1998. 199 с.

[3] Сенге П. Пятая дисциплина: искусство и практика. М.: Олимп-Бизнес, 2003. 417 с.

[4] Drucker P.F. Innovation and Entepreneurship. New York: Collins, 1993. 284 с.

[5] Trott P. Innovation management and new product development. New York: Pearson education, 2008. 581 с.

[6] Swan J., Newell S. Innovation process of four episode //Linking knowledge management and innovation. 2000. Т. 1. С. 591-598.

[7] Туккель И.Л., Цветкова Н.А. О физических моделях процессов распространения инноваций в социально-экономической среде // Инновации. 2015. №11 (205). С 30-34.

[8] Bass F.M. A New Product Growth Model for Consumer Durables // Management Science. 1969. №15. С 215-227.

[9] Greenhalgh T., Robert G., Macfarlane F., Bate P., Kyriakidou O., & Peacock R. Storylines of research in diffusion of innovation: a meta-narrative approach to systematic review // Social science & medicine. 2005. №61(2). С. 417-430.

[10] Туккель И.Л. О проблемах управления инновационными процессами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. №.4-2. С. 13-20.

[11] Овчинникова Н.В., Артемов О.Ю. Взгляд на управление с позиции системного подхода: история и современное состояние // Вестник РГГУ. Серия: «Экономика. Управление. Право». 2013. №6. С. 9-21.

[12] Гараедаги Д. Системное мышление. Как управлять хаосом и сложными процессами. Платформа для моделирования архитектуры бизнеса. Минск: Гревцов Букс, 2010. 480 с.

[13] Цветкова Н.А. О взаимном влиянии инноваций // Инновации. 2018. №.3 (233). С. 100-105.

[14] Брусакова И.А., Шепелев Р.Е. Инновации в технике и экономике для цифрового предприятия // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. 2016. Т. 1. С. 70-75.

[15] Бабаев Э.О, Баша Н.В., Томша П.П. Понятие «big data». Показатель готовности перехода компании на новые технологии работы с большим объемом данных // Сборник по результатам XXVII заочной научной конференции Research Journal of International Studies. 2014 №5 (24). С. 45-46.

[16] Gantz J., Reinsel D. Extracting value from chaos // IDC iview. 2011. Т. 1142. №.2011. С. 1-12.

[17] Голубев С.А. Информационные модели для автоматизации управления инновациями. СПб, 2000. 119 с.

[18] Голубев С.А., Туккель И.Л. Информационная модель процесса выполнения проекта // Вестник машиностроения. 1999. №2. С. 44-48.

Методы и технологии проектирования цифровых информационных моделей процессов вторичной переработки нефти

Т. Б. Чистякова[1], Д. Н. Фураев[2]
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
[1]nov@technolog.edu.ru, [2]d.furaev@pmpspb.ru

Аннотация. **Представлена методология проектирования цифровых информационных моделей процессов вторичной переработки нефти, которая включает три основных этапа проектирования: выбор и компоновка технологического оборудования, обвязка трубопроводами и формирование полной цифровой модели, являющейся основой для формирования цифровых двойников производства. Описана компьютерная система, включающая комплекс средств автоматизированного проектирования: базы данных оборудования, сырья, катализаторов, трубопроводных элементов, библиотеку математических моделей, система позволяет решать задачу создания цифровых информационных моделей для данного класса объектов. Тестирование системы произведено на примере процесса каталитического крекинга и подтвердило ее работоспособность.**

Ключевые слова: цифровая информационная модель, компьютерная система, цифровой двойник, ресурсосберегающее проектирование, процессы вторичной переработки нефти

I. Введение

Цифровизация каждого этапа жизненного цикла сложного промышленного объекта и, в целом, цифровизация производства становится залогом конкурентоспособности и успешного развития компаний в различных областях промышленности [1–2]. На данный момент происходит комплексное и целенаправленное внедрение цифровых технологий в проектную, производственную и управленческую практику российских нефтегазовых компаний.

В процессе развития промышленный объект проходит несколько последовательных этапов жизненного цикла. Выделяют следующие основные этапы: проектирование, строительство, эксплуатация, модернизация (реконструкция), демонтаж. Проектирование и строительство являются наиболее сложными, дорогостоящими и наукоемкими этапами.

Проектирование промышленных объектов вторичной переработки нефти требует использования современных информационных систем, систем автоматизированного проектирования и систем расчетов, баз данных проектных решений, а также подготовки высококвалифицированных кадров для проектирования технологически сложных производств [3–4].

Для всех объектов проектирования в различных областях промышленности достаточно унифицированным является подход к построению цифровых моделей на различных этапах проектирования, который включает формализованное описание объекта проектирования, формирование различного вида обеспечения, поверочные расчеты, прототипирование или создание цифровых информационных моделей (ЦИМ) [5].

Под проектированием промышленного объекта понимают деятельность по разработке проектной документации, которая в общем виде состоит из следующих этапов: формирование технического задания, разработка расширенного базового проекта (проектная документация), разработка детального проекта (рабочая документация) [6].

II. Постановка задачи компьютерного проектирования

Сложность проектирования нефтеперерабатывающих предприятий обусловлена разнородностью физико-химических процессов переработки сырья и материалов, ассортиментом продукции, экологическими требованиями, дорогостоящими катализаторами, многочисленными технологическими связями, разнообразием видов оборудования и сложностью компоновки, ограничениями, накладываемыми характеристиками местности, строгими требованиями к экологическим показателям производства.

Общая постановка задачи компьютерного проектирования заключается в разработке проектного решения – цифровой информационной модели объекта вторичной переработки нефти и соответствующей документации, удовлетворяющего условиям технического задания на проектирование.

Методология автоматизированного проектирования ЦИМ промышленных объектов вторичной переработки нефти заключается в создании типовых проектных процедур, выборе алгоритмов и процессов проектирования, которые направлены на создание данного объекта проектирования.

Объектом проектирования в данном случае являются цифровые модели промышленных объектов вторичной переработки нефти. ЦИМ являются сложными объектами и состоят из множества элементов – технологического оборудования, трубопроводов, приборов КИПиА и т. п.

Любой объект проектирования в автоматизированном проектировании характеризуется тремя основными компонентами – средой проектирования, варьируемыми параметрами, критериальными ограничениями [7].

Среда проектирования {X} для объекта проектирования вторичной переработки нефти задается типом процесса T = {T1,…,Tn} (крекинг, висбрекинг, гидрокрекинг, риформинг, гидроочистка), типом сырья и его характеристиками S = {S1,…,Sns}, ns – количество

типов сырья, типом катализатора и его характеристики $K = \{K1,\ldots,Knk\}$, nk – количество типов катализатора.

Варьируемые параметры $V = \{V_1,\ldots,V_m\}$, $V_{i_min} \le V_i \le V_{i_max}$ характеризуются технологическим оборудованием $E = \{E_1,\ldots,E_{ne}\}$, ne – количество классов оборудования, трубопроводами и арматурой $P = \{P_1,\ldots,P_{np}\}$, np – количество типов трубопроводов. Варьируемые параметры задаются в диапазоне значений и выбираются из соответствующего информационного обеспечения.

Критериальные ограничения регулируются правилами проектирования $R = \{R_1,\ldots,R_{nr}\}$ (нормы, стандарты) и техническим заданием $Y = \{Y_{доп.1},\ldots, Y_{доп.n}\}$, в котором задаются следующие условия: энергопотребление не выше заданного $Y_{доп.1}$, производительность не ниже заданной $Y_{доп.2}$, показатели качества не ниже заданных $Y_{доп.n}$

Таким образом, необходимо для заданной среды проектирования {X} подобрать из базы данных такие варьируемые параметры {V}, чтобы соблюдались заданные критериальные ограничения в допустимых пределах, заданных в техническом задании, $Y_i = F(V_i, X)$, $Y_i \le Y_{доп.i.}$

Если для сформированной среды проектирования для данного объекта проектирования все допустимые значения выполняются $Y_j \le Y_{доп}$, то формируется проектное решение – ЦИМ с ее характеристиками (значениями варьируемых параметров)

Если данные условия не удовлетворяются, то процесс продолжается до тех пор, пока не будут выбраны такие варьируемые параметры, при которых выполняются все заданные критериальные ограничения.

В результате осуществляется комплексная оценка полученного проектного решения.

III. Цифровая информационная модель

Несмотря на то, что подавляющее большинство проектных компаний в настоящее время разрабатывает трехмерные модели объектов проектирования, для них нет единого строгого регламента по разработке, детализации и т.п. Однако, принято разделять цифровую модель и цифровую информационную модель.

Согласно [8] цифровая информационная модель (трехмерная модель) – электронный документ в составе *информационной модели объекта капитального строительства*, представленный в цифровом объектно-пространственном виде.

Информационная модель объекта капитального строительства – совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства [9].

ЦИМ объекта капитального строительства – совокупность взаимосвязанных инженерно-технических и инженерно-технологических данных об объекте капитального строительства, представленных в цифровом объектно-пространственном виде [8].

ЦИМ, в общем виде, определяется как объектно-ориентированная параметрическая трехмерная модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно насыщенных элементов [10].

В настоящее время принимаются и разрабатываются национальные стандарты на проектирование и разработку ЦИМ в Российской Федерации. Существуют международные стандарты по информационному моделированию: ISO/TS 12911:2012 «Framework for building information modelling (BIM) guidance», ISO 6707-1:2020 «Buildings and civil engineering works – Vocabulary – Part 1: General terms», ISO 15926 «Industrial automation systems and integration – Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities», ISO 16739 «Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries».

Можно сформулировать следующее определение, *ЦИМ в проектировании* представляет собой виртуальный макет промышленного объекта (отображение геометрии объектов и их местоположения в пространстве в масштабе 1 к 1), наполненный атрибутивной информацией, описывающей все необходимые характеристики объектов. ЦИМ является основным источником данных для формирования проектной документации.

В том случае, если модель не наполнена необходимой атрибутивной информацией, то она является *цифровой моделью* и не может использоваться для формирования проектной документации.

На сегодняшний день во многих проектных компаниях проектная документация формируется из ЦИМ объекта проектирования, поэтому целью проектной команды является разработка ЦИМ объекта с помощью современных систем автоматизированного проектирования на каждом этапе, а затем формирование необходимой проектной документации.

На сегодняшний день в проектных компаниях принято выделять три основных этапа разработки ЦИМ, так называемые 30 %, 60 %, 90 % готовности трехмерной модели объекта проектирования.

Так, в общем случае, 30 % модель (ЦИМ-1) содержит в себе основное технологическое оборудование, отражающее его основные габариты, крупные технологические трубопроводы и основные стальные и железобетонные конструкции. Фактически, на данном этапе прорабатывается компоновка и закладываются габариты основных объектов, модель является цифровой, но не информационной, однако, ЦИМ-1 позволяет получить план расположения оборудования и планировочные решения.

60 % модель (ЦИМ-2) содержит детализированное представление оборудования с точками входа и выхода, все технологические трубопроводы (более диаметра 15мм), все железобетонные конструкции и основные металлические конструкции с лестницами. На данном этапе модель преобразуется в информационную, наполняется основной атрибутивной информацией.

90 % модель (ЦИМ-3) является полноценной ЦИМ, которая содержит в себе максимально полную информацию и максимально проработанную геометрию каждого элемента: все технологическое оборудование, все трубопроводы, все металлоконструкции со

стремянками и ограждениями. Данная модель позволяет сформировать всю необходимую рабочую документацию: основные комплекты рабочих чертежей, спецификации оборудования, изделий и материалов.

На рис. 1 приведен обобщенный алгоритм проектирования ЦИМ процессов вторичной переработки нефти.

На этапе строительства и введения в эксплуатацию объекта проектирования в ЦИМ вносятся изменения по результатам авторского надзора, добавляются паспорта на трубопроводы и технологическое оборудование. Таким образом, ЦИМ преобразуется в цифрового двойника (ЦД) промышленного объекта (установки) (100 % модель).

Цифровой двойник – система, состоящая из цифровой модели изделия, реального изделия и двухсторонней информационной связи между ними и участниками процессов жизненного цикла [2].

ЦД в промышленности соответствует актуальному состоянию объекта (установки, завода) и обновляется по мере необходимости. ЦД содержит в себе инженерных систем, средств автоматизации, их сроки службы, периоды обслуживания, детальное описание физико-химических процессов, процессов потребления и выработки энергии, параметры входного сырья и продуктов производства.

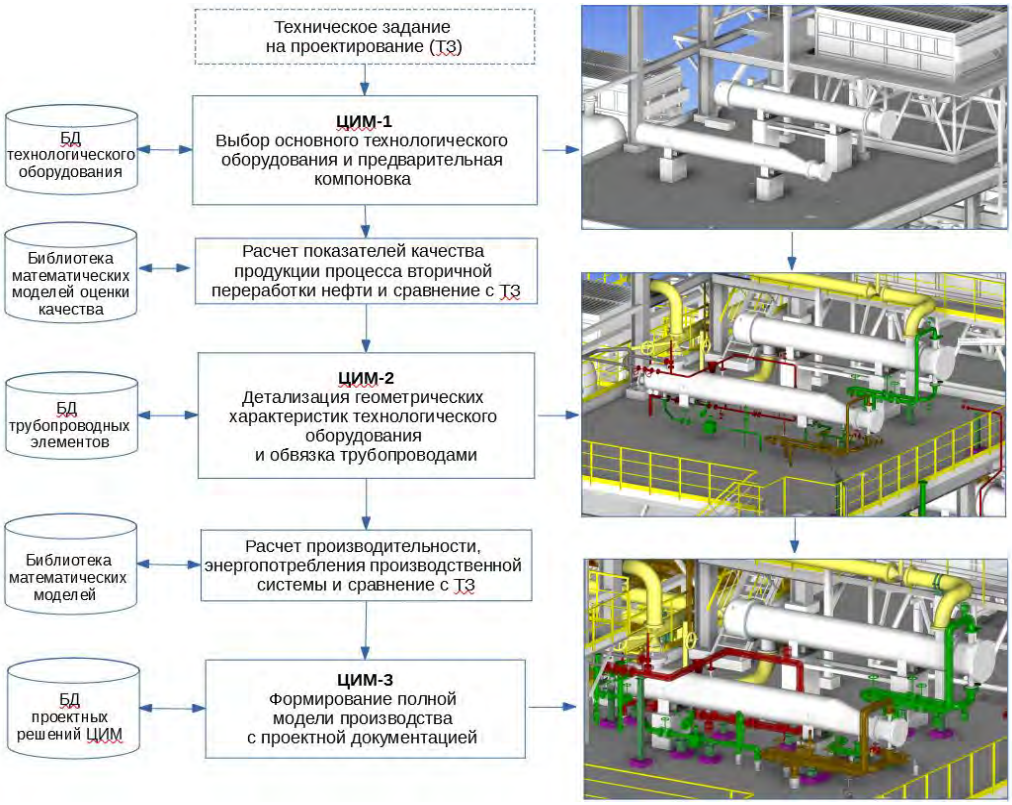


Рис. 1. Обобщенный алгоритм проектирования ЦИМ процессов вторичной переработки нефти

IV. Компьютерная система синтеза и анализа цифровой информационной модели

Система проектирования информационных моделей представляет собой компьютерную систему по формированию ЦИМ промышленного объекта и получению проектной документации.

Исходными данными для данной системы является техническое задание на проектирование, которое включает основные характеристики будущего объекта: производительность, качество продукции, ресурсоемкость, энергоэффективность, экологические показатели. Также техническое задание содержит входные параметры среды проектирования – вид процесса вторичной переработки нефти, виды и состав сырья, габариты площадок и т. п. Выходными данными системы проектирования являются ЦИМ промышленного объекта вторичной переработки нефти и проектная документация.

Для реализации компьютерной системы разработана архитектура системы, включающая, различные виды обеспечения – информационное, математическое, лингвистическое, методическое, техническое, программное обеспечение, интерфейсы пользователей и экспертов [11].

Информационное обеспечение компьютерной системы включает в себя базы данных типового технологического оборудования, трубопроводных деталей и арматуры, базы данных характеристик сырья различных поставщиков, нормативных документов на проектирование и эксплуатацию производств вторичной переработки нефти, существующих решений технологического проектирования.

Математическое обеспечение включает математические модели технологических процессов вторичной переработки нефти (крекинг, висбрекинг, гидрокрекинг, риформинг, гидроочистка), математические модели оценки качества продукции, производительности, энергопотребления, стоимости, экологических характеристик.

Лингвистическое обеспечение системы проектирования цифровых моделей включает в себя разработанный язык проектирования виртуальных

моделей для размещения и компоновки 3D моделей промышленных производств и их составляющих в заданном пространстве. Основой разработанного графического языка проектирования являются элементы, проектные процедуры и операции к ним.

Методическое обеспечение представляет собой совокупность документов инструктивно-методического характера для работы с системой, а также необходимые нормативы, стандарты, паспорта для каждого объекта проектирования.

Программное обеспечение системы является интегрированным и включает различные среды прикладного программного обеспечения, реализующее различные этапы проектирования – выбор и компоновка технологического оборудования, обвязка трубопроводами, а также реализующее формирование проектного решения, включающего ЦИМ и проектную документацию.

Компьютерная система протестирована на примере установки каталитического крекинга высокой производительности 2500 тыс. т/год и потребляемой мощности 23 тыс. кВт и показала свою работоспособность.

V. Заключение

Представлена методология компьютерного проектирования объектов вторичной переработки нефти и основные этапы проектирования ЦИМ промышленного объекта, на базе которой разрабатывается цифровой двойник производства.

Предложена компьютерная система, которая позволяет решить задачу проектирования объектов вторичной переработки нефти от формирования технического задания до формирования проектного решения – цифровой информационной модели с соответствующими требованиями по производительности, ресурсопотреблению, энергоэффективности и последующего выпуска проектной документации.

Список литературы

[1] Meshalkin V.P., Dovì V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V., Butusov O.B., Garabadzhiu A.V., Burukhina T.F., Khodchenko S.M. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering. Mendeleev Communications. 2021, vol. 31, no.5, pp. 593-604.

[2] Боровков А.И. Цифровые двойники в условиях четвертой промышленной революции // CONNECT. Мир информационных технологий. 2021. № 1-2. С. 50-53.

[3] Chistyakova T.B., Reinig, G., Novozhilova I.V. Use of computer trainers for teaching management manufacturing. Personnel of chemical industries. Studies in systems, decision and control, 2021, 342, pp. 371–382.

[4] Дозорцев В.М. Цифровая трансформация в нефтепереработке // Мир нефтепродуктов. 2020. № 2. С. 34-41.

[5] Курейчик В.М. Разработка архитектуры САПР по выбору методов решения задач компоновки / В.М. Курейчик, И.Б. Сафроненкова // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 10. С. 736-741.

[6] Капустин В.М., Рудин М.Г., Кудинов А.М. Основы проектирования нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Москва: Химия, 2012. 440 с.

[7] Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. Москва: Энергоатомиздат, 1987. 400 с.

[8] СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»

[9] Градостроительный кодекс Российской Федерации. Редакция, действующая с 1 января 2022 года.

[10] Бенклян С., Кисель Т., Король М., Новкович Н. Руководство по информационному моделированию (BIM) для Заказчиков на примере промышленных объектов. Москва: AutoDesk, 2019. 100 с.

[11] Chistyakova T.B., Furaev D.N. A computer system for training of specialists in design of industrial facilities for petrochemistry and oil processing [Proceedings of 2018 17th Russian scientific and practical conference on planning and teaching engineering staff for the industrial and economic complex of the region, PTES 2018]. 2019, pp. 92–94.

Интеллектуальные технологии управления структурами организационных систем массового обслуживания при нестационарном потоке заявок

В. А. Харитонов[1], Д. Н. Кривогина[2], А. С. Саламатина[3], Р. А. Ларионова[4], А. А. Саламатин[5], Э. Д. Гусельникова[6]

Пермский научный исследовательский политехнический университет

[1] cems@pstu.ru, [2] darya.krivogina@gmail.com, [3] salamatina@cems.pstu.ru, [4] r.larionova@mail.ru, [5] salamatinanton@mail.ru, [6] edguselnikova@gmail.com

Аннотация. **Рассматривается класс систем массового обслуживания потока заявок, поступающих хаотично. Определены особенности систем данного класса в виде нестационарности потока заявок и иерархических «единиц», называемых каналами обслуживания. Обращается внимание на возрастающую роль человеческого фактора в организационных систем массового обслуживания. Полагается, что это обстоятельство приводит к применению принципов субъектно-ориентированного управления и методологии имитационного моделирования. Учитывая нестационарность потока заявок в рассматриваемом классе систем с целью исключения отказов применяется принцип перехода системы на новый уровень структурного управления. Этот принцип аналогичен процессу бифуркации теории катастроф. Приведен модельный пример применения структурного управления организационной системой массового обслуживания.**

Ключевые слова: организационные системы массового обслуживания, имитационное моделирование, нестационарный поток заявок, структурное управление, исчисление предикатов, эффективность систем массового обслуживания, интеллектуальные технологии

I. Введение

Рассматривается особый класс систем массового обслуживания потока заявок, поступающих хаотично. Теория массового обслуживания [1] включает оптимизацию условий работы организационной системы с целью достижения требуемых показателей эффективности. Главным отличием этого класса является нестационарность потока [2–5], исследуемого методами имитационного моделирования. С этой целью требуется построение специальных математических моделей, позволяющих эффективно управлять процессом их обработки.

Вторым отличием систем данного класса является ввод в них иерархических «единиц» (подразделений), представленных объединением специалистов в группы и являющихся каналами обслуживания (рис. 1).

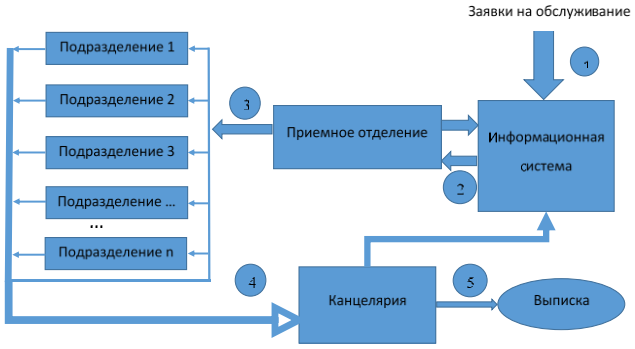


Рис. 1. Концептуальная модель лечебно-профилактического учреждения как система массового обслуживания

Данные группы совместно реализуют некоторую программу или цель и действуют на основе определенных процедур, и правил, регламентирующих их совместную деятельность [6]. Их совместную деятельность предлагается рассматривать как систему. Такие системы будем называть организационными системами массового обслуживания, отмечая в них возросшую роль человеческого фактора. В этом случае целесообразно использовать принципы и модели субъектно-ориентированного управления, а также методологию имитационного моделирования [7]. Организационные системы массового обслуживания чаще всего встречаются в учреждениях здравоохранения, социальных, научно-исследовательских, образовательных и др. Для данных учреждений характерна работа с нестационарным потоком заявок. Это предполагает исследование их критических состояний при скоплении большого количества заявок, приводящих к отказам системы при невозможности их своевременной обработки. Отказ системы к обслуживанию данного потока предотвращается изменением ее структуры: совокупности организационных, управляющих, технологических и др. связей. Этот подход является аналогией бифуркаций, используемых в теории катастроф. Выбранный тип структурного управления реализуется на основе различных модификаций интеллектуальных технологий принятия решений. На модельном примере подтверждается работоспособность системы лечебно-профилактического учреждения при нестационарности обработки потока заявок.

II. Структурное управление

Задачу управления организационными системами массового обслуживания при нестационарном потоке заявок предлагается решать путем изменения ее структуры. Структура подчинённости организационной системы будет иметь вид иерархического дерева с единым центром, представленным информационной системой. В центре обрабатывается поток заявок, проходящий через входной канал. Далее происходит распределение заявителей по подсистемам (подразделениям) [8, 9].

Осуществление имитационного моделирования лечебно-профилактического учреждения как системы массового обслуживания изображено на рис. 2, 3.

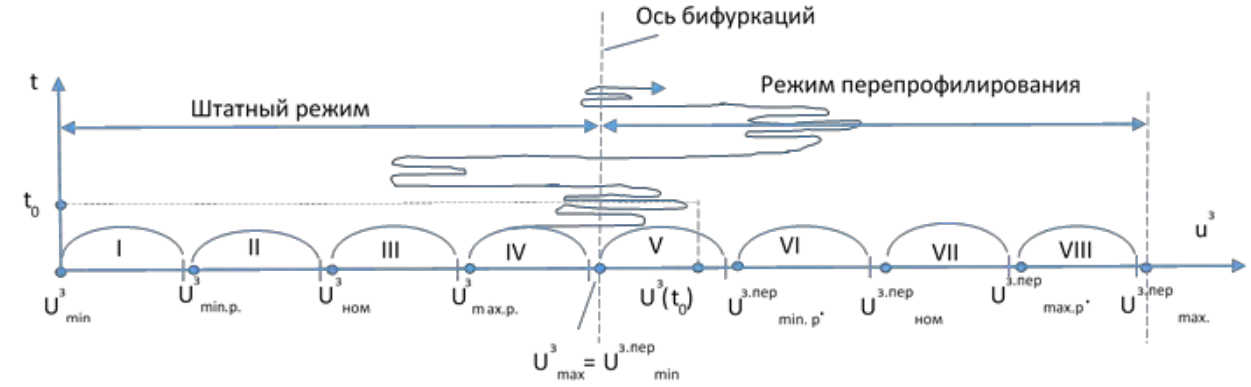


Рис. 2. Имитационная модель работы подразделения лечебно-профилактического учреждения, которая характеризуется переходом из штатного режима в режим перепрофилирования отделений

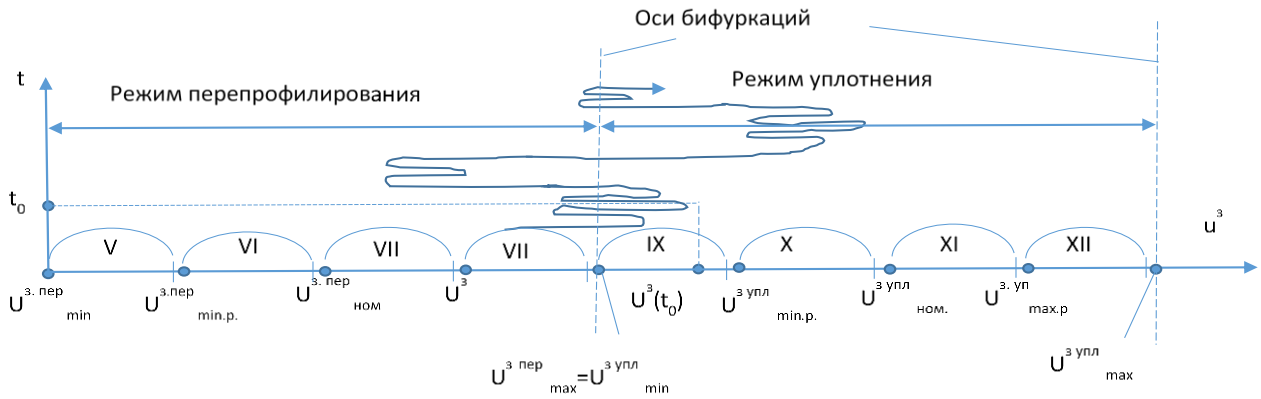


Рис. 3. Имитационная модель работы подразделения лечебно-профилактического учреждения, которая характеризуется переходом из режима перепрофилирования в режим уплотнения отделений

На рисунке представлена функция загрузки $U^з(t_0) \in$ из учреждения в текущий момент времени t_0, а $u^з(t)$ в интервале $[U^з_{min}, U^з_{max}]$ допустимых состояний, которая характеризуется переходом из штатного режима работы в режим перепрофилирования отделений. Где:

$U^з_{min}$ –это минимальное значение по загрузке, меньше которого работа отделений лечебно-профилактического учреждения нецелесообразна;

$U^з_{min.p}$ – это минимальное рекомендованное значение по загрузке при котором возможна работа лечебно-профилактического учреждения;

$U^з_{ном.}$ – это значение номинальной загрузки, которое закладывается интуитивно руководством лечебно-профилактического учреждения, исходя из ситуации пандемии, или сезонного заболевания;

$U^з_{max.p.}$ – это максимальное рекомендованное значение по загрузке, которое способно вместить отделение лечебно-профилактического учреждения в штатном режиме работы;

$U^з_{max}$ – это максимальное значение по загрузке. Данное состояние работы отделений лечебно-профилактического учреждения характеризуется отсутствием свободных койко-мест в стационаре;

$U^з_{i(t0)}$ – значение по загрузке койко-мест под стационарное размещение больных в подразделение лечебно-профилактического учреждения на текущий момент времени t0;

$\Delta\ u^з_{«-»}(t_0)$ – приращение, характеризующее число выписываемых больных на текущий день. Данное приращение может характеризоваться как положительной, так и отрицательной динамикой;

$\Delta u^з_{«+»}(t_0)$ – приращение, показывающее число госпитализированных больных на текущий день. Данное приращение может характеризоваться как положительной, так и отрицательной динамикой;

$U^з_i(t_1\text{-}\Delta t)$ – значение загруженности подразделения больными в предыдущем шаге управления;

$u^з_{\Sigma}(t_0)=\Delta u^з_{-}(t_0)-\Delta u^з_{+}(t_0)$ – вычисление итоговой величины прироста загрузки. Возможны варианты, как с положительным, так и отрицательным приращением.

В зависимости от тенденции роста и или убывания приращения загрузки, рекомендованы следующие предложения по управлению динамикой предоставления медицинских услуг:

Не требуется внесение дополнительных указаний по работе отделений, с целью корректировки загрузки коечного фонда стационара.

Необходимо различать случаи обязательной госпитализации больных в стационар по закону (необходимости занять койко-место и круглосуточное пребывание больного под медицинским наблюдением) и возможности амбулаторного представления медицинских услуг больным.

Дифференциация случаев необходимости продолжения стационарного лечения и возможности перевода со стационара на амбулаторное лечение больных.

В спорных случаях, при загруженности отделения рекомендуется оказывать помощь больным амбулаторно, если это возможно по закону.

В случаях снижения загрузки отделения стационара рекомендуется повременить с выпиской, сделать акцент на качество оказываемых услуг.

В случаях увеличения загрузки до максимального предела заблаговременно начинать перепрофилированию некоторых отделений под нужды нестационарных ситуаций.

Если возможности перепрофилирования лечебно-профилактических учреждений исчерпаны, то, необходимо готовиться к уплотнению койко-мест ранее перепрофилированных.

В случае снижения загрузки на отделения, ее переход из состояния уплотнения в нормальное состояние работы перепрофилированных отделений (при этом существуют тенденции исчезновения нестационарных ситуаций) готовиться к штатному режиму работы отделений лечебно-профилактических отделений.

Для оценки текущего состояния данной системы массового обслуживания используем введенный ранее подход к стратегическому управлению пропускной способностью подразделения лечебно-профилактического учреждения [10].

Пусть на текущий момент времени t_i в подразделении сложилось состояние $u^3(t_i)$ в результате выписки излечившихся больных из стационара в количестве

Δu^3 «-» (t_i) и приема больных Δu^3 «+» (t_i), тогда: $u^3(t_i) = \text{const}$

$$u^3(t_i) = u^3(t_{i+1} - \Delta t) + \Delta u^3_{-»}(t_i) + \Delta u^3_{+»}(t_i)$$

на основе результатов анализа сложившейся ситуации в подразделении лечебно-профилактического учреждения:

$(u^3(t_i), u^3(t_{i+1} - \Delta t), \Delta u^3_{-»}(t_i), \Delta u^3_{+»}(t_i)$, включая предшествующее интеллектуальное управление как начальный вариант, подлежащий корректировке по параметрам.

В соответствие с выбранной стратегией обосновывается характер воздействия на систему массового обслуживания и сообщается оператору, с целью определения дальнейшего управления.

$P(t_0) ::= P_1 = P(t_1 - \Delta t)$, $P_2 = P(t_1)$, $P(t_0) := \Delta u^3_{-»}(t_1)$

С этой целью необходимо определить вектор действия управления на предыдущем шаге $(t_1 - \Delta t)$ на текущий момент времени t_1, с выдачей сообщения «$P(P_0)$,». Примем итоги управления на предыдущем шаге $(t_1 - \Delta t)$ как исходная позиция для управления в текущем шаге t_1.

Рассмотрим варианты интеллектуальной поддержки принятия решений в штатном режиме, подразумевающие два варианта решения проблемы: увеличение ($u^3(t_0)$ ↑) или уменьшение ($u^3(t_0)$ ↓) нагрузки.

Вариант 1. “Проявление лояльности к пожеланиям больных в госпитализации”, (госпитализация) $u^3(t_0)$ ↑;

Вариант 2. “Проявление лояльности к пожеланиям больных, находящихся на амбулаторном лечении”, (амбулаторное лечение или дневной стационар) $u^3(t_0)$ ↓;

Вариант 3. “Проявление лояльности к пожеланиям больных продолжить лечение в стационаре”, (госпитализация) $u^3(t_0)$ ↑;

Вариант 4. “Проявление лояльности к пожеланиям выздоравливающих и рекомендации к выписке в госпитализации”, $u^3(t_0)$ ↓;

Вариант 5. “Ходатайствуйте об уплотнении размещения заболевших в стационаре (уплотнение коечного фонда)”, $u^3(t_0)$↑;

Вариант 6. “Ходатайствуйте о деперепрофилировании размещенных в свободных отделениях стационаре”, $u^3(t_0)$ ↓;

Вариант 7. “Ходатайствуйте о перепрофилировании свободных отделений стационара”, $u^3(t_0)$ ↑;

Вариант 8. “Ходатайствуйте о большом потоке большом потоке больных руководителю лечебно-профилактического учреждения” для принятия дельнейших решений, $u^3(t_0)$ ↓;

Вариант 9. “Ходатайствуйте о переходе в режим доуплотнения перепрофилированных отделений.”, $u^3(t_0)$ ↓;

Переведем данные высказывания в математический вид в форму предикатов.

I. Интервал состояний:

$$u^3(t_0) \in [u^3_{min}, u^3_{min.p}))(\Delta u^3_{t_0} < 0)P_1(\text{Вар.}1 \vee \text{Вар.}3)$$
$$u^3(t_0) \in [u^3_{min}, u^3_{min.p}))(\Delta u^3_{t_0} \geq 0)P'_1(\text{Вар.}1 \wedge \text{Вар.}3)$$

II. Интервал состояний:

$$u^3(t_0) \in [u^3_{min.p}, \neg u^3_{нон}))(\Delta u^3_{t_0} < 0)P_2(\text{Вар.}1 \vee \text{Вар.}3)$$
$$u^3(t_0) \in [u^3_{min.p}, \neg u^3_{нон}))(\Delta u^3_{t_0} \geq 0)P'_2(\text{Вар.}1 \wedge \text{Вар.}3)$$

III. Интервал состояний:

$$u^3(t_0) \in [u^3_{нон}, u^3_{max.p}))(\Delta u^3_{t_0} < 0)P_3(\text{Вар.}2 \vee \text{Вар.}4)$$
$$u^3(t_0) \in [u^3_{нон}, u^3_{max.p}))(\Delta u^3_{t_0} \geq 0)P'_3(\text{Вар.}2 \wedge \text{Вар.}4)$$

IV. Интервал состояний:

$$u^3(t_0) \in [u^3_{max.p}, u^3_{max}))(\Delta u^3_{t_0} < 0)P_4(\text{Вар.}2 \vee \text{Вар.}4)$$
$$u^3(t_0) \in [u^3_{max.p}, u^3_{max}))(\Delta u^3_{t_0} \geq 0)P'_4(\text{Вар.}2 \wedge \text{Вар.}4)$$

Режим поведения СМО с перепрофилированием:

$$u^з(t_0) \in [u^з_{min.пп}, u^з_{max.п}))(\Delta u^з_{t_0} < 0)P_6$$
$$u^з(t_0) \in [u^з_{min.пп}, u^з_{max.пп}))(\Delta u^з_{t_0} \geq 0)P_7$$

Режим поведения СМО с уплотнением:

$$u^з(t_0) \in [u^з_{min.у}, u^з_{max.у}))(\Delta u^з_{t_0} < 0)P_9$$
$$u^з(t_0) \in [u^з_{min.у}, u^з_{max.у}))(\Delta u^з_{t_0} \geq 0)P_8$$

Схема принятия решения на основе соответствия множества состояний системы массового обслуживания множеству решений:

Активные действия:

- Принять на полный стационар до
- $\Delta U^з(t_0) = U^з_{max} - U^з(t_0) + \Delta U^р(t_0)$
- $\Delta U^р(t_0)$- предполагаемая выписка
- Принять на дневной стационар до $\Delta U^{дн}(t_0)$;
- Принять на режим домашней изоляции под наблюдение врача $\Delta U^{д.из.}(t_0)$;
- Ограничить полную госпитализацию остро нуждающимся больным;
- Не ограничивать прием на полный стационар только остро нуждающимся больным;
- Поддерживать социальную стратегию накопления ресурса при ожидании и/или реализации экстренной госпитализации без образования очередей;
- Поддерживать социальную стратегию снижения ресурса при отсутствии ожидания экстренной госпитализации для исключения рисков необоснованной «оптимизаций» подразделения лечебно-профилактического учреждения
- Поддерживать экономическую стратегию увеличения загрузки для стимулирования социально- страховых отчислений в адрес лечебно-профилактического учреждения;
- Рассмотреть целесообразность и возможности уплотнения размещения больных и/или перепрофилирования в рамках более узкой специализации подразделений

Пассивные действия:

- Ничего не предпринимать (работа в штатном режиме, без оперативного управления).

III. Заключение

В заключении отметим, что в организационных системах массового обслуживания возрастает роль человеческого фактора. В связи с чем становится актуальным применение подходов субъектно-ориентированного управления совместно с имитационным моделированием. Обслуживание заявок в условиях нестационарного потока показано на примере лечебно-профилактического учреждения. Предложены оптимизирующие интеллектуальные механизмы, включающие разработку математического аппарата на основе исчисления предикатов. Это позволит обеспечить соответствие между состояниями объекта управления и валидными вариантами (бифуркациями) принятия решений. Полученный результат обеспечивает достижение заявленных целей исследования, который гарантирует бесперебойное обслуживание в условиях ограничений на множество бифуркаций. Перспективным вопросом является поиск сбалансированного решения, учитывающее предпочтения лиц, принимающих решение к единственно верному варианту.

Список литературы

[1] Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. Изд. стереотип. 2021. 400 с.

[2] Alfa Attahiru Sule. Approximating queue length in M(t)/D/1 queues // Fur. J. Oper. Res. 1990. 44. №1. p. 60-66.

[3] Kino Jssei, Miyazawa Masakiyo. The stationary work in system of G/G/l gradual input queue // J. Appl. Probab. 1993. 30. №1. P. 207-222.

[4] Miyazawa Masakiyo. The characterization of the stationary distribution of the supplemented self-clocking jump process // Math. Oper. Res. 1991. 16. №3. P.547-565.

[5] Snyder D.K. Filtering and detection for doubly stochastic Poisson processes // IEEE Trans. Inf. Theory. 1972. 18. №1. P. 91-102.

[6] Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. М.: ЛЕНАНД, 2021. 500 с.

[7] Новиков Д.А. Методология управления. М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2012. 128 с.

[8] Квантификация предпочтений хозяйствующих субъектов управления в задачах цифровой экономики : монография / В.А. Харитонов, А.О. Алексеев, А.В. Вычегжанин, А.М. Гревцев, М.С. Дмитрюков, Д.Н. Кривогина, В.С. Спирина, Р.Ф. Шайдулин, Л.К. Гейхман / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, под ред. В.А. Харитонова. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2018. 171 с.

[9] Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег, 1999. 128 с.

[10] Ларионова Р.А. Алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в лечебно-профилактическом учреждении. // Прикладная математика и вопросы управления. 2021. № 1. С. 81-94.

Подготовительный этап проекта внедрения ERP-системы: отличительные черты

А. Е. Лончина, Д. М. Лосева, Ю. А. Кораблев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
sashalonchina@gmail.com, d.m.loseva@gmail.com, juri.korablev@gmail.com

***Аннотация*. В статье рассматривается подготовительный этап проекта внедрения ERP-системы в практику управления предприятием. Цель: определить и охарактеризовать особенности, которыми может руководствоваться предприятие, желающее внедрить ERP-систему в практику своей деятельности. Подобный подход будет интересен и может использоваться руководителями предприятий, руководителями проектных групп, специалистами ИТ-отделов и служб предприятий, бизнес-аналитиками, специалистами ИТ-консалтинга.**

Ключевые слова: ERP-система; команда; проект внедрения; требования; подрядчик

В настоящее время практически ни одна сфера бизнеса не обходится без применения средств автоматизации для оптимизации деятельности. Ранее в промышленных предприятиях под оптимизацией понималась оптимизация отдельных этапов или фаз основных бизнес-процессов – управление основным производством, управление запасами, сейчас же под оптимизацией понимают тесное взаимодействие и автоматизацию не только производственных процессов, но и процессов сбыта и логистики, финансовой деятельности, управления кадрами, и иных. Такую комплексность решения на производственных предприятиях позволяет реализовать одна из ключевых информационных систем управления в настоящее время – ERP система. Согласно словарю консалтинговой компании Gartner, широко известной на рынке маркетинговыми исследованиями в области информационных технологий, термин ERP применяется к набору инструментов, охватывающих широкие и глубокие операционные сквозные процессы, например, в финансах, управлении персоналом, дистрибуции, производстве, обслуживании и цепочке поставок.

По мере роста производства, промышленные предприятия приступают к внедрению большого количества систем управления в существующие бизнес-процессы, а именно – во все виды хозяйственного учета – оперативный учет, бухгалтерский учет, статистический учет, в планирование основной деятельности, в анализ результирующих показателей и т. п. Подавляющее большинство этих систем внедряется в разное время, различными экспертами, с помощью разрозненных ИТ-приложений, что зачастую приводит к их несовместимости в технических и методических аспектах, а в последующем – к неэффективности и наличию узких мест в организации бизнес-процессов. Выполнение операций в таких системах с одной стороны приводит к дублированию функций, с другой стороны – к разрыву информационных потоков, то есть процесс получения оперативной информации о состоянии предприятия и производственном процессе в режиме онлайн нарушается. Таким образом, для снижения высокого риска принятия ошибочных управленческих решений и повышения эффективности управления крупные организации приступают к внедрению ERP системы. Именно она позволяет достичь целостной автоматизации в рамках единой информационной системы основных бизнес-процессов предприятия.

Внедрение ERP-системы в крупной компании – сложный, уникальный проект, требующий комплексного подхода и верного выбора тактики внедрения на самых ранних этапах, что подчеркивает ряд публикаций о практике внедрения ERP на различных промышленных предприятиях, в том числе вышеупомянутый глоссарий Gartner. Для того, чтобы проект внедрения был успешным и завершился в срок требуется высокий уровень его организации, с выполнением определенной последовательности этапов внедрения, значительно снижающих риск неправильного решения.

Итак, промышленное предприятие сделало вывод о необходимости внедрения ERP-системы в практику деятельности, для старта процесса внедрения руководителю проекта внедрения необходимо оптимально выстроить процесс и добиться положительного результата.

Описанные ниже шаги могут быть использованы при выборе и внедрении в практику бизнеса практически любой крупной информационной системы.

I. Целеполагание

Перед тем, как стартовать проект внедрения ERP системы, необходимо обозначить цели проекта. На этом этапе необходимо определить: чего хочет добиться предприятие в ходе проекта внедрения, какие выгоды система должна принести. Этап целеполагания позволяет не утратить ориентиры в процессе реализации проекта по внедрению ERP-системы. Чтобы цели не были «выстрелом в небо», необходимо четко сформулировать критерии их достижения, соизмеримые показатели их достижения.

Схематично этап целеполагания можно изобразить с помощью технологии, разработанной компанией Coverdale «Мишень Цели» (рис. 1) [1]. Наглядное изображение целей разработано на основе участия в проекте внедрения ERP-системы на авиаремонтное предприятие [2].

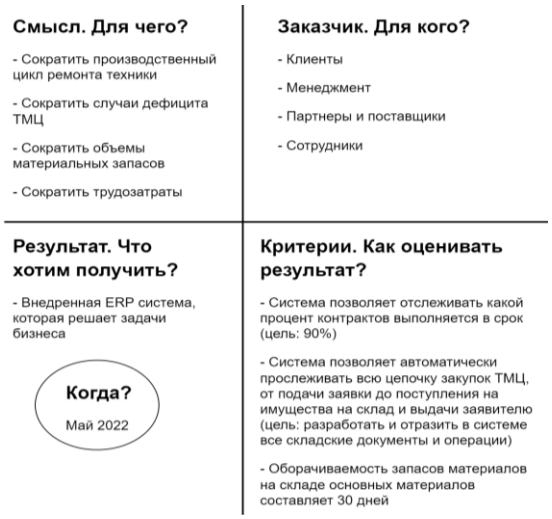


Рис. 1. Шаг целеполагание

Процесс обсуждения и принятия решения о внедрении системы должен коррелировать с целями и задачами предприятия и носить стратегический характер. Внедрение ERP-системы – системы глубокого понимания полного цикла всех бизнес-процессов предприятия требует от руководства корректной постановки целей, оценки заинтересованных лиц, определения вида (формы) желаемого результата, определения критериев, с помощью которых возможно оценить и проверить, достигнуты ли цели.

Руководству стоит определить набор критически важных бизнес-процессов, без которых работа предприятия невозможна, которые и необходимо обрабатывать в ERP системе. Именно анализ этих бизнес-процессов дает понимание: есть ли потребность в покупке и внедрении ERP системы, оправдаются ли финансовые затраты проекта внедрения.

II. Формирование команды проекта

К выбору системы и последующему проекту внедрения необходимо привлекать основной операционный персонал – сотрудников, которые заинтересованы в целях проекта внедрения в достаточном количестве. Именно они со стороны предприятия будут отвечать за достижение целей проекта.

Основными ролями со стороны Заказчика (предприятия) могут являться (табл. 1):

ТАБЛИЦА I Основные проектные роли в проекте внедрения со стороны заказчика

Роль	Функции
Спонсор проекта	Покровительство и курирование проекта. Как правило, это человек из руководящего состава у Заказчика. Согласование бюджета проекта со стороны Заказчика
Представитель заказчика	Приемка решения, организация взаимодействия по линии заказчик-исполнитель, руководство ресурсами проекта на стороне заказчика
ИТ-менеджер	Постановка технических требований, участие в приемке технической составляющей решения, руководство ИТ-ресурсами проекта на стороне заказчика
Ключевой пользователь	Постановка бизнес-требований, участие в приемке прикладной функциональности, освоение работы с системой
Пользователь	Освоение работы с системой
Администратор системы	Освоение обслуживания системы

При определении и составлении перечня группы внедрения необходимо убедиться, что в ее состав входят различные представители предприятия – дополнительные проектные роли, которые ранжируются в зависимости от целей внедрения системы. Например, представители службы безопасности, представители ИТ-службы – системные администраторы, специалисты по информационной безопасности, сотрудники службы качества – специалисты по бизнес-процессам, другие интересанты – юристы, финансисты и т. п. Именно такой подход к формированию команды проекта снижает риск ошибочного выбора системы, позволяет внедрить инструмент для управления, используемый служащими предприятия, который имеет рычаги для повышения эффективности рабочих процессов, а не «приложение для ввода-вывода данных с неясной целью».

Результатом этапа формирования команды является:

- формирование пофамильного списка команды проекта;
- выпуск приказа о формировании рабочей группы (формальное вовлечение в процесс внедрения);
- постановка четких целей, критериев успешности проекта, наличие ключевых показателей;
- наличие драйвера проекта – «идейного вдохновителя» проекта, человека, который больше всего заинтересован в целях проекта и имеет видение системы целиком. зачастую является спонсором проекта.

Вовлечение персонала – неотъемлемый фактор в проектах внедрения по причине того, что именно сотрудники компании являются конечными потребителями системы.

III. Формирование требований

Для общения с потенциальным поставщиком системы руководителю проекта внедрения от предприятия необходимо четко определить и классифицировать функции: которые «должны быть» в системе и которые «желательны к исполнению», что и включает в себя процесс формирования требований. Как правило, данный шаг включает себя последовательность подэтапов: предварительный сбор требований, классификация и приоритизация требований, формирование документа с требованиями.

A. Предварительный сбор требований

Руководитель проекта внедрения совместно с командой по внедрению определяют какие проблемы необходимо решить с помощью системы, в каких процессах есть проблемы, где они находятся, ухудшится ли ситуация при внедрении системы. Следует понимать, что для того, чтобы добиться создания единого пространства для всех служащих предприятия необходимо выбирать ERP-систему, которая поддерживает не только бизнес-процессы, касающиеся финансов и бухгалтерии, но и другие процессы предприятия - основное производство, закупки, логистика, маркетинг, кадры.

B. Классификация и приоритизация требований

После того, как требования сформированы, необходимо провести их классификацию и приоритизацию.

Для классификации существенно учесть и сформулировать бизнес-требования – верхнеуровневые требования, которые описывают, почему предприятию нужна ERP система, то есть цели, которые она планирует достичь с ее помощью. Далее, спуститься на уровень ниже и сформулировать функциональные требования, которые определяют каким должно быть поведение системы в тех или иных условиях.

Какие требования выделить при приоритизации?

- ключевые – вопросы критичные для работы компании, на контроле топ-менеджмента;
- стратегические – критические для достижения конкурентного преимущества;
- вспомогательные – ощущается необходимость, но не критично для достижения целей и бизнеса (например, требования к удобству – может ли система отправлять дополнительные уведомления; можно ли осуществить разработку мобильного приложения, помимо основного клиента);
- потенциальные – важные для успеха в будущем (например, требования к веб-интерфейсам для продвижения).

Что еще принять во внимание при приоритизации требований: те требования, которые необходимо выполнять сейчас (на контроле топ менеджмента; относится к процессам у которых существует внятный регламент; которые имеют максимальный экономический эффект внедрения; которые обладают небольшим объемом вовлеченных пользователей), а также те требования, которые необходимо оставить на потом (относится к процессам, у которых нет регламента и нет владельца).

C. Формирование документа с требованиями

Итогом этапа формирования требований является подробно сформированный документ требований, написанный в произвольном формате, согласованный в рабочей группе и с владельцами системы, в нем должна быть учтена и упомянута вся предполагаемая функциональность. Часто этот документ именуют «Запрос на предложение».

Функционал внедряемой ERP-системы будет оказывать влияние на операции, выполняемые сотрудниками предприятия на протяжении многих дальнейших лет, предлагаемая последовательность действий на этапе формирования функционала позволит в последующем избежать затратных доработок системы поставщиком или разрабатывая необходимые модули своими силами.

IV. Выбор системы

Для выбора системы доступны три вида решений – использование коробочного решения, кастомизация, разработка системы «с нуля». Коробочное решение представляет собой готовое, протестированное решение, в котором невозможно поменять какие-либо атрибуты системы, варианты использования, внести изменения. Кастомизация предполагает использование готовой платформы (коробочного решения), которое дорабатывает подрядчик (Исполнитель) на основании предъявляемых требований. Кастомизированное решение имеет вендорскую поддержку платформы, бизнес-процессы такого решения строятся под конкретную деятельность компании. Разработка «с нуля» применяется в том случае, когда процессы являются нетиповыми и ни одна платформа – ни в коробочном исполнении, ни с помощью кастомизации не покрывает задач и основных бизнес-процессов компании.

Особенности различных видов решений (табл. 2):

ТАБЛИЦА II Особенности различных версий ERP-систем

	Готовое решение	**Кастомизация**	**Разработка**
Требования к инфраструктуре	Низкие	Средние	Высокие
Стоимость	Низкая	Средняя	Высокая
Учет специфики бизнес-процесса	Отсутствует	Возможно	Возможно соответствие в деталях
Сложность внедрения	Низкая	Средняя	Высокая
Компетенция администратора	Низкая	Средняя	Высокая
Сопротивление персонала	Высокое	Среднее	Низкое

При выборе любого программного обеспечения, в том числе и ERP, рождается вопрос: выбрать локальные или облачные платформы (Stand-Alone и Saas), ведь рынок решений предлагает обе альтернативы. Важно помнить особенность, что ERP – это система со сложным функционалом и структурой, включающая в себя все данные о работе предприятия. Применяя облачные ERP важно понимать, что такой вариант трудно адаптируется под конкретное предприятие (бизнес-процессы перестраиваются под ERP) и будет достаточно трудно сменить сервис, если в этом появится необходимость. В отличие от CRM-систем, которые весьма популярны в формате «облаков», объемы данных и информации в ERP огромны, и в случае смены программного обеспечения, возникают сложности с переносом данных. Несмотря на выгодные тарифы облачных решений руководители отечественных предприятий чаще выбирают локальные решения для большего контроля, достигаемого посредством нахождения всех мощностей на собственной территории.

Как правило, этап выбора системы включает в себя последовательность подэтапов: подготовка, предварительный отбор и финальный отбор.

A. Подготовка

Для того, чтобы взаимодействовать с потенциальными подрядчиками по внедрению ERP необходимо как подготовить запрос предложений, так и сформулировать требования к кандидатам: определить стоимость, сроки реализации и иные специфические критерии. Такие критерии могут включать в себя: требования к штатной численности сотрудников, требования к стажу работу претендента на рынке (не менее N лет), требования к наличию у претендента внедренной системы менеджмента качества, соответствующая международному стандарту ISO 9001 и иные.

После того, как определены требования к потенциальному подрядчику необходимо:

- сформулировать критерии его оценки, то есть как предприятие будет оценивать того или иного кандидата по ранее сформированным

требованиям (функциональности, срокам, стоимости и пр.);

- сформировать список претендентов, то есть определить платформу и подрядчика (Исполнителя), который за предлагаемые сроки и стоимость готов предоставить необходимые услуги.

B. Предварительный отбор

Руководитель проекта внедрения связывается с вендором или напрямую с компанией, которая осуществляет внедрение, и начинает коммуникацию с подготовкой технико-коммерческого предложения (ТКП). ТКП направляется потенциальным Исполнителем контракта, в котором он, как правило, определяет ориентировочную стоимость внедрения проекта, календарный план-график внедрения проекта (на уровне кварталов), методологию внедрения системы (в том числе состав – должностной и численный – групп специалистов от Заказчика и Исполнителя, участвующих в проекте), схему этапов внедрения системы в организации. Стоит обратить внимание, что при взаимодействии с вендором или компанией-внедренцем необходимо определить четкие сроки ответа на ТКП, иначе это приводит к затягиванию сроков.

C. Финальный отбор

Начинается этап pre-sale, который обычно представляет собой встречу Заказчика и Исполнителя, менеджеров по продажам, менеджеров по продвижению продукта, которые демонстрируют предприятию свое решение, презентации, показывают демонстрации на живой системе, отвечают на вопросы. На этапе встречи с подрядчиком руководителю проекта внедрения на предприятии важно обеспечить присутствие всей команды: всех ключевых пользователей, спонсора проекта для того, чтобы у них была возможность задать интересующие вопросы (желательно предварительно его составить, чтобы четко следовать плану).

Важно не забывать, что потенциальный кандидат всегда демонстрирует свой продукт с лучшей стороны, не показывая его недостатков – руководители предприятий совместно с проектными командами могут быть очарованы красиво продемонстрированными экранами с качественно поданым материалом, не замечая того, что потенциальное решение может быть плохо адаптировано под реалии автоматизируемого объекта. Текущая ситуация на рынке ERP требует от руководства предприятия и от проектной команды учитывать не только статус и имидж той или иной компании (в т. ч. решения), но и оценивать бизнес- и функциональные требования, применимость для предприятия различных ERP-систем.

После просмотра демонстраций проектной командой и ознакомления с коммерческими предложениями, необходимо оценить каждого из подрядчиков по баллам. Каждому ранее определенному критерию (цена, количество требуемых сертификатов, подобный успешный опыт в автоматизации и т. п.) соответствует определенное количество баллов, каждый претендент набирает некоторое количество баллов. По итогу выставляется финальный балл каждому подрядчику и формируется шорт-лист, который включает не более 3 систем, то есть 3 потенциальных кандидата на участие в проекте Заказчика и на победу. По каждой системе лучше иметь несколько альтернатив, чтобы в случае форс-мажора выбрать другого подрядчика. По итогам финального отбора руководитель проекта внедрения информирует победителя и переходит к подготовке договора с ним.

V. Заключение

Изменения от внедрения ERP-системы окажутся оправданы и эффективны только в том случае, если проектной командой предприятия будет выбран тщательный и комплексный подход к ее внедрению и выбору. Если рассмотреть последствия неправильного выбора ERP-систем становится очевидно, что не стоит торопиться сократить подготовительный этап внедрения ERP. Руководителям проектных команд стоит убедиться в том, что система действительно подходит к внедрению на предприятие. Проект внедрения стоит начинать в случае, если проектная команда и ее руководитель четко определили систему и ее возможности, уточнили и сформировали бизнес-требования, поставили сроки, определили потенциального подрядчика (имея запасные варианты), наладили взаимодействие с подрядчиком, а также имеют сработанную команду внутри предприятия. Грамотное инициирование работы и соблюдение четкой последовательности шагов проекта внедрения позволяют избежать появления дополнительных затрат на дополнительные модификации и их разработку в проекте внедрения, а также продажи «удобного» для подрядчиков продукта и в последующем разочаровавшегося в ERP клиента.

Список литературы

[1] Coverdale [Электронный ресурс]. – URL: https://www.coverdale.ru/instrumenty-upravleniya/texnologii-sotrudnichestva/mishen-celi/ (дата обращения 10.01.2022)

[2] Лончина А.Е. Автоматизация бизнес-процессов ОАО «558 АРЗ» на основе цифровых технологий: ВКР, студентка. СПб 2021. 117 с.

Исследование процесса охлаждения масла в системе маслоснабжения газотурбинного двигателя

П. А. Мальцев[1], Н. А. Шатилова[2]
Санкт-Петербургский горный университет
[1]maltcev-pave@mail.ru, [2]n_a_shatilova@mail.ru

С. Е. Абрамкин
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
seabramkin@etu.ru

***Аннотация*. Целью работы является исследование процесса охлаждения масла в аппаратах воздушного охлаждения масла. В результате исследования определены допущения с целью построения математической модели, разработана математическая модель процесса, определены граничные и начальные условия, осуществлен переход к дискретно-непрерывной модели с целью проведения компьютерного эксперимента, определены возмущающие воздействия присущие данному технологическому процессу, проведено компьютерное моделирование. Компьютерное моделирование показало адекватность разработанной математической модели технологическому процессу.**

Ключевые слова: переходные процессы, аппарат воздушного охлаждения масла, математическая модель, тепломассообмен

I. Введение

Единая система газоснабжения России состоит из объектов добычи, переработки, транспортировки, хранения и распределения газа. Она обеспечивает непрерывный цикл поставки газа от скважины до конечного потребителя. Данное исследование посвящено обеспечению бесперебойной работы объектов транспортировки природного газа.

На данный момент в транспортировке газа используется 411 компрессорных станций. Основным технологическим элементом этих станций является газоперекачивающий агрегат (ГПА), состоящий из взаимосвязанной системы «двигатель – нагнетатель». Нормальная эксплуатация этой системы во многом зависит от работоспособности вспомогательных систем, в частности масляной системы и системы подогрева и охлаждения масла [1].

Обеспечение работоспособности масляной системы, особенно в районах Крайнего Севера во многом зависит от правильной работы системы подогрева и охлаждения масла. Охлаждение масла осуществляется в аппаратах воздушного охлаждения масла (АВОМ). Повышению эффективности работы АВОМ посвящены многочисленные исследования [2–7].

II. Система маслоснабжения газоперекачивающего агрегата

Масляная система ГПА осуществляет следующие функции [1]:

- охлаждение подшипников;
- обеспечение системы регулирования носителем энергии;
- уплотнение подшипников нагнетателя.

В состав масляной системы ГПА входят маслонасосы (основные и резервные), маслобаки, охладители масла, фильтрующие устройства, подогреватели, различные датчики и клапаны.

Маслосистема имеет два независимых источника энергии, так как основной насос работает от газовой турбины, а резервные – от двигателей переменного тока. Это необходимо для повышения надежности ее работы, что в конечном итоге обеспечивает работоспособность турбины и нагнетателя.

Для нормальной работы подшипников турбины и гидравлической системы регулирования необходимо поддерживать заданные вязкость и температуру масла. Это связано с тем, что при длительных остановках турбины масло имеет относительно низкую температуру, и, следовательно, большую вязкость. В связи с этим перед пуском турбины его подогревают. При нормальной работе масло осуществляет не только смазку трущихся деталей, но и является охлаждающим агентом. При этом происходит теплосъем, образовавшегося во время трения тепла. Поэтому масло необходимо охлаждать, так как выделение тепла от трущихся деталей весьма значительно.

Работа системы маслоснабжения ГПА осуществляется следующим образом: при включении основного насоса масло из маслобака подается в нагнетательные линии. Далее масло поступает в блок АВОМ, где достигается его заданная температура. Из блока АВОМ масло поступает в фильтры, где происходит очистка от механических примесей, и подается на соединительные элементы ГПА, откуда сливается обратно в бак. Таким образом, осуществляется замкнутый цикл работы системы маслоснабжения.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что температура масла является основной величиной маслосистемы ГПА, соответственно исследование процессов теплообмена в АВОМ является актуальной задачей.

III. Разработка математической модели теплообменных процессов в аппарате воздушного охлаждения масла

В основе работы АВОМ лежит передача излишнего тепла от масла к окружающей среде. Это осуществляется

в ходе движения масла по оребренным трубкам теплообменной секции маслоохладителя. Процесс теплообмена возникает между теплоносителем и стенками трубок, в ходе которого масло отдает излишнее тепло стенкам, которые, в свою очередь, охлаждаются потоком холодного воздуха, нагнетаемого вентиляторами, т. е. наблюдается конвективный нестационарный теплообмен между маслом и материалом трубок теплообменных секций.

Процессы тепломассопереноса, характерные для АВОМ, можно описать системой нелинейных уравнений Фурье, дополненных начальными и граничными условиями.

Допущения, принятые при разработке математической модели (ММ):

- масло – не сжимаемо;
- теплофизические свойства масла и материала трубок теплообменной секции не зависят от температуры;
- внутренний источник тепла в потоке масла отсутствует;
- температура масла и стенок трубок не зависит от полярного угла;
- скорость движения масла – постоянная величина;
- поток тепла, возникающий в следствии конвекции при движении масла вдоль оси x, много больше, чем поток тепла вдоль трубы, обусловленный теплопроводностью масла.

В основе ММ лежит уравнение теплопроводности. Так как конструкция АВОМ содержит трубку с внутренним и внешним радиусом (r_1 и r_2), то разработка ММ осуществляется в цилиндрической системе координат. Таким образом, запишем ММ теплообменного процесса в АВОМ в следующем виде [4]:

$$\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial t}=\alpha_{\text{м}}\left(\frac{\partial^2\theta_{\text{м}}}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial r}+\frac{\partial^2\theta_{\text{м}}}{\partial x^2}\right)-v\left(r\right)\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial x};$$

$$\frac{\partial\theta_{\text{ст}}}{\partial t}=\alpha_{\text{ст}}\left(\frac{\partial^2\theta_{\text{ст}}}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta_{\text{ст}}}{\partial r}+\frac{\partial^2\theta_{\text{ст}}}{\partial x^2}\right),$$

где $\alpha_{\text{м}}=\lambda_{\text{м}}/(c_{\text{м}}\gamma_{\text{м}})$ и $\alpha_{\text{ст}}=\lambda_{\text{ст}}/(c_{\text{ст}}\gamma_{\text{ст}})$ – коэффициент температуропроводности масла и материала трубки; $\lambda_{\text{м}}$ – теплопроводность масла; $c_{\text{м}}$ – удельная теплоемкость масла; $\gamma_{\text{м}}$ – плотность масла; $\lambda_{\text{ст}}$ – теплопроводность материала трубки теплообменной секции; $c_{\text{ст}}$ – удельная теплоемкость материала трубки теплообменной секции; $\gamma_{\text{ст}}$ – плотность материала трубки теплообменной секции.

Уравнение применимо при $0<r<r_1$, $x>0$, а при $r_1<r<r_2, x>0$.

Отметим, что последнее допущение позволяет пренебречь в уравнении второй производной по x:

$$\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial t}=\alpha_{\text{м}}\left(\frac{\partial^2\theta_{\text{м}}}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial r}\right)-v\left(r\right)\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial x}.$$

Таким образом, уравнения и решаются при конкретных начальных и граничных условиях.

Считаем, что на поверхности трубки поддерживается температура окружающей среды, т. е. имеем место следующее граничное условие $\theta_{\text{ст}}\left(x,r_2,t\right)=\theta_{\text{в}}$.

Примем еще одно допущение для полученной ММ. Из-за того, что теплопроводность материала трубки теплообменной секции значительно больше теплопроводности масла, можем считать материал трубки идеальным охладителем, т. е. температура стенок трубки теплообменной секции будет равна температуре окружающей среды. На основании данного допущиния мы можем не учитывать .

Принимая во внимание допущение, что скорость теплоносителя постоянна получим вместо уравнения следующее уравнение теплового поля масла:

$$\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial t}=\alpha_{\text{м}}\left(\frac{\partial^2\theta_{\text{м}}}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial r}\right)-v\frac{\partial\theta_{\text{м}}}{\partial x}.$$

Граничные условия для уравнения :

$$\theta_{\text{м}}\left(x,r_1,t\right)=\theta_{\text{в}};$$

$$\frac{\partial\theta_{\text{м}}\left(x,0,t\right)}{\partial r}=0;$$

$$\theta_{\text{м}}\left(0,r,t\right)=\theta_{\text{вх}}.$$

Начальные условия (при $t=0$):

$$\theta_{\text{м}}\left(x,r,0\right)=\theta_{\text{вх}}.$$

Уравнение решаем методом конечных разностей. В результате преобразований, получим [2]:

$$\frac{\theta_{\text{м}i,j,k}-\theta_{\text{м}i,j,k\text{-}1}}{\Delta t}=\alpha_{\text{м}}\left(\frac{\theta_{\text{м}i,j-1,k-1}-2\theta_{\text{м}i,j,k\text{-}1}+\theta_{\text{м}i,j+1,k-1}}{\Delta r^2}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{\Delta rj}\frac{\theta_{\text{м}i,j,k-1}-\theta_{\text{м}i,j-1,k-1}}{\Delta r}\right)-$$
$$-v\frac{\theta_{\text{м}i,j,k-1}-\theta_{\text{м}i-1,j,k-1}}{\Delta x},$$

где $0<i<N_x$, $0<j<N_r-1$, $k>0$; N_x– количество точек дискретизации по переменной x; N_r – количество точек дискретизации по переменной r; k – текущий момент времени.

Выразим температуру в текущей точке в текущий момент времени:

$$\theta_{\text{м}i,j,k} = \left[\begin{array}{l} \alpha_{\text{м}} \left(\dfrac{\theta_{\text{м}i,j-1,k-1} - 2\theta_{\text{м}i,j,k-1} + \theta_{\text{м}i,j+1,k-1}}{\Delta r^2} + \right. \\ \left. + \dfrac{1}{\Delta rj} \dfrac{\theta_{\text{м}i,j,k-1} - \theta_{\text{м}i,j-1,k-1}}{\Delta r} \right) - \\ -v \dfrac{\theta_{\text{м}i,j,k-1} - \theta_{\text{м}i-1,j,k-1}}{\Delta x} \end{array} \right] \Delta t + \theta_{\text{м}i,j,k-1},$$

Граничные условия в дискретном виде:

$$\theta_{\text{м}}\left(i, N_r - 1, k\right) = \theta_{\text{в}};$$

$$\theta_{\text{м}}\left(i, 0, k\right) = \theta_{\text{м}}\left(i, 1, k\right);$$

$$\theta_{\text{м}}\left(0, j, k\right) = \theta_{\text{вх}}.$$

В данном случае примем следующие возмущающие воздействия:

- изменение расхода охлаждающего воздуха, который нагнетается вентилятором в теплообменную секцию маслоохладителя, при изменении частоты вращения вентилятора;
- изменение температуры масла, поступающего на вход теплообменных секций АВОМ;
- изменение температуры окружающей среды.

IV. Компьютерное моделирование процесса охлаждения масла

Исходные данные для моделирования теплообменных процессов, протекающих в АВОМ, выбраны следующие: температура масла на входе в АВОМ 25 ºС; температура окружающей среды 15 ºС. В процессе исследования подавались возмущающие воздействия по температуре масла на входе в теплообменные секции АВОМ в диапазоне от 5 ºС до 60 ºС и температуре окружающей среды в пределах от 5 ºС до 35 ºС.

График переходного процесса при начальных заданных температурах окружающей среды и температуре масла представлен на рис. 1.

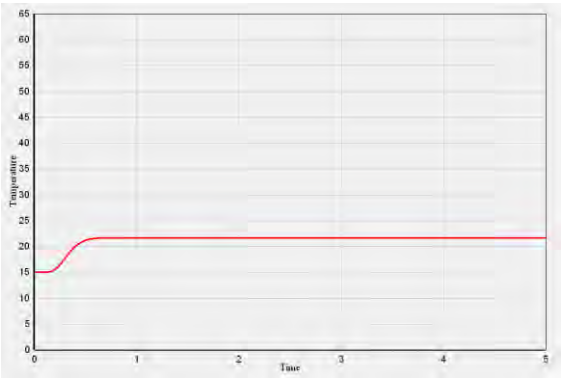


Рис. 1. График переходного процесса при заданных значениях температур

График переходного процесса при уменьшении температуры окружающей среды до 5 ºС, представлен на рис. 2.

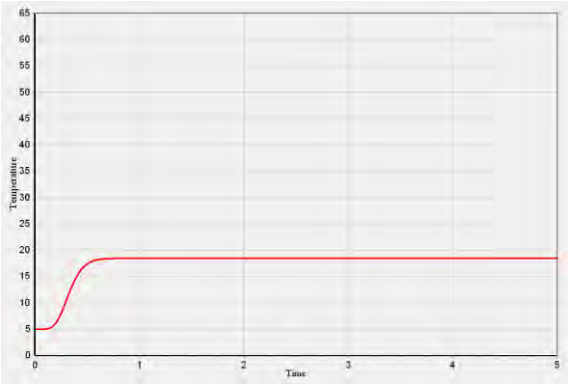


Рис. 2. График переходного процесса при понижении температуры окружающей среды

График переходного процесса при повышении температуры окружающей среды до 35 ºС, представлен на рис. 3.

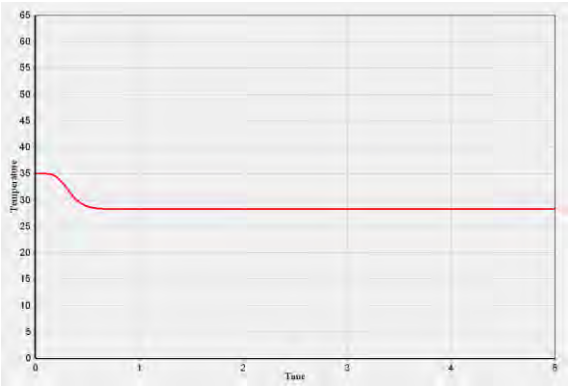


Рис. 3. График переходного процесса при увеличении температуры окружающей среды

График переходного процесса при уменьшении температуры масла до 5 ºС, представлен на рис. 4.

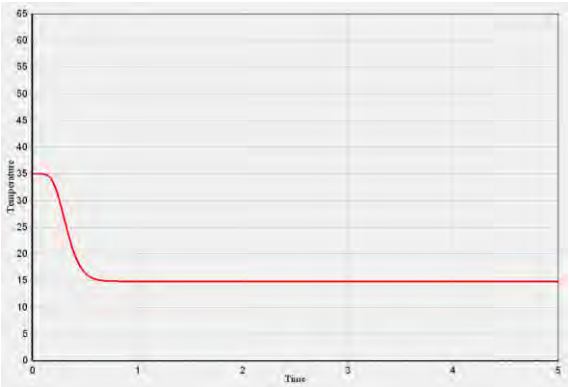


Рис. 4. График переходного процесса при понижении температуры масла

График переходного процесса при повышении температуры масла до 60 ºС, представлен на рис. 5.

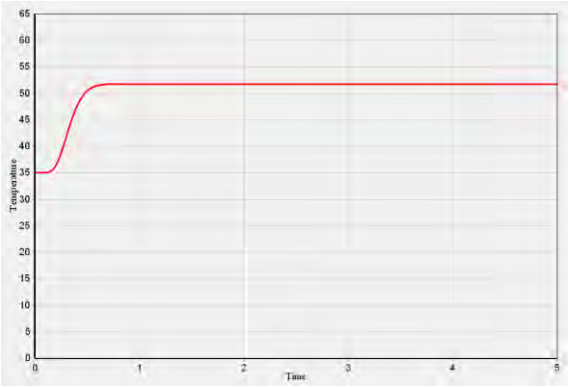


Рис. 5. График переходного процесса при повышении температуры масла

Анализ графиков показал, что переходные процессы носят монотонно-убывающий и монотонно-возрастающий характеры, в зависимости от возмущающего воздействия. Время установления процесса составляет 1,5…2 с. Так же по графикам видно, что при подаче возмущающего воздействия система не обеспечивает заданное значение по температуре масла, а устанавливается в новом значении. Для обеспечения заданного значения температуры масла на выходе из АВОМ, необходима разработка системы автоматического регулирования. Следует отметить, что ограничения на параметры ГПА, и в частности на параметры маслосистемы вызывают необходимость автоматического контроля и управления.

V. Заключение

Разработана математическая модель аппарата воздушного охлаждения масла с учетом принятых допущений. Определены начальные и граничные условия модели. Выявлены возмущающие воздействия присущие данному технологическому процессу. Осуществлен переход к дискретно-непрерывному виду модели. Проведено компьютерное моделирование, которое показало адекватность разработанной модели технологическому процессу. Отметим, что переходные процессы показали, что в отсутствии управления заданная температура масла на выходе аппарата не достигается. Таким образом, для данной системы необходимо синтезировать регулятор, который будет реализовывать процесс управления данным технологическим процессом и обеспечивать заданную температуру масла в системе при выявленных возмущающих воздействиях.

Список литературы

[1] Аранович Б.И., Лячек Ю.Т., Олейников В.А., Файнштейн А.А. Автоматическое управление газотурбинными установками. Л.: Недра, 1974. 216 с.

[2] Хабибуллин И.И., Низамутдинов Р.М., Кадыров Р.Г., Николаенко И.В., Гуреев М.В., Тиунов С.В. Численное моделирование процессов теплообмена в аппарате воздушного охлаждения масла // Газовая промышленность. 2019. №2 (780). С. 84-90.

[3] Тиунов С.В., Скрыпник А.Н., Маршалова Г.С., Гуреев В.М., Попов И.А., Кадыров Р.Г., Чорный А.Д., Жукова Ю.В. Экспериментальное исследование теплогидравлических характеристик оребренных плоских труб аппарата воздушного охлаждения масла // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2020. №2. С. 138-150.

[4] Кузнецов В.А., Мигачева Л.А., Стариков А.В., Титов А.Р. Математическая модель процесса теплообмена в аппарате воздушного охлаждения масла // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. 2012. №1 (26). С. 166-174.

[5] Кузнецов В.А., Мигачев А.В., Стариков А.В., Титов А.Р. Особенности математической модели асинхронного электродвигателя аппаратов воздушного охлаждения масла // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Серия: Техн. науки. 2011. №3. С. 171-179.

[6] Алимов С.В., Мигачева Л.А., Титов А.Р. Передаточные функции процесса теплообмена в аппарате воздушного охлаждения масла // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Серия: Техн. науки. 2012. №4. С. 198-205.

[7] Неволин А.М., Плотников П.Н. Повышение эффективности работы аппаратов воздушного охлаждения масла газоперекачивающих агрегатов на базе газотурбинной установки гтн-16 // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2014. №4. С. 11-17.

Разработка информационной системы мониторинга электромагнитных полей электролизера Содерберга

И. М. Новожилов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

О. А. Беляевский
ООО «Техноавтоматика» ОП, г. Иркутск

***Аннотация*. В процессе промышленного производства алюминия важную роль играет вопрос контроля состояния электромагнитного поля электролизера. В данном исследовании коллектив авторов проводит анализ электромагнитных полей ошиновки, гибких стояков и электролизера в целом. Авторами составлена информационная модель технического состояния электролизера проведен ряд экспериментов по оценке влияния тока на формирование электромагнитного поля. Определены области концентрации электромагнитного поля. Разработан программно-аппаратный комплекс идентификации электромагнитного поля.**

Ключевые слова: анализ, идентификация, система управления, алюминии, автоматизация

I. Введение

На рынке представлены различные виды сырья в виде металлов, углеводородов, химических материалов, веществ и соединений, пластиков, и других технологических материалов, качество которых наряду с их себестоимостью определяет величину оптимальной добавленной стоимости конечного продукта и его конкурентное положение на рынке.

Потребитель требует от производителя все более легких и качественных продуктов. В этих условиях рынок легких металлов, и прежде всего алюминия, приобретает все большую значимость. За последние двадцать лет рынок производства и потребления товарного алюминия увеличился в пять раз, а для любого увеличения производства обязательно требуется увеличение потребления энергии.

Алюминиевые заводы получают свою продукцию электрохимическим способом – электролизом расплавленных солей по методу Эру-Холла. Новейшие технологии получения алюминия в сверхмощных электролизерах с обожженными анодами значительно эффективнее технологии с электролизерами Содерберга, однако обе они имеют один существенный недостаток – отсутствие современных автоматизированных систем контроля полезного использования электроэнергии, в т.ч. диагностики электролизеров с функциями непосредственного онлайн-контроля электрической проводимости и электромагнитного поля шинопроводов.

Для эффективного контроля указанных параметров необходима новая конструкция (модель) системы управления и контроля, следящая за полезным потреблением электроэнергии и ее непроизводительными потерями. Комплексное использование современных инструментов слежения позволит контролировать качество ведения энергетического режима электролизных серий, а способность системы видеть и учитывать эти параметры позволят оказать существенное воздействие на качество технологического процесса электролиза и количество выпущенного металла.

II. Постановка задачи

Процесс электролиза можно представить упрощенной моделью, в которой слой расплавленного металла, наработанный на подине электролизера, служит катодом. Над слоем расплавленного металла находится слой расплавленного электролита, в который погружается самообжигающийся или обожженный угольный анод. Расплавленный металл и расплавленный электролит разделены между собой границей, на которой происходит электролитическая диссоциация, процесс массопереноса металла из расплава. Ток подводится к аноду и, проходя через электролит, производит разложение глинозема в расплаве с выделением металла алюминия на катоде электролизера. Далее, проходя через конструктивные токоведущие элементы катода, через гибкие катодные спуски ток «стекает» на катодную ошиновку, которая определенным образом соединена с анодной ошиновкой следующего в серии электролизера.

Основную роль в формировании электромагнитного и электрического баланса электролизеров играют проводимость, распределение и плотность тока в цепях анодных и катодных шинопроводов. Электрический ток подводиться к аноду электролизера по анодной шине от вертикальных анодных стояков, соединенных с катодной ошиновкой предыдущего электролизера по определенной схеме. Учитывая, что воздействие электромагнитного поля ошиновки оказывает прямое влияние на качество электролитического процесса, схема подключения анода и катода распределяет электрические токи по шинам таким образом, чтобы компенсировать вредные электромагнитные поля, вызывающие нестабильные и вредные гидродинамические процессы в электролизерах.

III. Разработка пространственно-распределенного датчика электромагнитного поля

В качестве блока управления разрабатываемого устройства (в лабораторных целях) целесообразно использовать микроконтроллер Arduino – Arduino MEGA. Это связано с низкой ценой, а также с использованием данного прибора на макете электролизера, где мощность электромагнитных токов не столь велика. Для идентификации магнитного поля в пространстве будем применять равноудалено-расположенные датчики Холла SS49E. Жесткая фиксация местоположения датчиков даст возможность идентификации электромагнитного поля в

фиксированных координатах декартовой сетки, что позволит в достаточной мере точно определить вектора электромагнитной напряжённости. Для уменьшения количества соединений между датчиками Холла и платой управления в цепь интегрированы мультиплексоры CD4052BE. Они позволили сократить число используемых цифровых входов и существенно разгрузить монтажную плату от лишних соединительных элементов. Все элементы последовательно размещены на текстолитовой плате.

Для микроконтроллера написана соответствующая программа опроса указанных датчиков. Опрос датчиков происходит параллельно по координате X. Фрагмент кода, осуществляющий опрос датчиков, представлен ниже:

```
float voltage1 = (analogRead(A1) * 5.0)/1024.0;
float voltage2 = (analogRead(A2) * 5.0)/1024.0;
HALL_data[i] = (voltage0-AVRG_VOLT)*mV_OUT;
HALL_data[i+(1*4)] = (voltage1-AVRG_VOLT)*mV_OUT;
HALL_data[i+(2*4)] = (voltage2-AVRG_VOLT)*mV_OUT;
```

Данные с разработанного датчика поступают на персональный компьютер по средствам интерфейса USB. Для ПК на языке Delphi разработан программный комплекс, осуществляющий получение информации с микроконтроллера через интерфейс COM+:

```
begin
  CommPortDriver1.BaudRateValue:=9600;
  CommPortDriver1.PortName:='\\.\Com4';
  CommPortDriver1.DataBits:=db8BITS;
  CommPortDriver1.Connect;
  if CommPortDriver1.Connect=true then
    begin
    radiobutton1.Checked:=true;
    end
 end;
```

Полученные данные формируют таблицы для расчета векторов напряженности. Фрагмент программного кода построения таблиц представлен ниже:

```
for j1 := 2 to mas3-2 do
    begin
    elements[i1,j1]:=elements2[j1-2+(mas+1)*(i1-2)];
    end;
 for I1 := 0 to 1 do
   for j1 := 0 to mas3 do
     elements[i1,j1]:=0;
 for I1 := mas3-1 to mas3 do
   for j1 := 0 to mas3 do
     elements[i1,j1]:=0;
```

После формирования таблицы векторов происходит визуальное отображение идентифицированного электромагнитного поля. Для решения этой задачи используется класс GLGraph. Пример его использования для оси X можно представить следующим фрагментом:

```
label3.Caption:=inttostr(count);
datepack := copy(data, 1, count);
delete(data, 1, length(datepack));
Memo1.Lines.Add(datepack);
Memo1.text := Memo1.Text + datepack;
data := copy(data, count+1, length(data));
i := strtoInt(datepack[1]) +1;
j := strtoInt(datepack[3]) +1;
count := LastDelimiter(':', datepack);
count := length(datepack) - LastDelimiter(':', datepack) -1;
test_str := (copy(datepack, LastDelimiter(':', datepack) + 1, length(datepack) - 1 - LastDelimiter(':', datepack)));
napr := strtofloat(copy(datepack, LastDelimiter(':', datepack) + 1, length(datepack) - 1 - LastDelimiter(':', datepack)));
datepack := AnsiStrRScan(datepack, ':');
elements[i,j] := napr;
```

Для построения по осям У и Z программный код выглядит идентично. Для расчета векторов напряженности используется классы Thread, GLVectorGeometry, GLVectorTypes, GLWin32Viewer. Пример расчетного фрагмента выглядит следующим образом:

```
procedure TForm1.Formula3_1(const x, y: Single; var z: Single;
  var color: TColorVector; var texPoint: TTexPoint);
begin
z:=0.5/(1-StrToFloat(hide_label1.Caption)+VectorNorm(GLSphere1.position.X-x, GLSphere1.position.Y-y));
end;
```

Программный код формирует векторы падения токов относительно исследуемой точки. В конечном счете, точный расчет данного вектора позволяет определить движение токов и, как следствие, дает возможность разработать систему управления электромагнитным полем.

IV. Численный пример

В рамках проводимого исследования проведен ряд экспериментов для идентификации электромагнитного поля. В качестве генератора электромагнитного поля использовались реостат, дроссель и электромагнит. Методика эксперимента заключалась в определении уровня воздействия на датчик электромагнитного поля, графическом отображении структуры электромагнитного поля. Основная задача эксперимента – подтвердить принципиальную возможность идентификации электромагнитного поля.

Электромагнитное поле, формируемое дросселем, показало наибольшую неоднородность. Это связано с конфигурацией токовых катушек, расположенных внутри дросселя. Для детального отображения продемонстрируем пространственно-распределенное электромагнитное поле в графическом виде на рис. 1.

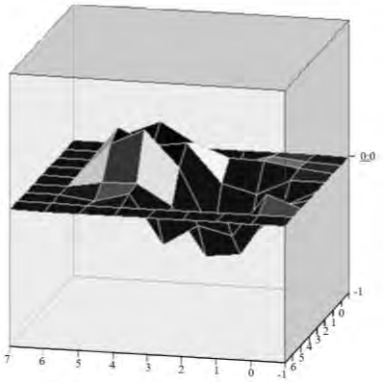


Рис. 1.

Как видно из графика, в сформированном поле есть точки перегиба. Очевидно, они имеют место быть из-за отсутствия у дросселя сердечника. Из рисунка видно, что область, в которой должен быть расположен сердечник, находится в границах датчиков 1:3; 1:2; 1:1; 2:3; 2:2; 2:1; 3:3; 3:2; 3:1. Проведем расчет падения токов и построим вектора напряженности электромагнитного поля. Результат построения векторов можно увидеть на рис. 2.

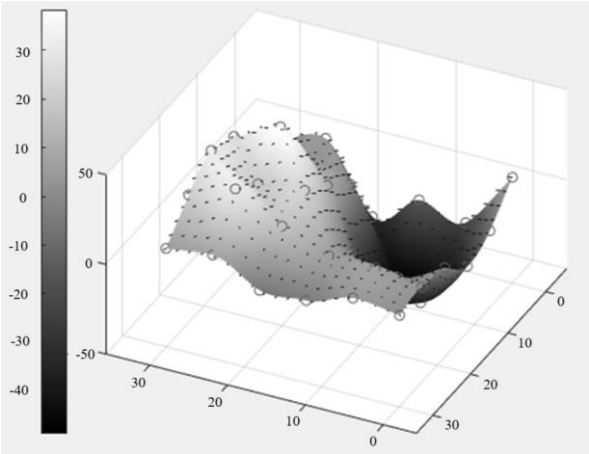


Рис. 2.

Таким образом, гипотеза о возможности идентификации электромагнитного поля подтверждена.

V. Заключение

При анализе реального состояния электромагнитного поля на производстве используются токовые клещи. Результат их замера заноситься в таблицу и в последующем создаётся карта электромагнитного поля. Время на создание данной карты составляет до 4 часов. В современном электролизере время наработки алюминия составляет до 12 часов. Очевидна огромная погрешность данной методики расчета. В рамках данного исследования разработан датчик пространственно-распределенного динамического электромагнитного поля и программное обеспечение, необходимое для сбора, анализа и визуализации результатов измерений. Проведено множество экспериментов, в результате которых получены следующие результаты.

1. Подтверждена принципиальная возможность идентификации электромагнитного поля, формируемого электролизером.
2. Разработан программно-аппаратный комплекс диагностики электромагнитного поля.
3. Разработанный алгоритм расчета векторов напряженности электромагнитного поля позволит создавать карту электромагнитного поля в режиме реального времени, и, как следствие, диагностировать электромагнитные и тепловые процессы в электролизере.

Разработанная программно-аппаратная система позволяет существенно сократить время на диагностику электромагнитного поля. Полученные данные могут являться основой для создания регрессионных моделей, что является предметом дальнейшего исследования.

Список литературы

[1] Martirosyan, A.V., Ilyushin, Y.V., Afanaseva, O.V. Development of a Distributed Mathematical Model and Control System for Reducing Pollution Risk in Mineral Water Aquifer Systems, Water (Switzerland), 2022, 14(2), 151

[2] Golovina, E., Karennik, K. Modern trends in the field of solving transboundary problems in groundwater extraction// Resources, 2021, 10(10), 107

[3] Asadulagi, M.M., Vasilkov, O.S. The Use of Distributed and Lumped Type Controllers for the Hydro-lithospheric Process Control System of the Kislovodskoye Field// Proceedings of 2019 3rd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2019, 2019, стр. 7–10

[4] Asadulagi, M.M., Ioskov, G.V., Tronina, E.V. Synthesis of Lumped and Distributed Controllers for Control System of Hydrodynamic Process// 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019, 2019, 8933859

[5] Pershin, I.M., Kukharova, T.V., Tsapleva, V.V. Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials/ Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1728(1)

[6] Golovina, E. Environmental peculiarities of transboundary groundwater management International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 2019, 10(2), стр. 511–519

[7] Golovina, E.I. Problems of Groundwater Extraction from Transboundary Aquifers and Complexes// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 151(1), 012007

[8] Sidorenko, A.A., Dmitriev, P.N., Sirenko, Y.G. Predicting Methane Emissions from Multiple Gas-Bearing Coal Seams to Longwall Goafs at Russian Mines// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2021, 16(8), стр. 851–857

[9] Kirsanova, N., Lenkovets, O., Hafeez, M. Issue of accumulation and redistribution of oil and gas rental income in the context of exhaustible natural resources in arctic zone of russian federation// Journal of Marine Science and Engineering, 2020, 8(12), стр. 1–19, 1006

[10] Rogachev, M.K., Nguyen Van, T., Aleksandrov, A.N. Technology for preventing the wax deposit formation in gas-lift wells at offshore oil and gas fields in Vietnam// Energies, 2021, 14(16), 5016

[11] Matrokhina, K.V., Makhovikov, A.B., Trofimets, E.N. Ensuring information security in corporate communication systems// E3S Web of Conferences, 2021, 266, 09001

[12] Martirosyan, A.V., Martirosyan, K.V., Grudyaeva, E.K., Chernyshev, A.B. Calculation of the Temperature Maximum Value Access Time at the Observation Point Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, 2021, стр. 1014–1018

[13] Kryltcov, S., Makhovikov, A., Korobitcyna, M. Novel approach to collect and process power quality data in medium-voltage distribution grids// Symmetry, 2021, 13(3), 460

[14] Kukharova, T.V., Utkin, V.A., Pershin, I.M. Modeling of a Decision Support System for a Psychiatrist Based on the Dynamics of Electrical Conductivity Parameters/ Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, 2021, стр. 975–978

[15] Vakhnin, N.A., Makhovikov, A.B., Sharok, V.V. Socio-psychological evaluation of sports activity as factor of students' satisfaction with university academic service// Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury, 2020, 2020(3), стр. 43–45

[16] Ilyushin, Y., Afanaseva, O. Spatial Distributed Control System Of Temperature Field: Synthesis And Modeling/ ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2021, 16(14), стр. 1491–1506

Разработка информационной системы мониторинга тепловых полей распределенной системы управления

И. М. Новожилов, Е. М. Михайлова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

А. Н. Ильюшина
Санкт-Петербургский технический колледж управления и коммерции

УДК 681.5

***Аннотация*. В рамках работы проанализирована технологическая схема информационных потоков сложного многопараметрического объекта управления. Составлена концептуальная модель распределенной системы, сформирована математическая модель. Для подтверждения математической модели разработан программно-аппаратный комплекс мониторинга теплового поля. Разработанный комплекс мониторинга является унифицированным и позволяет производить диагностику тепловых полей нефтегазового оборудования, печей Содерберга и других сложным систем управления.**

Ключевые слова: нефть, системный анализ, моделирование, управление

I. Введение

Нефть является главным энергетическим ресурсом, а также сырьём для изготовления различных видов продукции. На сегодняшний день лидером в нефтедобыче являются Соединённые Штаты Америки. Согласно статистике Joint Organisations Data Initiative (JODI), в июне 2020 года США увеличили добычу на 9 % по сравнению с маем, до 10.897 млн. баррелей нефти в сутки. Российское производство сократилось по сравнению с маем на 15 тыс. баррелей (– 0.17 %) до 8.376 млн баррелей в сутки. На третьем месте по добыче находится Саудовская Аравия, которая добывала в июне 7.484 млн баррелей в сутки, это на 11.8 % меньше, чем месяцем ранее. Доля российской нефтедобычи в мире на сегодняшний день составляет 12.7 %. Многие месторождения находящиеся в стадии эксплуатации находятся в северной части страны, и, как следствие, процесс нефтедобычи осложняется образованием асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в нефтепромысловом оборудовании. Данные отложения формируются в основном по причине застывания в нефти парафинов и асфальтенов при низких температурах. Данные вещества оседают на стенках труб, уменьшая их проходное сечение, создавая пробки, приводящие к преждевременному ремонту оборудования и издержкам за счёт простоя скважин. Таким образом, и добыча нефти в арктической зоне будет неразрывно связана с проблемой образования АСПО. Поэтому исследования данной области, поиск новых путей в борьбе с асфальтосмолопарафиновыми отложениями, анализ методов альтернативного использования отложений являются, несомненно, актуальным направлением.

II. Описание технологического процесса

Рассмотрим технологический процесс, характерный для герметизированного сбора нефти и попутного газа на нефтепромыслах. Через нагнетательные скважины при необходимости в пласт подаётся вода для поддержания величины давления в нужном диапазоне.

Нефть поднимается по насосно-компрессорным трубам (НКТ) через добывающие скважины и через фонтанную арматуру по выкидным линиям отправляется в автоматизированную групповую замерную установку (АГЗУ). В АГЗУ осуществляется мониторинг дебита скважин, контроль технологического режима скважин. Изменения в режиме работы скважин могут сигнализировать о необходимости ремонта нефтедобывающего оборудования. Далее нефть поступает в дожимную насосную станцию (ДНС), где с помощью специальной установки осуществляется предварительный сброс воды. Эта вода впоследствии может использоваться в нагнетательных скважинах. Также в ДНС присутствует газосепаратор, который отфильтровывает попутный газ. Полученный газ может использоваться в качестве топлива для работы нефтедобывающего комплекса. Дожимная насосная станция также увеличивает давление в трубах для того, чтобы отправить сырьё в цех подготовки и перекачки нефти (ЦППН). По трубопроводу от скважин газонефтяная смесь с примесью воды поступает на АГЗУ. В автоматизированной групповой замерной установке каждая из скважин по заданной программе подключается к измерительному устройству. Сначала происходит измерение дебитов жидкости и газа, а затем газожидкостная смесь поступает в сепарационную установку, где происходит частичное разделение этих компонентов. Продукция направляется либо по одному трубопроводу в автоматизированную блочную сепарационную установку, отделяющую газ от жидкости (первая ступень сепарации), либо по двум трубопроводам безводной и обводненной нефти транспортируется на центральный пункт подготовки нефти, газа и воды (ЦППН) [2]–[4].

При добыче высоковязких нефтей часто применяются блочные автоматизированные печи, подогревающие нефть для нормальной работы ГЗУ и её транспортировки до ЦППН. В условиях, когда наблюдаются низкие буферные давления добывающих скважин, для транспорта нефти по системе используются сепарационные установки с функцией откачки нефти или дожимные насосные станции (ДНС). Из сепарационных установок нефть направляется на следующую ступень – в концевые сепарационные установки. При содержании в

транспортируемой смеси воды свыше 30 % применяются сепарационные установки с функцией предварительного сброса воды. Далее водонефтяная смесь поступает в деэмульсационную установку, где происходят процессы обезвоживания и обессоливания, а затем – в стабилизационную установку для извлечения из нефти легких углеводородных фракций. Товарная нефть учитывается по массе и объёму, а затем откачивается на головные сооружения магистрального нефтепровода. В случае если показатель обводненности нефти, поступившей на пункт, превышает допустимый предел, нефть автоматически возвращается в деэмульсационную установку для повторной обработки.

Выделившийся из нефти газ компрессорными станциями подается на газоперерабатывающий завод и на газораспределительные пункты, откуда поступает на нефтяные скважины, эксплуатируемые газлифтным способом. Вода, выделившаяся из водонефтяной смеси, передаётся к установкам очистки пластовых вод, где происходит её очищение и дальнейшее использование в системе поддержания пластового давления. С данных установок вода также подается на блочные автоматизированные кустовые насосные станции, откуда передаётся для подачи в нагнетательные скважины.

III. Проблема исследования

Как уже было сказано ранее, важными факторами, осложняющими добычу нефти на территории Российской Федерации, являются труднодоступность запасов, климатические условия, глубина залегания нефти, удалённость нефтяных месторождений от основных потребителей, и, как следствие, высокая себестоимость нефти. На настоящий момент нефтяная политика поощряет добычу нефти из труднодоступных путём установления высоких субсидий и налоговых льгот. Поэтому основная тенденция нефтедобычи движется в направлении разработки месторождений трудноизвлекаемых запасов.

По своей природе нефть является сложнодисперсной системой. Благодаря наличию смол и асфальтенов, а также различному их соотношению, нефть может обладать разными физико-химическими характеристиками. Молекулы асфальтенов находятся в коллоидном виде, они являются центрами притяжения и осаждения растворённых в нефти смол, совместно образуя с ними сложные комплексы. В свою очередь данные комплексы взаимодействуют с молекулами жидких углеродов, формируя отложения на поверхностях нефтепромыслового оборудования.

В условиях низких температур (когда температура ниже температуры кристаллизации парафинов) происходит коагуляция мельчайших парафиновых частиц с вышеупомянутыми асфальтеносмолистыми комплексами. Когда же температура достигает значений гораздо ниже 24–36°C, происходит формирование непосредственно асфальтосмолопарафиновых отложений.

Выделим две основные стадии образования и роста асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтепромысловом оборудовании.

1. Формирование центров кристаллизации и оседание кристаллов парафина на поверхности оборудования.

2. Формирование на уже покрытой парафином поверхности оборудования более крупных образований.

К числу факторов, оказывающих наиболее сильное влияние на образование АСПО можно отнести:

- интенсивное газовыделение;
- снижение температурных показателей;
- нарушение гидродинамического равновесия газожидкостной системы;
- состав углеводородов;
- соотношение объёмов фаз;
- состояние поверхности нефтедобывающего оборудования.

Существует зависимость, отражающая интенсивность формирования АСПО. Данный процесс зависит от множества величин и факторов, причем зависимость эта иногда прямая, а порой носит сложный характер.

IV. Разработка информационной системы

Автоматизацию производственного процесса многих промышленных предприятий в общем случае можно представить в виде пятиуровневой пирамиды. Нефтедобывающие предприятия не являются исключением, так как технологический процесс нефтедобывающей отрасли характеризуется высокой сложностью и подлежит автоматизации и оптимизации.

На верхнем пятом уровне (Manufacturing Resource Planning или Enterprise Resource Planning) осуществляется основное планирование ресурсов предприятия, происходит создание информационных структур, предназначенных для анализа работы предприятия. Также на данном уровне производится автоматизация бухгалтерского учёта, управления финансами и материально-техническим обеспечением, организацией документооборота.

Четвёртый уровень автоматизированной информационной системы управления предприятием (Manufacturing Execution Systems) является важным связующим звеном в представленной иерархии. На данном уровне осуществляется обработка информации о процессе производства на различных участках, обеспечивается управление качеством технологических процессов. Посредством MES-уровня с нижних уровней первичная информация передаётся на верхний уровень планирования ресурсов всего предприятия, а также обеспечивается оптимизация управления ресурсами производства в соответствии с заданиями, поступающими с верхнего уровня.

На третьем уровне *(Supervisory Control and Data Acquisition)* осуществляется диспетчеризация систем сбора данных и оперативное управление технологическим процессом, принимаются тактические решения. Также на SCADA-уровне осуществляются расчёт и выбор законов управления, хранение и загрузка управляющих программ в программно-логические контроллеры (ПЛК), ведение единой базы данных технологического процесса в реальном времени, реконфигурация комплекса для выбранного режима работы, контроль состояния оборудования на первом уровне и др.

Второй уровень (Control) используется для непосредственного управления производственным процессом с помощью устройств связи с объектом (УСО), ПЛК, и промышленных компьютеров *(PC,*

ПК). Данный уровень характеризуется высокой надёжностью, возможностью автономной работы при отказах комплексов управления на верхних уровнях, функциональной полнотой взаимодействия с нижним уровнем.

Первый уровень (Input/Output) является набором датчиков, исполнительных механизмов и других устройств, используемых для сбора первичной информации и реализации управляющих воздействий.

В рамках решения поставленной задачи именно уровень датчиков представляет особый интерес для исследования.

V. Методика проведения эксперимента

С целью осуществления более детального анализа распределения температурного поля в насосно-компрессорной трубе нефтяной скважины актуальна задача разработки системы мониторинга температурного поля, которая позволила бы получить набор данных для статистической обработки и визуализировать их. Регрессионная модель, полученная на основе экспериментальных данных, может давать представление о процессе изменения температурного поля более приближенное к реальному, нежели аналитическая модель, которая в свою очередь отражает идеальный или же эталонный вариант распределения температуры внутри НКТ [6]–[9].

Макет установки включает в себя следующие составляющие: непосредственно систему мониторинга температурного поля, металлическую трубу с заглушкой, термос для поддержания относительно высокой температуры в нижней части трубы, емкость для льда, закреплённая в верхней части трубы. Труба заключена в теплоизоляционную оболочку для того, чтобы процесс её остывания происходил медленнее, и возможно было получить приблизительные данные установившегося температурного режима.

Процесс проведения эксперимента можно разделить на следующие основные этапы:

1. Сборка установки: собранная заранее система мониторинга температурного поля объектов присоединяется к металлической трубе. Датчики закрепляются на трубе на равных расстояниях друг от друга.
2. Труба помещается в теплоизоляционную оболочку и закрепляется в вертикальном положении с помощью треноги.
3. Затем труба прогревается изнутри горячей водой для того, чтобы при измерениях получить более широкий диапазон значений, уменьшая отдачу тепла, уходящего на прогрев трубы. Вода после первого прогрева сливается.
4. Система мониторинга температурного поля подключается к компьютеру.
5. Нижняя часть трубы с заглушкой помещается в термос с горячей водой, в ёмкость, закреплённую в верхней части трубы, помещается лёд.
6. Внутрь трубы до её основания помещается пластиковая трубка, через которую вливается горячая вода той же температуры, что и внутри термоса. Необходимость наличия пластиковой трубки объясняется тем, что трубу нужно прогревать снизу-вверх, иначе данные будут являться некорректными. Если вливать горячую воду в трубу сверху без пластиковой трубки, то теплоотдача будет происходить сначала в верхней части трубы, и, дойдя до основания трубы, вода уже будет иметь более низкую температуру, но корректная модель требует распределения температуры таким образом, чтобы нижняя часть трубы была более горячей, а верхняя более холодной, что будет имитировать распределение температурного поля на участке НКТ, где ближе к забою скважины наблюдаются более высокие значения температуры, а чем ближе к устью – тем более низкие.
7. Система мониторинга температурного поля подключается к компьютеру и запускается сбор данных.
8. При достижении значения температуры 30 градусов (приблизительная температура насыщения нефти парафином) на самом нижнем датчике сбор данных прекращается, так как дальнейшие данные не имеют ценности для построения модели.
9. Обработка полученных данных и разработка регрессионной модели.

VI. Эксперимент

После упорядочивания адресов в скетче Arduino, система мониторинга температурного поля полностью готова к работе.

Далее была запущена специально разработанная программа, с помощью которой осуществляется сбор данных по каждому датчику и происходит их последующая обработка. Запись данных происходит до тех пор, пока на нижнем датчике, не будет достигнута температура насыщения (в данном случае была выбрана температура 30 ^{o}C). Это обосновано тем, что для построения модели необходимо получить массив данных, характеризующий смещение точки начала кристаллизации парафинов в зависимости от температур в верхней и нижней частях трубы. То есть, данные после момента, когда температура насыщения будет достигнута в самой горячей части трубы, не актуальны.

Построение регрессионной модели. После запуска системы начинается анализ и обработка полученных данных. Для того, чтобы построить регрессионную модель, необходимо выбрать из полученной ранее базы данных определённые строки, вычислить, на какой высоте будет находиться точка начала кристаллизации парафинов при различном распределении температурного поля.

Теоретически по проекциям точек пересечения графиков распределения и температуры насыщения на ось x можно построить график, на основе приближения к которому разрабатывается регрессионная модель, отражающая зависимость положения точки начала кристаллизации в зависимости от температур на концах трубы. Точки графика, к которому будет осуществляться приближение, можно найти вручную, а непосредственно модель построить с помощью инструмента среды MS Excel «Регрессия». Таким образом, уравнение предполагаемой модели можно представить в виде:

$$y = 175.85248 + 0.00895 \cdot x_1 - 2.05635 \cdot x_2,$$

Коэффициент детерминации данной регрессионной модели составил 0.95, что свидетельствует о достаточной её точности.

Тем не менее, было принято решение создать программу, которая будет автоматически строить уравнение регрессии и находить положение точки начала кристаллизации на основе данных, полученных с помощью системы мониторинга температурного поля объектов, и некоторых входных параметров. При создании данной программы стояла не только задача описания механизма построение модели, но и задача выявление тех точек, на основе приближения к которым и будет строиться модель. Для этого была создана специальная функция с составным типом данных, результатом вычисления которой является непосредственно искомая высота точки, а также значения температуры на крайних датчиках системы. Аналогичным образом заполняются остальные элементы массивов вплоть до задействования функцией первого поля таблицы данных.

Далее, чтобы получить уравнение регрессии, отражающее влияние температуры на концах трубы, на положение точки температуры начала кристаллизации, будем оперировать полученными массивами данных. Необходимо просуммировать элементы внутри массивов, где хранятся значения влияющих факторов и результирующего признака, а также внутри массивов, элементы которых являются произведениями рассматриваемых значений. Затем, используя полученные суммы, нужно составить систему уравнений следующего вида:

$$\begin{cases} \sum y_i = n \cdot b_0 + b_1 \cdot \sum x_{1i} + b_2 \cdot \sum x_{2i} \\ \sum x_{1i} \cdot y_i = \sum x_{1i} \cdot b_0 + b_1 \cdot \sum x_{1i}^2 + b_2 \cdot \sum x_{1i} \cdot x_{2i} \\ \sum x_{2i} \cdot y_i = \sum x_{2i} \cdot b_0 + b_1 \cdot \sum x_{1i} \cdot x_{2i} + b_2 \cdot \sum x_{2i}^2 \end{cases},$$

где x_1 и x_2 – факторы (значения температуры на самом нижнем и самом верхнем датчиках соответственно); y – результирующий признак (положение точки начала кристаллизации); n – количество элементов массива; b_0, b_1, b_2 – искомые коэффициенты уравнения.

Чтобы получить коэффициенты уравнения регрессии, необходимо решить приведённую ранее систему уравнений. В данной программе решение осуществляется методом Крамера. Для этого формируются четыре матрицы, с помощью специально созданной функции вычисляются их определители, а затем выполняется непосредственно расчёт искомых коэффициентов. В результате работы программы были получены следующие коэффициенты уравнения регрессии.

Таким образом, полученное уравнение регрессии принимает следующий вид:

$$y = -17.28 + 2.23 \cdot x_1 + 0.50 \cdot x_2$$

VII. Заключение

Важность нефти в современном обществе чрезвычайно высока. Ежегодно наблюдается рост темпов добычи. Вместе с тем эксплуатируемые месторождения не способны в полной мере обеспечить потребности рынка. В этих условиях нефтедобывающем компаниям необходимо осуществлять добычу из ранее законсервированных и не эксплуатируемых месторождений. Большая их часть считалась не рентабельной из-за высокого содержания парафиновых отложений, препятствующих добычи. В данной статье межвузовский коллектив авторов при содействии обучающихся попытался проанализировать существующую проблематику исследования. Проанализировав и получив уравнения зависимости температурного поля от скорости и начальной температуры потока нефти, показал возможность разработки автоматизированных систем управления в данной отрасли. К основным выводам данной работы следует отнести:

1. Получена математическая модель потока нефти
2. Получена экспериментальная регрессионная модель потока нефти.
3. Разработан программно-аппаратный комплекс мониторинга потока высокопарафинистой нефти.
4. Сделаны математические и экспериментальные выводы о виде и свойствах нефтяного потока.

Данные исследования являются промежуточным этапом для разработки унифицированных систем диагностики нефтепромыслового оборудования.

Список литературы

[1] Martirosyan, A.V., Ilyushin, Y.V., Afanaseva, O.V. Development of a Distributed Mathematical Model and Control System for Reducing Pollution Risk in Mineral Water Aquifer Systems, Water (Switzerland), 2022, 14(2), 151.

[2] Sidorenko, A.A., Sidorenko, S.A., Ivanov, V.V. NUMERICAL MODELLING OF MULTIPLE-SEAM COAL MINING AT THE TALDINSKAYA-ZAPADNAYA-2 MINE. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2021, 19(5), pp. 568–574.

[3] Pershin, I.M., Kukharova, T.V., Tsapleva, V.V. Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials/ Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1728(1)

[4] Asadulagi, M.M., Vasilkov, O.S. The Use of Distributed and Lumped Type Controllers for the Hydro-lithospheric Process Control System of the Kislovodskoye Field// Proceedings of 2019 3rd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2019, 2019, pp. 7–10.

[5] Gerasimova, I.G., Oblova, I.S., Golovina, E.I. The demographic factor impact on the economics of the arctic region// Resources, 2021, 10(11), 117.

[6] Sidorenko, A.A., Dmitriev, P.N., Sirenko, Y.G. Predicting Methane Emissions from Multiple Gas-Bearing Coal Seams to Longwall Goafs at Russian Mines// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2021, 16(8), pp. 851–857.

[7] Kirsanova, N., Lenkovets, O., Hafeez, M. Issue of accumulation and redistribution of oil and gas rental income in the context of exhaustible natural resources in arctic zone of russian federation// Journal of Marine Science and Engineering, 2020, 8(12), pp. 1–19, 1006

[8] Golovina, E., Pasternak, S., Tsiglianu, P., Tselischev, N. Sustainable management of transboundary groundwater resources: Past and future// Sustainability (Switzerland), 2021, 13(21), 12102

[9] Martirosyan, A.V., Martirosyan, K.V., Chernyshev, A.B. Calculation of the First Switch-on Time of Distributed Object's Control Action Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020, 2020, pp. 750–754.

[10] Meshkov, A.A., Kazanin, O.I., Sidorenko, A.A. Improving the efficiency of the technology and organization of the longwall face move during the intensive flat-lying coal seams mining at the kuzbass mines// Journal of Mining Institute, 2021, 249(5), pp. 342–350.

[11] Lenkovets, O.M. Housing renovation technology and issues of environmental control of renovation programs in Russia//

International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020, 2020-August (5.2), pp. 267–272.

[12] Kirsanova, N.Yu. Assessment of socio-economic development level of single-industry cities in arctic zone of Russian Federation// International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020, 2020-August(5.2), pp. 75–82.

[13] Martirosyan, A.V., Martirosyan, K.V., Grudyaeva, E.K., Chernyshev, A.B. Calculation of the Temperature Maximum Value Access Time at the Observation Point Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, 2021, pp. 1014–1018.

[14] Vasilenko, N., Khaykin, M., Kirsanova, N., Lapinskas, A., Makhova, L. Issues for development of economic system for subsurface resource management in russia through lens of economic process servitization// International Journal of Energy Economics and Policy, 2020, 10(1), pp. 44–48.

[15] Kukharova, T.V., Utkin, V.A., Pershin, I.M. Modeling of a Decision Support System for a Psychiatrist Based on the Dynamics of Electrical Conductivity Parameters/ Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, 2021, pp. 975–978.

[16] Ilyushin, Y., Afanaseva, O. Spatial Distributed Control System of Temperature Field: Synthesis and Modeling/ ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2021, 16(14), pp. 1491–1506.

Построение информационно-аналитических средств киберфизических систем

Д. П. Плахотников
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
dimapl21@yandex.ru

***Аннотация*. Киберфизические системы – комплексное понятие. На сегодняшний день не существует единого определения, поскольку эти системы находятся на пересечении сразу нескольких сфер науки. Но главной характеристикой таких систем, является интеграция между вычислительными процессами и физическими процессами. Это система, непрерывно получающая данные из окружающей среды и использующая их для оптимизации процессов управления.**

Построение информационно-аналитических средств позволяет решить эту задачу. Но необходимо учитывать, что данные поступают с помощью различного рода датчиков и информация может быть получена в различном виде – как в виде сырых текстовых логов, так и виде строк баз данных транзакционных систем. Вопрос интеграции таких данных и аналитики является ключевым в данной статье.

Ключевые слова: киберфизические системы; интеграция данных; аналитические платформы; большие данные

I. Введение

Актуальность построения информационно-аналитических средств киберфизических систем обусловлена непрекращающимся развитием таковых. В настоящее время происходит массовое внедрение киберфизических систем в производство и промышленность [1].

В свою очередь информационно-аналитические средства являются неотъемлемой частью киберфизических систем, поскольку применение их с новыми технологиями, такими как получение и обработка больших данных, применение искусственного интеллекта, помогает внедрять новые возможности.

В докладе описан метод и пример построения информационно-аналитических средств для сопровождения функционирования объектов топливно-энергетического комплекса, являющихся физической моделью для киберфизических систем.

Для обеспечения гарантированного функционирования технологического объекта предлагается анализ ошибок состояния. Это помогает решить проблему своевременного выявления, оценки и прогнозирования факторов риска работы киберфизической системы, что позволяет вовремя устранять причины нештатных ситуаций до возникновения неполадок и других нежелательных последствий.

Систематическая и непрерывная оценка критических параметров объектов топливно-энергетического комплекса в режиме реального времени дает точную оценку текущего состояния объекта.

В свою очередь, прогнозирование параметров киберфизической системы позволяет предугадать будущее состояние системы и принимать более точные управленческие решения.

II. Определение понятия киберфизической системы

Хелен Джилл, директор Национального научного фонда по встроенным и гибридным системам США, впервые применил термин «киберфизические системы» в 2006 году. Данный термин был предназначен для определения комплексов, содержащих природные объекты, искусственные подсистемы и контроллеры [2]. Данные системы обязаны были решить проблему модернизации и оптимизации производственных процессов, за счёт реформации организации управления.

Главная идея разработки киберфизических систем состояла в близкой взаимосвязи вычислительных и физических процессов, причём физические объекты так же включались в проектируемые системы и преобразовывались в составную часть.

Внедряемые информационные технологии и встроенные системы сами по себе, непосредственно, не производят материальные объекты. В этом и обусловливалась особенность функционирования киберфизических систем.

То есть киберфизические системы – это системы, состоящие из разных объектов физического мира, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое формирование как единое целое. В киберфизических системах обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами.

Киберфизические системы появились не сразу. До этого были распределительные системы, цифровые системы, интегрированные системы, робототехнические системы, сетевые системы. Все они прошли развитие и были интегрированы в одну структуру – киберфизическую систему [3]. Путь развития киберфизических систем представлен на рис. 1.

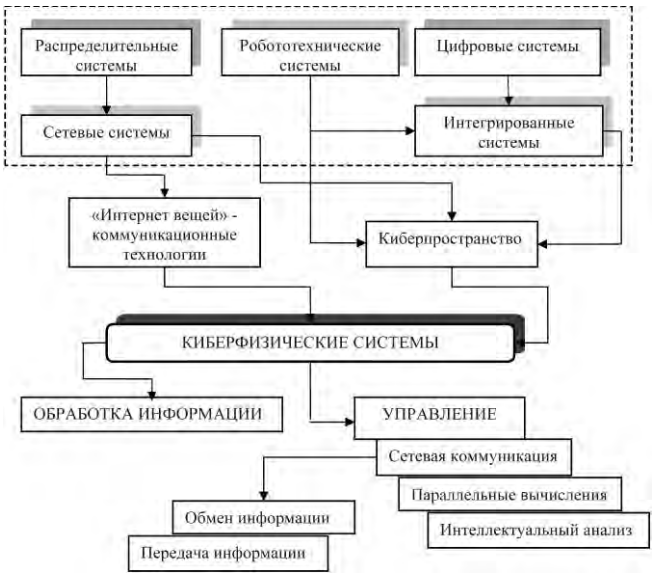


Рис. 1. Эволюция киберфизических систем

С технической точки зрения, киберфизические системы имеют много общего со структурами типа «грид», реализуемыми посредством интернета вещей, промышленного интернета вещей, межмашинного взаимодействия, туманного и облачного компьютинга. Для этих сложных систем требуются новые кибернетические подходы к моделированию, поскольку именно модели являются центральным моментом в науке и инженерии.

III. Архитектура киберфизических систем

Зачастую киберфизические системы ориентированы на то, чтобы каким-либо образом управлять окружающей средой. Киберфизические системы объединяют информацию от интеллектуальных датчиков, распределенных в физической среде, для лучшего понимания среды и выполнения более точных действий.

В физическом контексте исполнительные элементы на основе получаемых данных вносят изменения. Эти изменения фиксируются датчиками и передаются в вычислительный блок. В данном случае этот вычислительный блок представлен информационно-аналитическим сервисом. Далее по результатам вычисления вносятся изменения в исполнительные элементы. Схематически, архитектура киберфизической системы представлена на рис. 2.

Рис. 2. Архитектура киберфизической системы

IV. Информационно-аналитические средства

Компания Gartner ежегодно определяет требования, которым должны удовлетворять современные Business Intelligence и иные аналитические платформы, оценивает сильные и слабые стороны продуктовых линеек и предлагает свой рейтинг издателей на данном рынке [4].

Из лидеров была выбрана платформа Qlik – универсальная платформа для автоматизации разработки и использования аналитических приложений для широкого круга сценариев. Платформа основана на современных веб-технологиях (HTML5 – WebSockets, Cascading Style Sheets 3 (CSS3), JavaScript Object Notation (JSON), Scalable Vector Graphics (SVG)), использует средства интуитивной разработки приложений и интеллектуальные инструменты визуализации.

Данная платформа поддерживает технологию анализа данных DAR (Dashboard, Analysis and Reporting): структура аналитических приложений строится таким образом, что пользователь переходит от веб-страниц с общими ключевыми показателями (Dashboard) к веб-страницам с детализированным отчетно-аналитическими (Analysis) и специализированными справочными данными (Reporting).

Dashboard отображает только самую необходимую информацию для понимания полной картины в целом и является наименее интерактивной частью аналитического приложения. Страницы, посвященные анализу, являются более интерактивными и предназначены для полноценного исследование данных. Reporting предлагает наиболее детальную информацию в виде таблиц.

Многие приложения строятся именно по технологии DAR, поскольку эта технология позволяет быстро выявлять проблемные вопросы на высоком уровне, а далее – углубиться в анализ причин отклонений, переходя в соответствующие разделы (к нужным страницам) аналитического приложения с отчетно-аналитическими и специализированными справочными данными.

Помимо вышеперечисленного, платформа включает в себя ETL-инструментарий (Extract-Transform-Load), который имеет свыше 200 встроенных функций для фильтрации, объединения и выполнения сложных операций над данными для загрузки их напрямую из различных источников. Источниками данных могут являться являются текстовые файлы (формата *.txt, *.csv), электронные таблицы (*.xlsx), реляционные базы данных (Oracle SQL, MySQL, Microsoft SQL), данные доменных служб Active Directory. Получение данных и их обработка происходит через специальный ETL процесс. В нём есть возможность обработать данные во время загрузки из источника.

Платформа реализует технологию обработки данных в оперативной памяти («in memory»). Данная технология активно использует три компонента серверных аппаратных ресурсов: оперативная память, центральный процессор и шина данных.

Ассоциативная модель данных, используемая для хранения данных, представляет собой таблицы, связанные по ключевым полям. Она создается динамически в момент загрузки данных, при этом поля с одинаковыми названиями ассоциируются друг с другом. При выборе пользователем значения в одной таблице автоматически выбираются все ассоциированные значения в других таблицах. Для ассоциативной модели не требуются заранее прописанные пути анализа («drill-down»). Она позволяет начинать анализ данных с любого места модели в любом направлении.

В приложении доступны следующие визуализации – информационные панели («dashboards»); произвольные запросы («ad-hoc»); многомерный интерактивный анализ в срезах; кросс-таблицы («pivoting»); анализ «что, если» («what-if»); анализ групп данных; статистический анализ: отслеживание трендов, выявление корреляций, проверка гипотез и другое; моделирование; прогнозирование.

V. Построение информационно-аналитического средства

В качестве реальной киберфизической системы представлена географически распределенная система топливно-энергетического комплекса. Список основных задач для построения информационно-аналитического средства:

- сбор информации;
- обработка полученной информации;
- визуальное отображение;
- прогнозирование показателей.

A. Сбор информации

Для того, чтобы собрать информацию со станций необходимо вначале определить их виртуальное расположение – IP адрес. Все сервера комплекса объединены в единую корпоративную сеть. Был произведен опрос устройств и составлен список серверов для сбора информации в таблицу LOGON [5].

Пример скрипт сбора информации с серверов представлен на рис. 3.

```
for tmp=0 to vRowCount
Trace ----> Опрошен сервер $(tmp) из $(vRowCount);
    Let ScriptErrorCount=0;
    Let vComplex = Peek('Complex',tmp,'LOGON');
    Let vHost = Peek('Host',tmp,'LOGON');
    OLEDB CONNECT TO [Provider=OraOLEDB.Oracle;Data Source='$(vHost)';
    if($(ScriptErrorCount)=0) then
    Call LoadBigFromDB(1,vComplex,vTable,vField,vSelect,1);
    EndIf;
Next tmp
```

Рис. 3. Скрипт сбора информации

Так же, помимо информации о ошибках необходимо получить информацию на каком объекте эта ошибка произошла, при каком сотруднике и в какую смену. Для получения данных из базы данных объектов ТЭК написан запрос, представленный на рис. 4.

```
ODBC CONNECT TO [BD-ORACLE;DBQ=complex;];

OPERATORS:
SELECT
    DEVICEID,
    OPERATORID,
    SEED,
    CIPHPASS,
    ISACTIVE,
    DATECHANGED,
    AUTHTYPE,
    GLOBALOPERATORID,
    FULLNAME,
    PASSPORT,
    INN
FROM BD.OPERATORS;

SHIFTS:
SELECT
    DEVICEID,
    SHIFTNO,
    STARTDATETIME,
    OPENEDBYDEVICEID,
    OPENEDBYOPERATORID,
    ENDDATETIME,
    CLOSEDBYDEVICEID,
    CLOSEDBYOPERATORID
FROM BD.SHIFTS;
```

Рис. 4. Запрос в БД справочной информации

B. Обработка полученной информации

После получения данных с ТЭК необходимо их изучить и обработать. Получаемые данные представляют собой текстовое отчеты о работе оборудования в комплексе. Пример полученных исходных данных с серверов комплекса представлен на рис. 5.

```
08.02.2022 18:58:19:237  WARNING: Stopping pump 2
08.02.2022 18:58:19:252  DEBUG:   FuellingPointStatusChanged Id=33 State=10
Substate=0xDF Lock=16
08.02.2022 18:58:19:252  DEBUG:   Pump 2 State received. MainState=10
(FPMS_FUELLING_PAUSED) SubState=0xDF (LOCKED|SPVD|ONLINE|ESTOPPED|BFR|ACT|
PRESET)
08.02.2022 18:58:19:252  DEBUG:   Pump 2 Grade 1 Pistol 1
08.02.2022 18:58:19:252  DEBUG:   Pump 2 State processed. MainState=10
SubState=0xDF Volume=15270 Money=31426
08.02.2022 18:58:20:143  DEBUG:   FuellingPointStatusChanged Id=33 State=3
Substate=0x6E Lock=0
08.02.2022 18:58:20:143  DEBUG:   Pump 2 State received. MainState=3
(FPMS_ERROR) SubState=0x6E (SPVD|ONLINE|ESTOPPED|ERROR|ACT|)
08.02.2022 18:58:20:158  DEBUG:   Clearing pump error:Calculation Error
(18)
08.02.2022 18:58:20:190  DEBUG:   Pump 2 Grade 1 Pistol 1
08.02.2022 18:58:20:190  DEBUG:   Pump 2 State processed. MainState=3
SubState=0x6E Volume=15270 Money=31426
08.02.2022 18:58:20:221  DEBUG:   FuellingPointTransactionChanged
08.02.2022 18:58:20:221  DEBUG:   Processing transaction on FP 2...
08.02.2022 18:58:20:221  DEBUG:   Transaction data FP 2: Volume:1.527000
Amount:31.430000 Filling start:08.02.2022 18:55:03 Trans start
time:08.02.2022 18:55:04 TransIsForCurrentFilling:TRUE
08.02.2022 18:58:20:252  DEBUG:   ReadPumpCounters Pump 2 Pistol 1 Grade 1
Counter=114903.992000
08.02.2022 18:58:20:252  DEBUG:   Locking transaction on FP 2
```

Рис. 5. Исходные данные с ТЭК

Исходная информация представлена в виде строк, содержащих метку времени, тип события (warning – предупреждение, debug – отладка) и текста сообщения с указанием номера колонки (pump) либо текста ошибки. В ходе изучения исходных данных для анализа были выбраны события error – события ошибок оборудования.

Скрипт обработки данных об ошибках представлен на рис. 6.

```
Let vRows=NoOfRows('FolderList')-1;
For tmp=0 to $(vRows)
Let vComplexId=Peek('ComplexId', $(tmp), 'FolderList');
Trace
-----> Обработка $(vComplexId) ($(tmp) из $(vRows));
Let vPath=Peek('UnpackPath', $(tmp), 'FolderList');
Let _Last_FileModify_max=ApplyMap('Map_DomsErrorPeriod','$(vComplexId)',0);
Let Last_FileModify_max=Alt(_Last_FileModify_max,0);
Let _FileModify_max=Last_FileModify_max;
FOR Each vFile in FileList('$(vPath)\*.bak')
Let vFileName=SubField(SubField('$(vFile)','\','-1'),'.bak','1');
Let vFileModify=Timestamp(FileTime('$(vFile)'));
if (vFileModify>Last_FileModify_max) then
Let _FileModify_max=Timestamp(RangeMax('$(_FileModify_max)','$(vFileModify)'));
[_Errors]:
LOAD
    '$(vFileName)'&'_'&RecNo() as RecNo,
    '$(vComplexId)' as ComplexId,
    Date#(SubField([@1],' ',1)) as Date,
    Time(Time#(Trim(SubField([@1],' ',2)),'hh:mm:ss:fff')) as Time,
    Timestamp(Date#(SubField([@1],' ',1))&' '
    &Time(Time#(Trim(SubField([@1],' ',2)),'hh:mm:ss:fff'))) as LogTS,
    TextBetween([@1],'error:',' (') as ErrorText,
    TextBetween([@1],'(',')') as ErrorNum
FROM [$(vFile)]
(txt, utf8, no labels, delimiter is \x0, no quotes)
Where SubStringCount([@1],'error:');
[_Errors_Pump]:
LOAD
    '$(vFileName)'&'_'&(RecNo()-1) as RecNo,
    num(TextBetween([@1],'Error ignored for pump ',')) as PumpNo
FROM [$(vFile)]
(txt, utf8, no labels, delimiter is \x0, no quotes)
Where Previous(SubStringCount([@1],'error:'));
End If;
Next vFile;
```

Рис. 6. Скрипт обработки данных об ошибках

После получения данных с каждого комплекса было выполнено сопоставление данных по списку смен и списку сотрудников. Данное сопоставление выполнено по метке времени события на объекте и метке времени начала и окончания смены. Скрипт сопоставления представлен на рис. 7.

```
Let vCurrent = YearStart('$(vFirst)');
Do while vCurrent<='$(vEnd)';

Let vCM = Date('$(vCurrent)','YYYY');
if(Len(FileSize('Shifts\Shifts_$(vCM).qvd')) > 0) then
SHIFTS:
Load
    ShiftDeviceId as DeviceId,
    ShiftNo,
    StartDateTime,
    EndDateTime,
    [ShiftEmpl_DevId] as Empl_DevId,
    ShiftType
From [$(vQvdGenPath)Shifts\Shifts_$(vCM).qvd] (qvd)
Where StartDateTime>='$(vFirst)'-1 and EndDateTime<='$(vEnd)'+1;
End If;
Let vCurrent=AddYears(vCurrent, 1);
Loop

Inner Join
IntervalMatch (LogTS, DeviceId)
LOAD StartDateTime, EndDateTime, DeviceId
Resident SHIFTS;

Left Join(Errors)
Load
    DeviceId,
    LogTS,
    ShiftNo,
    ShiftType,
    Operator_DevId
Resident SHIFTS;
Drop Table SHIFTS;
```

Рис. 7. Скрипт сопоставления данных

C. *Визуальное отображение*

По обработанным данным построена линейная диаграмма ошибок ТЭК и таблица событий ошибок ТЭК, представленные на рис. 8 и 9.

Рис. 8. Линейчатая диаграмма ошибок ТЭК

Комплекс	Сотрудник	Смена	Метка времени события	ГРК №	Ошибка
168	672	44	01.02.2022 0:02:47	-	Неожиданный запуск насоса
103	326	130	01.02.2022 0:03:08	3	Несоответствие суммарных показателей насосов
103	326	130	01.02.2022 0:03:11	1	Несоответствие суммарных показателей насосов
103	326	130	01.02.2022 0:04:51	4	Несоответствие суммарных показателей насосов
171	20	40	01.02.2022 0:05:09	-	Ошибка вычисления
171	20	40	01.02.2022 0:05:10	5	Несоответствие суммарных показателей насосов

Рис. 9. Таблица событий ошибок ТЭК

D. *Прогнозирование данных*

Для прогнозирования использовался инструмент прогнозирования временных рядов на основе аддитивной модели с учётом сезонности [6].

Результаты прогнозирования представлены в таблице на рис. 10 и на графике, представленном на рис. 11.

Дата	Данные до 08.02.2022	Прогнозируемые значения
05.02.2022	3 559	3 818
06.02.2022	3 174	3 562
07.02.2022	3 931	4 236
08.02.2022	-	4 919
09.02.2022	-	4 767
10.02.2022	-	4 024
11.02.2022	-	4 450

Рис. 10.Таблица прогнозируемого количества ошибок

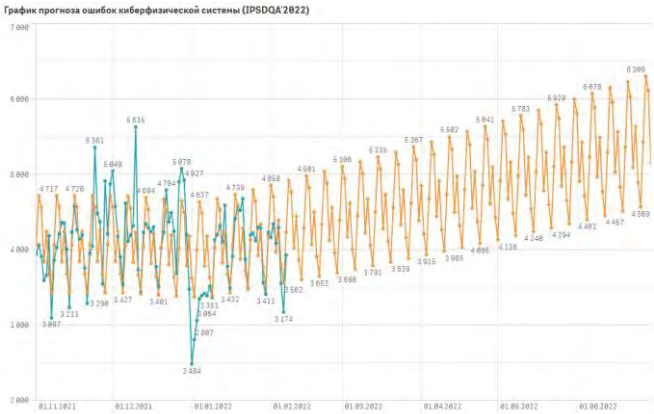


Рис. 11.График прогноза ошибок киберфизической системы

II. Заключение

Киберфизические системы сегодня – это важная составная часть информационной эпохи, их применение способствует повышению производительности трудовых ресурсов и уменьшению рисков простоя и поломки. Построение информационно-аналитических средств позволяет улучшить работу этих систем, провести анализ данных и выполнить прогнозирование.

Применение данных средств крайне эффективно, поскольку проанализировать большой массив данных человек не может, но технологии способны решать нерутинные задачи на высоком уровне.

Список литературы

[1] R.G. Sanfelice. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4822-6333-6.

[2] Ястреб Н.А. Индустрия 4.0: киберфизические системы и интернет вещей. Сборник научных статей. // Мин-во обр. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. / под ред. доц. Н.А. Ястреб. Вологда: ВоГУ, 2015. Выпуск 2. С. 136–143.

[3] D.P. Plakhotnikov and E. E. Kotova, "Design and Analysis of Cyber-Physical Systems," 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2021, pp. 589-593, DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396364.

[4] Gartner 2021 Analytics & Business Intelligence Platforms Magic Quadrant Insights [Электронный ресурс]. – Интернет-сайт. – URL: https://www.gartner.com/en/webinars/3999527/gartner-2021-analytics-business-intelligence-platforms-magic-qua (дата обращения: 10.02.2022).

[5] D.P. Plakhotnikov and E.E. Kotova, "Comprehensive Analysis of Cyber-Physical Systems Data," 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2021, pp. 175-178, DOI: 10.1109/SCM52931.2021.9507112.

[6] D.P. Plakhotnikov, "Ways of Forecasting Cyber-Physical Systems Characteristics," 2021 IV International Conference on Control in Technical Systems (CTS), 2021, pp. 238-241, DOI: 10.1109/CTS53513.2021.9562908.

Анализ и разработка информационной системы идентификации пластового давления в газовой залежи при газовом режиме

А. В. Плотников
ООО «АМТЭЛ»
apvitarlaeda@gmail.com

М. С. Фёдоров
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
mfed.sibur@gmail.com

Аннотация. **Приведены результаты исследования по разработке информационной системы мониторинга изменения пластового давления. Разработана математическая модель процесса истощения залежи природного газа, расположенной в неоднородном пласте. Методом конечных разностей реализована дискретная модель. Получены результаты компьютерного моделирования изменения давления в призабойных зонах скважин.**

Ключевые слова: информационная система; математическая модель; природный газ; компьютерная модель

I. Введение

В условиях быстро развивающегося потребительского рынка, перед производителем остро встаёт вопрос нехватки ресурсов, сырья и материалов. Одним из важнейших сырьевых ресурсов является газ, его добыча, последующая транспортировка и переработка является сложным технологическим процессом, требующим комплексного анализа, мониторинга и прогнозирования как самого технологического процесса, так и параметров, влияющих на данный процесс. Постоянный мониторинг текущих параметров технологического процесса возможен только при создании комплексной информационной модели технологического процесса включающий в себя информационный комплекс сбора и хранения информации, комплекс программных средств, осуществляющих текущий анализ, прогнозирование и принятия управленческих решений по выбору схемы реализации технологического процесса.

На рис. 1 приведена схема информационной системы для управления добычей газа при помощи контроля пластового давления на забоях скважин. Данные о пластовом давлении в призабойных зонах подаются в единую информационную систему, дополняя существующую комплексную математическую модель, уточняя её.

Разработанные математические модели истощения залежи природного газа позволяют проанализировать динамику изменения пластового давления и в дальнейшем провести синтез распределённой системы автоматического управления для контролирования пластового давления в призабойных зонах скважин. Пространственно-распределённые системы управления технологическими процессами являются перспективным направлением исследований, и уже нашли применение в некоторых отраслях. [1–7] Задачи моделирования и анализа систем с распределенными параметрами также важны, так как являются основополагающими для разработки систем мониторинга и управления. [8–13]

Особенности геологического строения газовых месторождений описаны в трудах: Стрижова И.Н., Лейбензона Л.С., Лапука Б.Б., Ahmed T.H., Dake L.R.

Математическое моделирование пластовых систем рассмотрено в трудах: Лейбензона Л.С., Лапука Б.Б., Мирзаджанзаде А.Х., Щелкачёва В.Н., Ahmed T.H., Dake L.R., Першина И.М.

Технические средства мониторинга и управления в добыче природного газа рассмотрены в трудах: Андреева Е.Б., Горева С.М., Ерёмина Н.А., Праховой М.Ю.

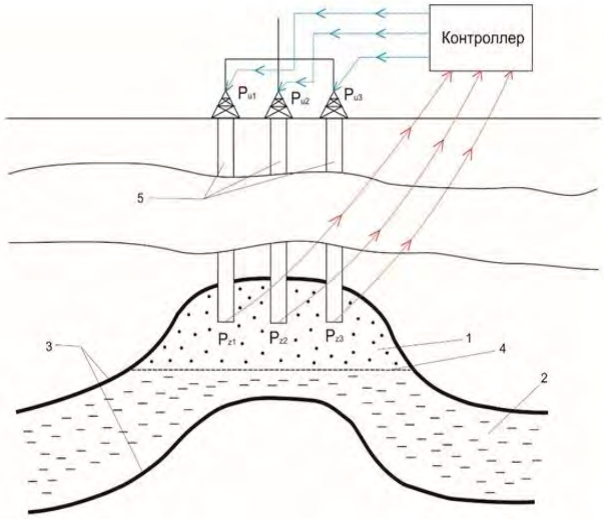


Рис. 1. Схема управления. 1 – часть коллектора, заполненная природным газом, 2 – часть коллектора, заполненная пластовыми водами, 3 – непроницаемая граница пласта, 4 – плоскость газо-водяного контакта, 5 – перфорированные стволы скважин, P_{u1}, P_{u2}, P_{u3} – устьевые давления скважин, P_{z1}, P_{z2}, P_{z3} – забойные давления скважин

II. Описание объекта исследования

Объектом моделирования является газовая залежь одного из месторождений западной Сибири состоящая из пористого коллектора. Залежь эксплуатируется с помощью трёх добывающих скважин. Ежемесячно проводятся геофизические исследования, определяющие актуальное состояние пласта в призабойной зоне.

Целью моделирования газовой залежи является выяснение особенностей динамики процесса фильтрации газа при газовом режиме, а также использование её в

дальнейшем как объекта для синтеза распределённой системы управления пластовым давлением.

В процессе изменения пластового давления после начала эксплуатации температура в разных областях пласта также должна изменяться неравномерно. При движении газа в газоносных пористых пластах, представленных песками, песчаниками, известняками или какой-либо другой пористой средой, потенциальная энергия сжатого газа расходуется на: преодоление сил трения, обусловленных вязкостью газа, на преодоление молекулярных сил в связи с увеличением расстояния между молекулами при расширении газа по мере приближения его к забою скважины и на переход части потенциальной энергии в кинетическую энергию газа.

Совершаемая газом работа по преодолению сил трения целиком переходит в теплоту и, следовательно, компенсирует потерю тепла при расширении газа.

При фильтрации газа через грунт наблюдается дроссельный процесс. Это значит, что изменением температуры, в первом приближении, можно пренебречь. [14] При этом не принимается во внимание теплопередача от пористой породы к газу и теплопередача в пористой породе в радиальном направлении вследствие теплопроводности среды и изменения в этом направлении температуры пласта. С учетом перечисленного, процесс можно считать изотермическим. [14]

В рамках исследования залежь приведена к форме параллелепипеда (рис. 2).

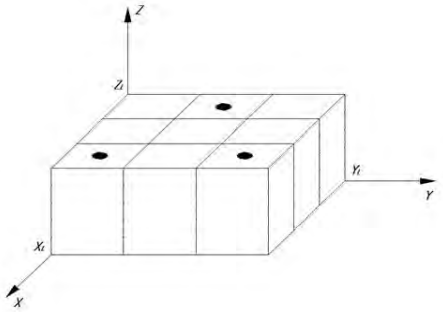


Рис. 2. Схема объекта. Чёрными кругами отмечены скважины, располагающиеся по центру блоков эксплуатационные скважины

Для отображения неоднородности, объект был разделен на девять блоков каждый из которых имеет различные значения пористости и абсолютной проницаемости (рис. 2).

Объект имеет следующие геометрические размеры:

$$X_L = 60 \text{ м}; Y_L = 60 \text{ м}; Z_L = 30 \text{ м};$$

где X_L и Y_L – размеры объекта по координатам X и Y соответственно; Z_L – максимальный размер объекта по оси Z.

Каждый из девяти блоков обладает следующими размерами:

$$X_B = 20 \text{ м}; Y_B = 20 \text{ м}; Z_B = 30 \text{ м};$$

где X_B, Y_B и Z_B – размеры одного блока по координатам X, Y и Z соответственно.

Значения пористости $\boldsymbol{m}$ и абсолютной проницаемости $\boldsymbol{k}$ различных элементов пласта приведены на рис. 2. В рамках исследования среду считаем недеформируемой, то есть пористость блоков не изменяется со временем.

В рамках исследования объект примем изотропным, то есть его абсолютные проницаемости по пространственным координатам считаем одинаковыми.

$$k = k_x = k_y = k_z$$

где k_x, k_y, k_z – значения проницаемости в произвольной точке пространства по координатам X, Y и Z.

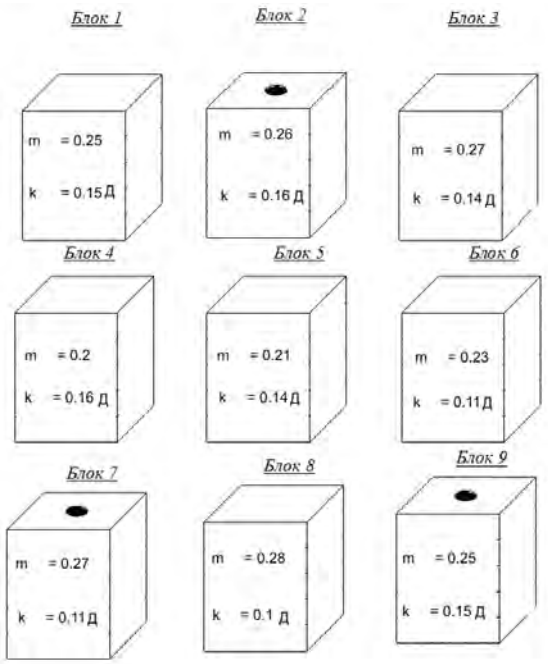


Рис. 3. Значения пористости и проницаемости для всех блоков объекта

III. Математическая модель объекта

В качестве основного параметра газовой залежи принято давление, так как любое движение газа в объеме залежи вызвано именно перепадом давления. Изменение пластового давления в газонасыщенной части пласта описывается уравнением (1) [14].

$$\frac{D}{p}\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}$$
$$0 < x < X_L, 0 < y < Y_L, 0 < z < Z_L$$
$$D = \frac{m\mu}{nk}; P = p^{\frac{n+1}{n}} \quad (1)$$

где p = p(x,y,z,t) – пластовое давление в определенной точке залежи в момент времени t; t – время; m – пористость пласта; μ – абсолютная вязкость газа; k – проницаемость пласта; n – показатель политропы; x, y, z – координаты точки в пространстве, для которой ведется расчет; z_d – координата плоскости газоводяного контакта по оси z; x_L, y_L, z_L – конечные значения координат x, y, z; D и P – переменные, введенные для удобства записи.

Поведение объекта на его границах описывается граничными условиями второго рода, то есть границы объекта считаем непроницаемыми:

$$\frac{\partial p(\mathrm{x},\mathrm{y},0,\mathrm{t})}{\partial z}=0;\frac{\partial p(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{z}_L,\mathrm{t})}{\partial z}=0;$$
$$\frac{\partial p(0,\mathrm{y},\mathrm{z},\mathrm{t})}{\partial x}=0;\frac{\partial p(\mathrm{x}_L,\mathrm{y},\mathrm{z},\mathrm{t})}{\partial x}=0;$$
$$\frac{\partial p(\mathrm{x},0,\mathrm{z},\mathrm{t})}{\partial y}=0;\frac{\partial p(\mathrm{x},\mathrm{y}_L,\mathrm{z},\mathrm{t})}{\partial y}=0; \qquad (2)$$

Поведение объекта на границах раздела сред с разными геологическими параметрами заданы с помощью условий равенства потоков на границах областей. Условия равенства потоков между блоками по оси Y описываются уравнениями (3).

$$\frac{k_1 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_1^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_1}{\partial y}\right)=\frac{k_2 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_2^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_2}{\partial y}\right)$$
$$\frac{k_2 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_2^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_2}{\partial y}\right)=\frac{k_3 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_3^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_3}{\partial y}\right)$$
$$\frac{k_4 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_4^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_4}{\partial y}\right)=\frac{k_5 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_5^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_5}{\partial y}\right)$$
$$\frac{k_5 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_5^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_5}{\partial y}\right)=\frac{k_6 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_6^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_6}{\partial y}\right)$$
$$\frac{k_7 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_7^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_7}{\partial y}\right)=\frac{k_8 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_8^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_8}{\partial y}\right)$$
$$\frac{k_8 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_8^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_8}{\partial y}\right)=\frac{k_9 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_9^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_9}{\partial y}\right) \qquad (3)$$

Условия равенства потоков между блоками по оси X описываются уравнениями (4).

$$\frac{k_1 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_1^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_1}{\partial x}\right)=\frac{k_4 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_4^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_4}{\partial x}\right)$$
$$\frac{k_4 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_4^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_4}{\partial x}\right)=\frac{k_7 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_7^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_7}{\partial x}\right)$$
$$\frac{k_2 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_2^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_2}{\partial x}\right)=\frac{k_5 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_5^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_5}{\partial x}\right)$$
$$\frac{k_5 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_5^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_5}{\partial x}\right)=\frac{k_8 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_8^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_8}{\partial x}\right)$$
$$\frac{k_3 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_3^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_3}{\partial x}\right)=\frac{k_6 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_6^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_6}{\partial x}\right)$$
$$\frac{k_6 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_6^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_6}{\partial x}\right)=\frac{k_9 n}{\mu(\mathrm{n}+1)}P_9^{-\frac{1}{n+1}}\left(\frac{\partial P_9}{\partial x}\right) \qquad (4)$$

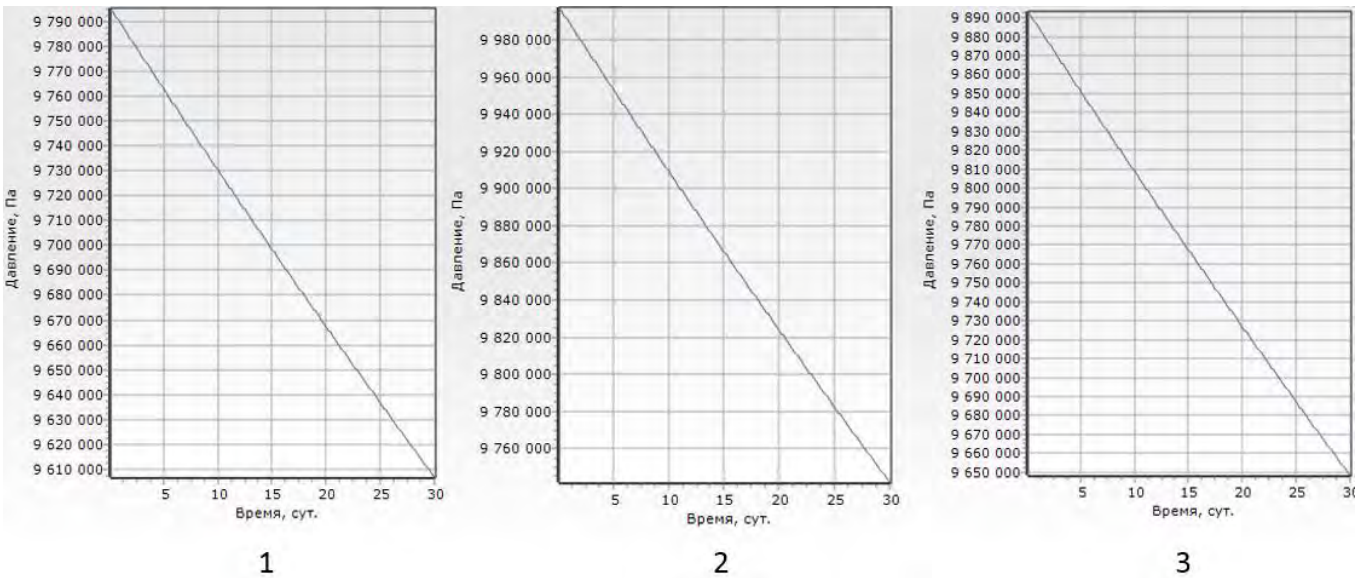


Рис. 4. Графики переходных процессов в призабойных зонах скважин блоков 2 (1), 7 (2) и 9 (3)

IV. Дискретный аналог математической модели

Для оценки динамических характеристик и создания соответствующего программного обеспечения модель приводится в дискретный вид, методом конечных разностей.

В процессе дискретизации модели, количество точек дискретизации по оси X равно H, по оси Y равно J, по оси Z равно V. Уравнение распределения давления в дискретном виде описывается соотношением (5).

$$\frac{\Delta P_{h,j,v}}{\Delta t}=\frac{p_{h,j,v}}{D_1}\left(\begin{array}{l}\dfrac{P_{h-1,j,v}-2P_{h,j,v}+P_{h+1,j,v}}{\Delta x^2}+\\ \dfrac{P_{h,j-1,v}-2P_{h,j,v}+P_{h,j+1,v}}{\Delta y^2}+\\ \dfrac{P_{h,j,v-1}-2P_{h,j,v}+P_{h,j,v+1}}{\Delta z^2}\end{array}\right);$$
$$\left(h=\overline{1,H};\, j=\overline{1,J};\, v=\overline{1,V}\right);$$
$$D_1=\frac{m\mu_1}{nk};\, P_{h,j,v}=p_{h,j,v}^{\frac{n+1}{n}} \qquad (5)$$

где Δx, Δy, Δz – шаги дискретизации по осям X, Y и Z соответственно; $h_{S,1}$, $j_{S,1}$ и $h_{S,2}$, $j_{S,2}$ – координаты по осям X и Y первой и второй скважин соответственно; v_d – координата плоскости газоводяного контакта по оси Z; Δt – шаг дискретизации по времени; D_1 и P – переменные введённые для удобства записи.

Начальные значения пластового давления по девяти блокам:

$$p(h_{w1},j_{w1},v_{w1},0) = p_{0,1}$$

$$p(h_{w2},j_{w2},v_{w2},0) = p_{0,2}$$

$$p(h_{w3},j_{w3},v_{w3},0) = p_{0,3}$$

h_{wi}, j_{wi}, v_{wi} – координаты призабойных зон скважин.

Давления $p_{0,1}$, $p_{0,2}$, $p_{0,3}$ – принимаются едиными для блоков объекта, в которых располагаются скважины.

Граничные условия для модели при водонапорном режиме эксплуатации залежи выразим в виде системы уравнений

$$p(0, j, v, t) = p(1, j, v, t)$$

$$p(H, j, v, t) = p(H-1, j, v, t)$$

$$p(h, 0, v, t) = p(h, 1, v, t)$$

$$p(h, J, v, t) = p(h, J-1, v, t)$$

$$p(h, j, 0, t) = p(h, j, 1, t)$$

$$p(h, j, V, t) = p(h, j, V-1, t)$$

С помощью дискретной математической модели объекта был проведён вычислительный эксперимент для установления особенностей его динамики. Для проведения эксперимента использовались данные с одного из месторождений Западной Сибири.

Вычислительный эксперимент проведен с помощью специально разработанного для этой цели программного обеспечения в среде Delphi. В результате эксперимента были получены графики изменения пластового давления в забоях скважин. Результаты эксперимента представлены на рис. 4.

При одинаковом входном воздействии, поданном на устья скважин, динамика изменения давления в забоях скважин в соответствии с результатами разная, что обусловлено неоднородностью газоносного пласта.

V. Заключение

Разработанные в рамках данного исследования элементы комплексной информационной системы добычи природного газа, позволяют прогнозировать протекание процесса истощения газовой залежи и, в дальнейшем, управлять технологическим процессом добычи газа. Разработанная информационная модель, вносящая изменения в динамическую модель, представленную в данном исследовании, позволяет повысить точность регулирования технологического процесса. Также стоит отметить, что разработанная информационная система, позволяет в режиме реального времени дополнять базовую математическую модель, что подтверждается экспериментальными данными с одного из месторождений Западной Сибири.

Проведённые исследования дают возможность приступить к разработке системы мониторинга и распределённой системы автоматического управления газового месторождения, что является предметом дальнейшего исследования.

Благодарность

Выражаем благодарность Ильюшину Юрию Валериевичу (доктору технических наук, доценту) и Першину Ивану Митрофановичу (доктору технических наук, профессору, действительному члену РАЕН) за развитие теории систем автоматического управления с распределёнными параметрами.

Список литературы

[1] Ilyushin Y.V., Novozhilov I.M. Temperature Field Control of a Metal Oil-well Tubing for Producing of High-Paraffin Oil (2020) Proceedings of 2020 23rd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2020, № 9198816, pp. 149-152.

[2] Pershin I.M., Kukharova T.V., Tsapleva V.V. Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials/ Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1728(1)

[3] Pershin I.M., Papush E.G., Malkov A.V., Kukharova T.V., Spivak, A.O. Operational Control of Underground Water Exploitation Regimes. Proceedings of 2019 3rd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2019, 2019, стр. 77–80, 8973323. DOI 10.1109/CTS48763.2019.8973323.

[4] Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Chernyshev A.B. Calculation of the First Switch-on Time of Distributed Object's Control Action Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020, 2020, стр. 750–754

[5] Ilyushin Y., Afanaseva O. Modeling of a spatial distributed management system of a preliminary hydro-cleaning gasoline steam column (2020) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020-August (2.1), pp. 531-538.

[6] Pershin I.M., Malkov A.V., Pomelyayko I.S. Design of a Distributed Debit Management Network of Operating Wells of Deposits of the CMW Region. Communications in Computer and Information Science, 2021, 1396 CCIS, стр. 317–328. DOI 10.1007/978-981-16-1483-5_29.

[7] Kukharova T.V., Utkin V.A., Pershin I.M. Modeling of a Decision Support System for a Psychiatrist Based on the Dynamics of Electrical Conductivity Parameters/ Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2021, 2021, стр. 975–

[8] Martirosyan K.V., Chernyshev A.B., Martirosyan A.V., Tatyana K.V. Formation of the Anterior Heating Function under the Action of Uniformly Distributed Sources Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020, 2020, стр. 755–760

[9] Plotnikova N.V., Skeeba V.Y., Martyushev N.V., Miller R.A., Rubtsova NS. 2016 Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 156(1), 012022

[10] Novoselov A.G., Sorokin S.A., Baranov I.V., Martyushev N.V., Rumiantceva O N, Fedorov A A. 2022 Comprehensive Studies of the Processes of the Molecular Transfer of the Momentum, Thermal Energy and Mass in the Nutrient Media of Biotechnological Industries, Bioengineering, 9(1), 18

[11] Skeeba V.Y., Ivancivsky V.V., Martyushev N.V. 2021 Peculiarities of high-energy induction heating during surface hardening in hybrid processing conditions. Metals, 11(9), 1354

[12] Pershin I.M., Malkov A.M., Drovosekova T.I. The study of periodic effects on parameters of hydrolytospheric processes. 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, 2019, 8725353. DOI 10.1109/Eastonf.2019.8725353.

[13] Sizov S., Drovosekova T., Pershin I. Application of Machine Learning Methods in Modeling Hydrolithospheric Processes. Communications in Computer and Information Science, 2021, 1395 CCIS, стр. 422–431. DOI 10.1007/978-981-16-1480-4_38.

[14] Лапук Б.Б. Теоретические основы разработки месторождений природных газов. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002, 296 стр.

Определение типа наводок в принимающей антенне с применением машинного обучения в туманных вычислительных средах

А. Н. Субботин
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
alesu1543@gmail.com

***Аннотация*. В данной статье представлено краткое описание типа наводок в принимающей антенне. Рассказаны новые возможности вычислительной техники для представления осциллограмм для специалиста по цифровой обработке сигналов. Предложен новый способ взаимодействия специалиста с диагностической информацией с применением Интернета Вещей. Дано описание архитектуры по трем стандартам на этапе проектирования. Разработано приложение для смартфона. Доказана эффективность применения туманных вычислительных сред и облачных технологий для распознавания типов наводок с помощью машинного обучения. Приводится конкретные примеры.**

Ключевые слова: туманные вычислительные среды, машинное обучение, Интернет Вещей, принимающая антенна, типы наводок

I. Введение

Машинное обучение (ML), которое на сегодняшний день является синонимом искусственного интеллекта, впервые придумал Фрэнк Розенблатт в 1958 году, который упомянул данную теорию в своей книге [1, 4], впервые опубликованной 1962 году. В настоящее время машинное обучение помогает распознавать изображения, поток сигналов и самостоятельно принимать решения. С применением машинного обучения можно производить цифровую обработку сигналов и делать определенные выводы.

Сигнал, поступающий от передающей антенны к принимающей, распространяющийся в среде, проходит препятствия, и может испытывать наводки. Согласно теории распространения сигнала, с удаленностью от передающей антенны амплитуда может только падать, но частота при этом не меняется и сигнал в зависимости от расстояния продолжает затухать. На качество сигнала может влиять только однородный сигнал в одном спектре информационного сигнала. Это, может быть:

- несправное передающее или принимающее оборудование (антенны, трансиверы и пр.);
- производственные станки, устройства связи и механизмы, издающие колебания на той же частоте в случае неисправности;
- компьютерные приставки к телевизору (Dendy или Subor, Sega, Sony PlayStation и пр.), имеющие встроенный излучатель телесигнала на заданном диапазоне, чтобы играть без проводов;
- нелегальное вещание на той же частоте;
- умышленное создание помех (применение глушителя или подавителя TV/FM сигнала);
- применение усилителя сигнала за счет электросети, тем самым распространяя помехи и загрязняя эфир;
- неисправность телевизора, TV-тюнера, приставки, компьютера, смарт-телевизора (TV-приёмника).

Помехи, которые являются наводками, делятся на заградительные и прицельные. Заградительные помехи перекрывают широкой диапазон частот, прицельные помехи имеют диапазон частот, обычно превышающий информационный спектр в 1,5–2 раза.

Специалист-наводчик по цифровой обработке сигналов может безошибочно определить источник сигналов, характеристики, но можно упростить этот процесс с применением машинного обучения, то есть искусственного интеллекта (AI) [2, 5, 9].

Процесс определения наводок с применением машинного обучения на встроенном компьютере Raspberry Pi занимает значительное время, но этот процесс можно упростить с помощью применения туманных вычислительных сред [3].

Термин туманной вычислительной среды впервые упомянул технический директор корпорации Cisco в 2011 году и окончательно был оформлен в 2012 году. Многие процессы ML можно упростить и повысить (точность, скорость и пр.) с помощью облачных систем [12]. Но впоследствии выяснилось, что происходят большие задержки при обращении в облако с мобильных устройств и технологических компьютеров (Raspberry Pi, Advantech и пр.). Тогда технический директор Cisco придумал действительно революционное решение, а именно применение туманной вычислительной среды между высокопроизводительной облачной системой [13] и компьютером, на который поступает цифровой сигнал.

II. Описание проблемы

Проблемой являются отсталые технологии, когда специалисту самому приходится определять тип наводок. Бывали случаи, когда специалисту приходилось многократно консультироваться с коллегами и обращаться к справочной литературе, что требует значительного времени.

Причиной многократных сверок может оказаться невысокий уровень квалификации специалиста по цифровой обработке сигналов и не совсем качественное

оборудование, которое не позволяет в полной степени оценить характеристики принимаемого сигнала с антенны. На помощь специалисту может прийти осциллографы с подключением к персональному компьютеру по интерфейсу USB/COM с оценкой сигнала в ретроспективе, что упрощает работу специалиста.

Действительно современными технологиями можно назвать мобильные устройства и стек технологий Интернета Вещей [6, 10]. Это должен быть не просто цифровой сигнал на экране ПК, а современное приложение для мобильной платформы, решающее все эти недостатки.

III. Способ решения

Планируется повысить точность работы специалиста по цифровой обработке сигналов, повысить скорость и продуктивность работы с помощью машинного обучения и определять типы наводок в полуавтоматическом режиме с последующей сверкой специалиста.

Разделяется принимаемый сигнал преобразованием Фурье с последующим анализом спектра средствами машинного обучения.

После рассмотрения аналогов спектрального анализа приминаемого сигнала, таких как Digital Oscilloscope 3.0, Oscilloscope 2.51, Spectrogram v5.0.5, Frequency Counter 1.01, что данным программам для ПК не хватает автоматизированного определения наводок (рис. 1).

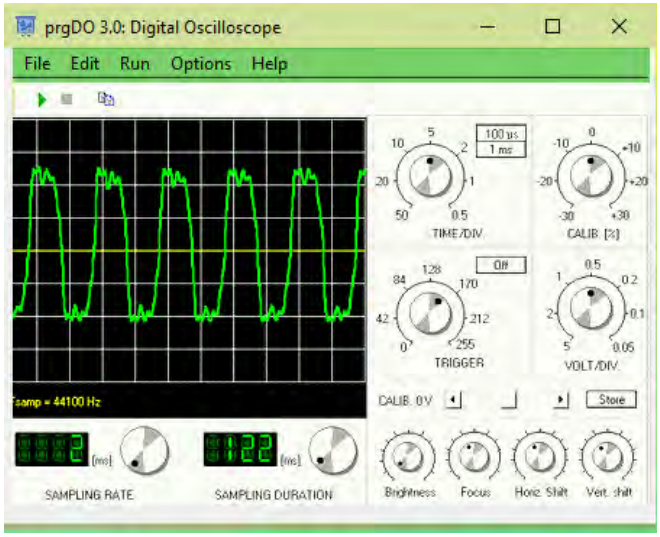


Рис. 1. Отображение сигнала в программном осцилографе на ПК

Все перечисленные программы хороши тем, что не требуют подключения осциллографа через USB/COM, хотя это тоже возможно. Допустимо получение сигнала через линейный вход звуковой карты с применением простого делителя напряжения.

Назначение органов управления сильно не отличается от физического осциллографа. Так, например, TIME/DIV определяет время и деление, синхронизацию определяет TRIGGER, уровень сигнала определяет CALIB, напряжение и деление определяется с помощью VOLT/DIV. Главное достоинство программы в том, что осциллограмма сохраняется на экране и возможностью печати на принтере. Само изображение на экране сильно напоминает настоящий осциллограф с имитацией ручек для настроек, что не характерно для компьютерных программ и не всегда удобно. Но кроме программы Digital Oscilloscope 3.0 есть Oscilloscope 2.51, где регуляторы имеют вид ползунков. Программа имеет удобный способ масштабирования, сохраненного или в реальном времени сигнала, что важно для понимания спектра. В программе Spectrogram v5.0.5 при наведении мыши можно получить точное значение. Имеет множество настроек, включая изменение цветов и диапазонов. Программа Frequency Counter 1.01 является частотомером, потому как отображает только частоту, а график не показывает совсем.

Все перечисленные программные осциллографы имеют свои достоинства и недостатки. Нельзя утверждать, что частотомер Frequency Counter – плохая программа, потому как показывает только частоту, но иногда этого и достаточно, но в нашем случае, программный осциллограф Digital Oscilloscope максимально подходит для машинного обучения, потому как позволяет сохранять изображения и входной поток для последующей обработки.

IV. Проектирование приложения

Тонность определения типов наводок будет определена с помощью системы машинного обучения на Python 3.9.1 с применением библиотеки TensorFlow v2.3.0 [7, 10, 13]. Приложение разработано под Android с применением языка программирования Dark. Высокая скорость работы приложения будет обусловлена двухуровневой обработкой информации, где один из модулей программы будет расположен в туманной вычислительной среде, а второй – непосредственно на смартфоне специалиста по цифровой обработке сигналов.

Приложение в туманной среде будет работать по принципу программных сигналов-состояний. Написано в среде NetBeans с поддержкой компилятора Java, потому как Java лучше работает с сетью, чем Lazarus, например, с подключением сетевых библиотек Everest 1.7.3 и Synopsis 2.0.1, обеспечивающих протоколы шифрования и поддержку сетевого обмена информацией на высоком уровне. После обмена сигналами-состояниями, происходит передача пакетов информации в формате XML и динамической погрузкой JSON. Дополнительно применяется PHP, JavaScript, JQuery для отображения информации в приложении [8, 11].

Планируется применение большого алгоритма из комбинаций инструментов машинного обучения, требующих большие вычислительные мощности. Это не только глубокое обучение (DL), рекуррентные нейронные сети (RNN), временное дообучение модели, динамическое редактирование датасета [6, 11, 13] и модели отвергнутых снимков, составленные экспертами по наводкам.

Все эти возможности для повышения точности определения объектов и определения типа наводки за короткие сроки предоставляют облачные технологии и туманные вычислительные среды. Именно благодаря туманным средам планируется уменьшение задержек оборудования при обращении к серверам, в первую очередь из мобильного приложения [6].

Структура системы построена по принципу сигналов-состояний. Когда от устройства поступает сигнал, то другое устройство начинает взаимодействовать. Относительно туманных вычислительных сред применяется теория расписаний. Если устройство

слишком загружено, то выбирается другое устройство для обработки видеоинформации [13].

Согласно американскому стандарту TOGAF для описания архитектур систем должно присутствовать четыре компонента: бизнес-структура, архитектура данных, архитектура приложений, технологическая архитектура. На уровне бизнес-структуры наша система сократит расходы; на уровне архитектуры данных – все данные будут храниться в базе данных (БД) Oracle 21c (https://www.oracle.com/database/) в облаке, а приложение будет работать на смартфонах под OS Android и в туманных вычислительных средах, что является архитектурой приложений. Технологическая архитектура включает взаимодействие, структуру и логику программного обеспечения на уровне сети, сервера и процессов по принципу сигналов-состояний и теории расписаний, в нашем случае.

Систему определения наводок можно квалифицировать по стандарту ISO 15288, где целевой системой является мобильное приложение, системой в эксплуатационной среде является программное обеспечение TV-тюнера AverTV Studio 509 (https://www.avermedia.com/), AVerMedia Technologies, обеспечивающей системой является облако Yandex.Cloud (https://cloud.yandex.ru/) на платформе Intel Cascade Lake (https://www.intel.com/) и туманные вычислительные среды на основе Cisco UCS C220 M5 (https://www.cisco.com/).

Согласно стандарту описания архитектуры, DoDAF 2.0.2 операционным представлением является информация специалиста по наводкам и цифровой обработке сигналов, системным представлением является программное обеспечение TV-тюнера, техническим представлением являются облачные технологии совместно с Yandex.Cloud, туманные вычислительные среды и разработка мобильного приложения.

V. Пример использования

Во время проведения исследования, разработано приложение для специалиста по цифровой обработке сигналов, который может наблюдать кадр, захваченный и обработанный из видеопотока на своем смартфоне (рис. 2). В нем основное поле, где показываются кадры (сверху), листая пальцем по горизонтали. Дополнительно добавлены две кнопки ERROR и MENU, которые позволяют заявить в экспертную систему об ошибке и выйти в главное меню приложения. Такое маленькое количество кнопок – это не ограничение функционала, а важная функция эргономики, чтобы не отвлекать специалиста-наводчика лишними функциями, которые, как правило, не требуются, поэтому они скрыты по кнопке MENU. Присутствуют кнопки: ATTANTION и ACCEPT для подтверждения результата и сохранения данных в экспертную систему в облаке.

На представленном кадре можно увидеть помеху, которая была определена как задержка передатчика (в синем поле, по центру экрана смартфона). Помеха была успешно найдена и оперативно устранена, благодаря слаженной работе специалистов-наводчиков и системе искусственного интеллекта, основанной на машинном обучении и туманных вычислительных средах.

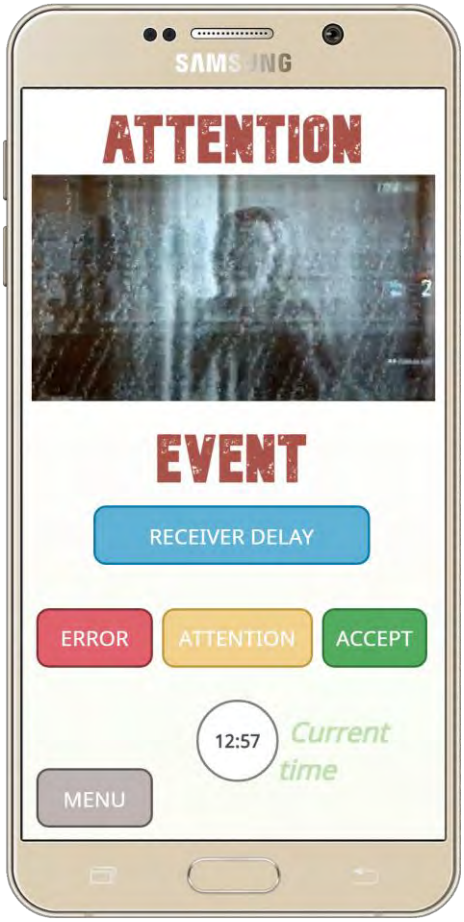


Рис. 2. Мобильное приложение для специалиста по наводкам

Теперь необходимо рассмотреть вопрос эффективности данного приложения. Эффективность может быть оценена следующими показателями:

- повышение точности определения наводок;
- снижение задержек, благодаря туманной среде;
- улучшение оперативности работы сотрудников.

ТАБЛИЦА I Точность определения наводок

Определение наводок			
Тип наводки	***было***	***стало***	***больше***
Оборудование приема/передачи	86,72%	92,07%	5,35%
Станки на заводах	62,1%	78,29%	16,19%
Компьютерные приставки	78,13%	83%	4,87%
Нелегальное вещание	74,9%	79,3%	4,40%
Создание помех	53,8%	60,19%	6,39%
Применение усилителя	36,17%	42,01%	5,84%
Неисправность прибора	85,29%	89,3%	4,01%
По среднему:			**6,72%**

Статистика по определению наводок была получена, благодаря открытым источникам в сети Интернет и сервисам YouTube (https://www.youtube.com/), где были скачены образцы с гарантированно находящимися там дефектами сигнала, с наводками. Динамика в табл. 1 на повышение точности наводок (6,72 %, а в некоторых случаях более 16 %) говорит об эффективности нашего метода.

ТАБЛИЦА II СНИЖЕНИЕ ЗАДЕРЖЕК

Статистика по задержкам			
Время	***Раньше***	***Стало***	***Больше***
Понедельник, с 9 до 12	4825	1231	3,92
Вторник, с 14 до 18	4371	1211	3,61
Вторник, с 18 до 21	3908	1195	3,27
Вторник-среда, с 21 до 3	4206	1237	3,4
Среда, с 3 до 8	4902	1164	4,21
Среда, с 8 до 12	4893	1171	4,18
По среднему:			**3,765**

Статистика (табл. 2) говорит нам о том, что задержки сократились в 3,8 раз, благодаря туманным вычислениям, и скорость обработки, и оперативность сотрудников, что говорит о хороших результатах.

VI. Заключение

В статье рассмотрены методы удаленной обработки видеоизображений с применением туманных вычислительных сред применительно к видеопотоку с TV-тюнера, с повышением точности определения наводок на 6,72 % и сокращением задержек в более чем 3,7 раз.

Автором статьи разработано приложение для смартфона для обработки видеоизображений на виртуальных машинах с применением облачных технологий и туманных вычислительных сред. Рассмотрены этапы работы программы, раскрыты отдельные детали. Приведены конкретные примеры работы программы применительно к предметной области определения типов наводок.

Задача обработка видеоизображений средствами туманных вычислений является актуальной и для многих предметных областей. Так, например, в процессе определения наводок может возникнуть необходимость распознавания образов на группе кадров. Разработанная программа также может использоваться для специалиста по цифровой обработке сигналов, телевизионной технике, ретрансляторов и построению принимающих антенн. В заключении подводится итог исследования.

Благодарность

Автор выражает благодарность ГУП «Петербургский метрополитен» (http://www.metro.spb.ru/), СПИИРАН (http://www.spiiras.nw.ru/) за научную поддержку и возможность создания статьи.

Список литературы

[1] Mouradian C. A Comprehensive Survey on Fog Computing: Stateof-the-art and Research Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials PP (99), October 2017, pp. 1-53 (2017)

[2] Aazam M., Huh E. Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things. In: 2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud, August 2014, pp. 464–470 (2014)

[3] Tanwar S., Tyagi S., Kumar N. Multimedia Big Data Computing for IoT Applications: Concepts, Paradigms and Solutions, vol. 163. Springer (2019)

[4] Sarkar S., Chatterjee S., Misra S. Assessment of the suitability of fog computing in the context of internet of things. IEEE Trans. Cloud Comput. 6(1), 46–59 (2018)

[5] Yi S., Hao Z., Qin Z., Li Q. Fog computing: platform and applications. In: 2015 Third IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb), November 2015, pp. 73–78 (2015)

[6] Bonomi F., Milito R., Natarajan P., Zhu J. Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics, pp. 169–186. Springer International Publishing, Cham (2014)

[7] Yannuzzi M., Milito R., Serral-Graci R., Montero D., Nemirovsky M. Key ingredients in an IoT recipe: fog computing, cloud computing, and more fog computing. In: 2014 IEEE 19th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), December 2014, pp. 325–329 (2014)

[8] Huang C., Lu R., Choo K.-K.R. Vehicular fog computing: architecture, use case, and security and forensic challenges. IEEE Commun. Mag. 55(11), 105–111 (2017)

[9] Bhatia J., Modi Y., Tanwar S., Bhavsar M. Software defined vehicular networks: a comprehensive review. Int. J. Commun. Syst. 32(12), e4005 (2019)

[10] Liu Y., Fieldsend J.E., Min G. A framework of fog computing: architecture, challenges, and optimization. IEEE Access 5, 25445–25454 (2017)

[11] Dastjerdi A.V., Gupta H., Calheiros R.N., Ghosh S.K., Buyya R. Fog computing: principles, architectures, and applications. CoRR, abs/1601.02752 (2016)

[12] Bhatia J., Patel T., Trivedi H., Majmudar V. Htv dynamic load balancing algorithm for virtual machine instances in cloud. In: 2012 International Symposium on Cloud and Services Computing, pp. 15–20. IEEE (2012)

[13] Jaykrushna A., Patel P., Trivedi H., Bhatia J. Linear regression assisted prediction based load balancer for cloud computing. In: 2018 IEEE Punecon, pp. 1–3. IEEE (2018)

Разработка комплексных алгоритмов для автоматизированных технологических комплексов

С. Е. Абрамкин[1], С. Е. Душин[2]
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
[1]abramkinse@etu.ru, [2]dushins@yandex.ru

***Аннотация*. Разработка и внедрение автоматизированных газодобывающих комплексов является основой технической политики ПАО «Газпром». Функционирование таких комплексов обеспечивается комплексными алгоритмами управления производительностью газового промысла и качеством подготовки газа и газового конденсата. Приведен обзор комплексных алгоритмов управления газового (газоконденсатного) промысла. Предложена концепция разработки комплексного алгоритма управления. Установлено, что при разработке комплексных алгоритмов недостаточно применяется аппарат математического моделирования. Определено, что одной из основных проблем является изменение структуры автоматизированного газодобывающего комплекса в процессе эксплуатации. Приведен пример разработки комплексного алгоритма управления газового промысла.**

Ключевые слова: комплексный алгоритм; автоматизированный газодобывающий комплекс; производительность; целевая функция; участок добычи; участок подготовки; участок транспортировки

I. Введение

Развитие информационных технологий привело к новому этапу развития автоматизированных технологических комплексов (АТК) в том числе в газовой отрасли Российской Федерации. Автоматизированные газодобывающие комплексы (АГДК) основаны на внедрении малолюдных технологий, ресурсо- и энергосбережении, повышении эффективности производства [1]. Для этого класса объектов разрабатываются комплексные алгоритмы управления производительностью с учетом качественных показателей (содержание в газе капельной влаги и тяжелых углеводородов) [2].

Такие комплексы обеспечивают надежность, безопасность и эффективность функционирования входящих в него технологических объектов за счет применения систем мониторинга и диагностики технического состояния оборудования и средств автоматизации.

С точки зрения киберфизического подхода АГДК это совокупность совместно функционирующих физического объекта и автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), взаимодействие которых обеспечивается комплексными алгоритмами. Таким образом, разработка комплексных алгоритмов управления и регулирования производительностью и качеством подготовки газа на объектах АГДК является одной из основных задач развития газовой отрасли.

II. Автоматизированный газодобывающий комплекс

Автоматизированный газодобывающий комплекс состоит из нескольких участков: участка добычи, участка подготовки, участка транспортировки [3] (рис. 1).

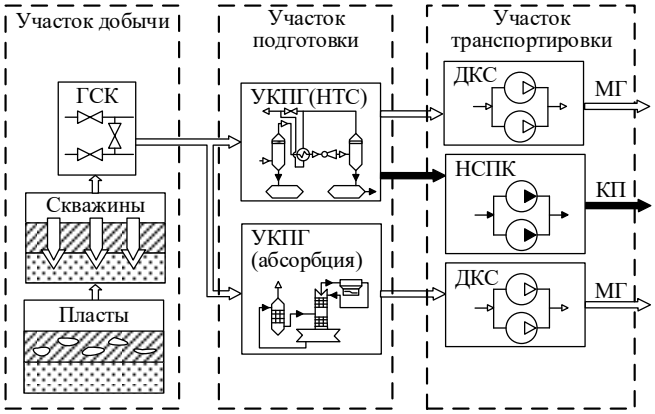


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного газодобывающего комплекса

На рис. 1 приняты следующие обозначения: ГСК – газосборный коллектор; УКПГ – установка комплексной подготовки газа; НТС – низкотемпературная сепарация; ДКС – дожимная компрессорная станция; НСПК – насосная станция перекачки конденсата; МГ – магистральный газопровод; КП – конденсатопровод.

Из структурной схемы видно, что АГДК является структурно-сложным объектом. Следует отметить, что трудность при разработке комплексных алгоритмов управления для АГДК заключается в постоянном изменении его структуры. Например, в начале разработки месторождения с высоким содержанием метана в эксплуатацию вводятся объекты добычи и УКПГ, затем при необходимости вводится станция охлаждения газа для обеспечения заданной температуры газа перед подачей в МГ. Для объектов с высоким содержанием углеводородного конденсата в начале разработки вводятся объекты добычи, УКПГ и НСПК. В стадии падающей добычи вводятся ДКС обеспечивающие заданное давление в определенных точках газодобывающего комплекса.

Целевой функцией АГДК является обеспечение постоянной производительности промысла с учетом экономической целесообразности в различные периоды разработки месторождения.

Структурная схема АГДК отражает его системные свойства, в частности, этот комплекс как система состоит из трех подсистем: добычи, подготовки и

транспортировки. Эти подсистемы в свою очередь могут быть декомпозированы на отдельные элементы. Каждый из этих элементов, кроме основной целевой функции, обеспечивает вспомогательные целевые функции, влияющие на технологические процессы, происходящие в комплексе в целом.

Для обеспечения основной целевой функции, т. е. поддержания производительности АГДК на заданном уровне, необходимо в контрольных точках процесса обеспечивать заданные величины давления газа и углеводородного конденсата. За счет поддержания этих переменных обеспечивается расходная характеристика АГДК.

Выше изложенное, позволяет сделать вывод, что АГДК это территориально распределенная управляемая система. Организация управления такой системой достаточно сложная задача в связи с [4], [5]:

- наличием различных типов залежей и одновременно-раздельной добычей флюидов из нескольких пластов;
- рассредоточенностью кустов газовых (газоконденсатных) скважин и их совместной работой на общий газосборный коллектор;
- неоднородностью и неопределенностью пластов;
- разнотипностью структур сбора и технологий подготовки газа (абсорбционная осушка газа, низкотемпературная сепарация газа);
- изменением структуры УКПГ во времени;
- наличием связи разнотипных УКПГ через обвязочный трубопровод;
- неравномерностью отбора газа потребителем.

Для реализации управления АДКГ необходима разработка комплексных алгоритмов управления.

III. Комплексный алгоритм управления автоматизированным газодобывающим комплексом

В [2] приведен базовый перечень алгоритмов АДКГ, входящих в комплексный алгоритм управления. Этот перечень включает в себя:

для участка добычи:

- алгоритм автоматического пуска и остановки скважины, куста газовых скважин с выводом их на заданный режим и поддержанием дебита или давления газа и ингибитора (гидратообразования или коррозии):
- алгоритм перехода из одного режима работы скважины в другой по заданию от АСУ ТП с автоматическим изменением расхода ингибитора в зависимости от значения дебита газа;
- алгоритм перехода из одного режима работы куста газовых (газоконденсатных) скважин в другой по команде из АСУ ТП с перераспределением расходов по скважинам с учетом ограничений (по дебитам скважин, давлениям) и изменением расхода ингибитора в зависимости от значения дебита газа;
- алгоритм пуска и остановки газосборного шлейфа в здании переключающей арматуры;
- алгоритм поддержания и перераспределения расхода газа по газосборным шлейфам;
- алгоритм поддержания давления газа в выходном коллекторе здания переключающей арматуры;

для участка подготовки газа:

- алгоритм пуска и остановки технологических линий;
- алгоритм стабилизации переменных технологического процесса;
- алгоритм перераспределения расходов газа по технологическим линиям;
- алгоритм поддержания качества товарного газа;
- алгоритм регулирования соотношения расходов «газ – абсорбент» для процесса абсорбционной осушки газа;
- алгоритм регулирования подачи ингибитора гидратообразования в ключевые точки установки НТС;
- алгоритм управления температурным режимом установки НТС;

для участка транспортировки:

- алгоритм проверки готовности к пуску газоперекачивающего агрегата (ГПА);
- алгоритм проверки защит маслосистемы ГПА;
- алгоритмы пуска, нормальной и аварийной остановки ГПА;
- алгоритм перенастройки частоты вращения силовой турбины по команде от АСУ ТП;
- алгоритм стабилизации заданного режима ГПА в установившемся режиме;
- алгоритм антипомпажного регулирования и антипомпажной защиты нагнетателя.

Так же предусмотрена реализация алгоритмов технологических защит и системы противоаварийной защиты.

IV. Концепция разработки комплексного алгоритма управления автоматизированным газодобывающим комплексом

Разработка комплексных алгоритмов управления АГДК состоит из нескольких этапов:

- обследования объекта, в случае действующего ГДК или изучения опыта реализации типовых проектов, в случае проектируемого ГДК;
- разработки математической модели системы управления АГДК;
- проведения вычислительных экспериментов на базе математической модели системы управления АДГК;
- формирование на основе вычислительных экспериментов комплексного алгоритма управления, регулирования и защиты,

необходимого для обеспечения функционирования газового промысла в автоматическом режиме;

- внедрение комплексного алгоритма на объекте.

На первом этапе определяется целевая функция АГДК и основные технологические задачи, которые необходимо решить с помощью организации автоматического управления. Для этого разрабатывается укрупненная функциональная схема технологического процесса и приводится краткое описание функциональных зависимостей между его переменными с целью определения значимых входных, выходных и регулируемых параметров.

На основе анализа укрупненной функциональной схемы разрабатывается математическая модель технологического процесса. На этом этапе сложность заключается в создании математической модели всего комплекса. Обычно объект декомпозируют и получают математические модели элементов комплекса. Основная сложность состоит в объединении моделей элементов в единый комплекс.

После получения математической модели объекта определяется перечень основных контуров управления с учетом их взаимосвязей. Затем проводится серия экспериментов и анализ их результатов. На основе полученных результатов разрабатываются комплексные алгоритмы и осуществляется выбор оборудования для их реализации.

Анализ технических заданий на разработку АСУ ТП в газовой отрасли, показал, что заказчик в основном требует применения алгоритмов управления с использованием классического ПИД-регулятора. Хотя практика показывает, что такое решение не всегда дает желаемый результат.

Системные интеграторы в области разработки АСУ ТП, редко применяют аппарат математического моделирования на практике, мотивируя это тем, что такой пункт отсутствует в техническом задании. Так же здесь можно отметить, что создание адекватной процессу математической модели достаточно трудоемкий и затратный по времени процесс. Это приводит, по мнению авторов, к большим временным затратам на наладку управляющих функций АСУ ТП.

V. Пример разработки комплексных алгоритмов

Приведем пример разработки комплексного алгоритма управления газовым промыслом, расположенным в районе Крайнего Севера. На промысле осуществляются процессы добычи, подготовки и транспортировки природного газа с высоким содержанием метана.

Участок добычи состоит из двух площадей, расположенных на одном месторождении. Поскольку объекты добычи вводились в эксплуатацию в разное время, то их оснащение значительно отличается. Площадь, введенная в эксплуатацию одновременно с участком подготовки оснащена только системой мониторинга изменения термобарических и дебитовых переменных. Площадь, введенная в эксплуатацию позже оснащена кранами-регуляторами с электроприводом, которые установлены на выкидной линии каждой скважины и предназначены для регулирования давления газа «после себя» (рис. 2). Опыт эксплуатации показал, что в данном случае регулирование давления «после себя» не требуется, так как скважины, расположенные на площадке газовых скважин, разрабатывают одну залежь. Здесь необходимо реализовать регулирование расхода газа от скважины с учетом ограничений по минимальному и максимальному расходу газа и минимальному давлению газа в общем коллекторе. В здании переключающей арматуры осуществляется регулирование давления газа «после себя» с ограничением по максимальному и минимальному значениям.

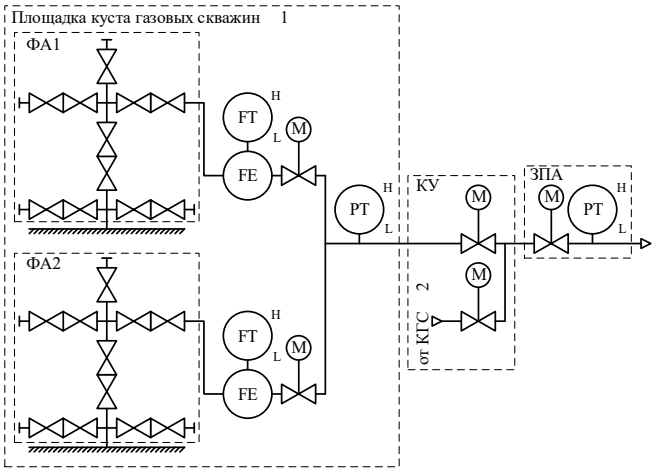


Рис. 2. Участок добычи

В процессе опробования алгоритмов участка добычи определено, что на данном этапе разработки залежи, в ЗПА алгоритм регулирования давления «после себя» не работает, так как объем добываемого газа с первой площади во много раз больший, чем объем второй площади.

Для участка подготовки, состоящего из установки абсорбционной осушки природного газа и цеха регенерации абсорбента, предусмотрены алгоритмы пуска, остановки и перераспределения газа по технологическим линиям осушки. Так же предусмотрен алгоритм регулирования соотношения расходов «газ – абсорбент», который обеспечивает «грубое» регулирование насосами подачи абсорбента в цех осушки в зависимости от расхода газа и «тонкую» подстройку его подачи в каждый аппарат с помощью клапанов регулирующих.

В [3], [6]–[8] приведены результаты разработки математических моделей управляемых технологических процессов ГДК для приведенного примера, определены проблемы, возникающие при разработке комплексных алгоритмов и систем управления для ГДК. В [9] приведен пример внедрения комплексных алгоритмов управления ГДК для аналогичного месторождения.

VI. Заключение

Приведено описание автоматизированного газодобывающего комплекса как объекта управления. Определены ограничивающие управление факторы. В частности, одна из основных проблем заключается в изменение структуры автоматизированного газодобывающего комплекса в процессе эксплуатации. Приведен обзор комплексных алгоритмов управления газового (газоконденсатного) промысла, полученный на основе анализа стандартов Газпрома в области автоматизации. Предложена концепция разработки

комплексного алгоритма управления газодобывающим комплексом. Установлено, что при разработке комплексного алгоритма недостаточно применяется аппарат математического моделирования. Приведен пример разработки комплексного алгоритма управления газового промысла.

Список литературы

[1] Раушкин Ю.В. Автоматизация // Журнал «Газпром». 2008. №6. С.38-39

[2] СТО Газпром 2-2.1-1043-2016. Автоматизированный газовый промысел. Технические требования к технологическому оборудованию и объемам автоматизации при проектировании и обустройстве на принципах малолюдных технологий. М.: Газпром экспо, 2016. 31 с.

[3] Абрамкин С.Е., Шистеров Г.А., Душин С.Е., Мурзагалин А.Т., Яшкин А.Д. Проблемы разработки комплексных алгоритмов для объектов газовой промышленности // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2019. №5 (550). С. 27-32.

[4] Васильев Ю.Н. Автоматизированная система управления разработкой газовых месторождений. М.: Недра, 1987. 141 с.

[5] Тараненко Б.Ф., Герман В.Т. Автоматическое управление газопромысловыми объектами. М.: Недра, 1976. 213 с.

[6] Абрамкин С.Е., Душин С.Е. Управление технологическими процессами газодобывающих комплексов // IX Всерос. науч. конф. «Системный синтез и прикладная синергетика»: сб. науч. тр. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2019. С.412-421.

[7] Абрамкин С.Е., Душин С.Е. Моделирование технологических процессов газодобывающих комплексов // III Междунар. науч. конф. по проблемам управл. в техн. системах (CTS'2019): сб. докладов. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С.130-133.

[8] Абрамкин С.Е., Душин С.Е., Первухин Д.А. Проблемы разработки систем управления газодобывающими комплексами // Приборостроение. 2019. №8. С.685-692.

[9] Еремин Н.А., Мельников И.В., Бобриков Н.М., Столяров В.Е., Когай А.А., Щеголев Д.П. Применение комплексных алгоритмов управления газодобычей как элементов цифрового двойника технологического комплекса Бованенковского НГКМ // Газовая промышленность. 2019. №6 (785). С.42-49.

Концептуальное моделирование организации

Г. И. Прокофьев, Д. В. Самохвалов, Р. В. Шубин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

***Аннотация*. Предложен подход к моделированию сложных организационно-технических систем на стадии их предварительного (концептуального) проектирования, когда отсутствует формализованное описание таких систем. Актуальные концепции и лучшие практики успешной деятельности и автоматизации организаций эффективны на стадии технического проектирования, но не определяют методы и нотации разработки концептуальных моделей. Обосновывается применение рациональных IDEF-методов, позволяющих выявить требуемые структуру и параметры системы процессов организации на заданном горизонте планирования для последующей генерации требований к системе автоматизированных технологий такой организации.**

Ключевые слова: концептуальное проектирование, система автоматизированных технологий, моделирование, IDEF0, DFD, синтез сложных систем, функциональное моделирование, диаграммы потоков данных, COBIT, ITIL, CALS, ПиК

I. Введение

Моделирование процессов организации как целостной сложной системы необходимо для их познания и улучшения. Оно направлено на то, чтобы сделать продукцию и процессы организации «лучше, быстрее, дешевле на жизненном цикле» – способствовать повышению конкурентоспособности организации. Моделирование актуально как для вновь создаваемых, так и для действующих организаций. Это обусловлено их графиком развития [1]. На каждом из этапов стадии своего роста организация переживает кризис, связанный с возникновением и преодолением сложности, при котором организации грозит прекращение деятельности. Возникновение сложности наступает с осознанием руководством организации потери ее эффективности, управляемости и возникновением необходимости изменения ее целей и структуры процессов. На каждом этапе развития организации ее подсистемы должны выполнять возложенные на них задачи и претерпевать изменения, направленные на преодоление очередной сложности.

В силу того, что каждая организация имеет свои особенности, организации должны сами проектировать, создавать и улучшать свои подсистемы, процессы и технологии, которые являются изначально сложными (непонятными, не описанными). При этом важнейшую роль приобретает стадия раннего проектирования – стадия предварительного проектирования (early conceptual designs [2] – раннее концептуальное проектирование), результатом которого является требуемая модель деятельности конкретной организации на очередном этапе ее развития.

Предварительное проектирование призвано выявить и устранить проблемы, возникающие в процессах последующих стадий жизненного цикла, решая их на стадии создания концепции продукта и процессов.

В этой связи такие высокоразвитые организации как европейское и японское космические агентства уделяют особое внимание ранним стадиям (фазам) парадигмы параллельного проектирования – преобразованию требований миссии в техническое предложение. Для успешного создания конкурентоспособного продукта и конкурентоспособных процессов используется системный инжиниринг, фокусируются усилия и внимание на стадиях концептуального и предварительного проектирования процессов организации. Результаты предварительного проектирования представляются пятью взаимосвязанными элементами: описанием процессов, сформированной междисциплинарной командой, интегрированной проектной моделью, конференц-лабораторией, программно-аппаратной и ИТ-инфраструктурой.

Описание процессов должно представлять собой модели процессов, востребованные практикой организации, построенные с разных точек зрения для ответов на вопросы к моделям относительно процессов.

Сформированная междисциплинарная команда представляется взаимодействующими специалистами разных специальностей, способными в команде выполнить требуемый проект. Ее члены принимают решения совместно, основываясь на целостном восприятии проекта и на разностороннем видении проблем.

Интегрированная проектная модель описывает требуемый процесс реализации проекта, обеспечивающий достижение заданных показателей производительности, эффективности, качества, исполнение графика, соблюдение бюджета и другие характеристики.

Конференц-лаборатория обеспечивает условия совместной работы междисциплинарной команды на стадиях концептуального и последующего технического проектирования, разработки и выпуска продукции.

Программно-аппаратная и ИТ-инфраструктура представляет собой требуемую совокупность связанных данными ручных и автоматизированных технологий, выявленными в моделях процессов организации и в интегрированной проектной модели, используемых междисциплинарной командой и персоналом организации на жизненном цикле проекта (организации, выполняющей проекты). Эта совокупность связанных данными технологий представляет собой *систему технологий организации*, выполняющую подобные проекты.

Этот пример подтверждает, что в практике разработки жизненного цикла организации как сложной системы, важное место занимает стадия ее предварительного проектирования, которая необходима как при создании организации (проекта), так и при ее реинжиниринге. Следовательно, актуальной научной задачей является *обоснование применения системных*

методов и нотаций при разработке концептуальных моделей организационно-технических систем с целью определения требований к используемым такими системами автоматизированными технологиями (CAD/CAM/CAE, PDM/PLM, CAPP, MES, ERP др.).

II. Концепции и лучшие практики концептуального моделирования организаций

Источниками информации для предварительного проектирования организаций могут являться лучшие практики успешных организаций и концепции управления процессами их деятельности. Они представляют организацию сложной открытой организационно-технической системой, а ее описание (познание) – моделями, основными аспектами которых являются: функциональный, информационный, ресурсный и организационный [3, 4]. Описания этих аспектов взаимосвязаны, но доминирующим является функциональный (структурный) аспект.

Однако в лучших практиках и стандартах сам процесс и средства моделирования организаций методически не определены, несмотря на то, что разработка и использование надежных методик ранних стадий моделирования (концептуального проектирования) организаций, включая моделирование систем технологий, имеет первостепенное значение. Этим также обусловлена актуальность и необходимость обоснования системы требуемых надежных методов и средств синтеза основных моделей организации на стадиях предварительного проектирования. Необходимость надежной методики особенно важна для организаций, стоящих в начале пути создания или реинжиниринга организации.

Концепции ПиК [5] и CALS [6] дают системное видение организации как системы процессов на всех уровнях технологий управления. Концепция CALS в качестве инструментария моделирования предлагает использовать методологию SADT [7].

Модель (схема) Захмана [8] представляет подход к описанию организаций и определяет рациональные взаимосвязанные аспекты описаний, формируя вопросы к описанию и этапы претворения идей в жизнь.

Она, как и ГОСТ Р ИСО 19439-2008, не определяет методы и средства моделирования организаций. Для стадии предварительного проектирования организации условно можно выделить наиболее актуальную часть матрицы аспектов описаний: – столбцы Мотивация, Люди, Данные, Функции и строки: Контекст, Модель бизнеса, Системная модель. Эта часть соответствует аспектам моделирования организаций, отраженным в ГОСТ Р ИСО 19439-2008. Остальная часть матрицы отражает другие аспекты описаний и стадии технического проекта.

Стандарт COBIT (Control Objectives for Information and related Technology) [9] предоставляет набор утверждённых метрик, процессов и лучших практик с целью помощи в извлечении максимальной выгоды от использования информационных технологий и для разработки соответствующего руководства и контроля ИТ в компании. Концепция стандарта предполагает построение механизмов управления ИТ исходя из того, какая информация необходима для достижения бизнес-целей. Стандарт может использоваться как ориентир на лучшую практику для проектирования и оценки автоматизированных процессов конкретной организации. При этом организация может использовать стандарт в различной мере в зависимости от фазы своего развития, особенностей и ограниченности ресурсов организации.

Известны также специализированные методологии, технологии, методы и средства проектирования преимущественно программных подсистем и ИТ- услуг организаций (ARIS, UML, SysML, ITIL). Результатами их использования являются аспекты описаний преимущественно программных продуктов, для разработки которых могут использоваться результаты предварительного проектирования.

Известны проверенные практикой методология SADT и IDEF-методы познания сложного и моделирования системы процессов, которые наиболее эффективны на ранних стадиях (предварительного, концептуального) проектирования, где облик продукта обсуждается и определяется разными специалистами с использованием естественного языка (IDEF-методы использованы здесь при изготовлении рисунков).

С учетом отмеченного, в разработке описаний организации можно выделить стадии ее концептуального и технического проектирования, использующие разные источники информации и инструментальные средства (рисунок).

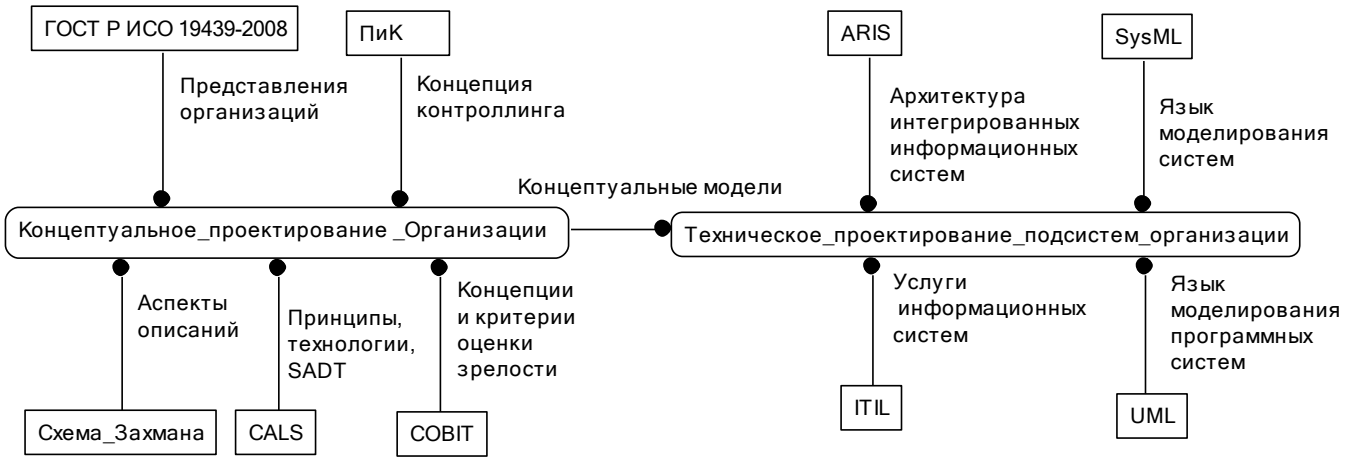


Рис. 1. Взаимосвязь методик и лучших практик, используемых на стадиях концептуального и технического проектирования систем

III. IDEF-МЕТОДЫ КАК РАЦИОНАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ

Техническое проектирование сводится преимущественно к проектированию системы технологий организации, являющейся инструментом осуществления модели процессов и интегрированной проектной модели организации.

Создавать концептуальные модели должен менеджмент организации по инициативе и под контролем ее руководства, используя концепции и лучшую практику достижения конкурентоспособности и учитывая особенности организации. При этом возникает задача выбора рациональных методов моделирования, пригодных для требуемых аспектов моделей, и разработки методики моделирования. На концептуальном уровне математическое описание моделей процессов отсутствует. Основная задача моделирования – создание понятных разным участникам (специалистам) разработанных ими и согласованных моделей «как будет» концептуального представления организации в разных аспектах (информационных срезах).

Для выбора методов моделирования следует установить требования к ним процесса концептуального моделирования. К основным требованиям следует отнести:

- использование в описаниях (моделях) естественного языка. Требование обусловлено участием в концептуальном моделировании (в предварительном проектировании) и обсуждении моделей разных специалистов и заинтересованных сторон, владеющих разными специальными языками. Естественный язык понятен всем участникам;
- ориентация на коллективную разработку моделей персоналом организации в асинхронном режиме. Требование обусловлено необходимостью коллективной разработки и экспертной оценкой моделей «как будет»;
- возможность создавать связанные между собой модели разных аспектов, отражающих общие задачи, и данные;
- наличие возможностей представления основных аспектов концептуальных моделей предварительного проектирования (функционального, данных, ресурсного и организационного);
- наличие методологии, обеспечивающей надежность и достоверность результата моделирования;
- визуальное моделирование, позволяющее легко понимать суть модели;
- возможность отображения в аспекте описания отображения объектов из других аспектов описания (взаимосвязи моделей);
- возможность генерации моделей с использованием ручных и автоматизированных средств;
- возможность использования моделей предварительного проектирования в техническом проекте;
- наличие средств автоматизации моделирования и CASE-средств.

Наиболее подходящими для удовлетворения обозначенных требований является методология SADT (рекомендованы концепцией CALS) и IDEF-методы, предназначенные для описания сложного, которые особенно эффективны и выразительны на ранних стадиях проектирования. Совокупность IDEF-методов обеспечивает моделирование в аспектах, обозначенных в ГОСТ Р ИСО 19439-2008 и в схеме Захмана. В предварительном проектировании системы технологий достаточно использовать методы IDEF0, IDEF1X, DFD и IDEF3. Это обусловлено тем, что методы IDEF интегрированы в систему методов, а в модели одного аспекта используются объекты из описания другого аспекта. Например, «Механизмами», выявленными в модели IDEF0, могут быть технологии и роли персонала, участвующие в процессах организации, которые входят в ресурсную и организационную модель; данные, выявленные в функциональной модели, входят в модель данных и наоборот – данные, установленный в концептуальной модели данных используются в качестве связей в функциональных моделях. Блоки функциональных моделей могут быть пояснены моделями сценариев и потоков данных, а модели сценариев и потоков данных могут служить источниками информации для создания функциональных моделей.

В отличие от методов, используемых в техническом проектировании, IDEF-методы, порожденные и ассоциированные с SADT, позволяют в модели одного аспекта связывать и согласовывать задачи функций и их связи – данные (входы и результаты; цели и требования к результатам и процессам; ресурсы и роли участников процессов, используемые для решения задач функций), что необходимо для представления моделей организации и учета влияния моделей разных аспектов друг на друга. Интеграция IDEF-методов позволяет установить взаимодействие между моделями разных аспектов, например, экспортировать и импортировать сущности и их атрибуты между функциональными моделями и моделями данных. Используя предложенные средства, можно моделировать системы процессов как работающих организаций (модели «как есть»), так и вновь разрабатываемых моделей системы процессов (модели «как будет»). При этом разработанные модели обязаны проходить верификацию в соответствии с разработанной SADT-методологией процедурой верификации, чем обеспечивается их достоверность.

IDEF-моделирование также поддерживают среды автоматизации (например, Process Modeller, Data Modeller, Design/IDEF, 3SL Cradle).

Таким образом, можно сделать вывод, что IDEF-модели (IDEF0, IDEF1X, DFD) методологии SADT включают в себя все основные аспекты моделирования и наиболее эффективны на стадии предварительного проектирования систем.

Список литературы

[1] Адизес И. Управление жизненным циклом корпорации. СПб.: Питер, 2007. 384 с.

[2] «Как цифровые двойники и виртуальные испытания ускоряют разработку РКТ». Доклад Siemens Digital Industrial Software (https://www.youtube.com/watch?v=HbywNIxXPoM).

[3] ГОСТ Р ИСО 19439-2008. ИНТЕГРАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ. Основа моделирования предприятия.

[4] Шубин Р.В., Прокофьев Г.И. Модели структуры информационных технологий научно-производственной организации // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2021. №1. С. 42-50.

[5] Хан Д. Планирование и контроль: Концепция контроллинга: Пер. с нем./ Под ред. и с предисл. Ф.Ф. Гурчака, Л.Г. Головача, М.Л. Лукашевича. М.: Финансы и статистика, 1977. 800 м.: ил.

[6] NATO CALS HANDBOOK. March 1, 2000. URL: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.194.9777 &rep=rep1&type=pdf.

[7] Марка Д.А. Методология структурного анализа и проектирования : [Пер. с англ.] / Дэвид А. Марка, Клемент Л. МакГоуэн; Предисл. Д.Т. Росса. М.: Фирма "Мета Технология", 1993. 240 с. : ил.

[8] William H. Inmon, John A. Zachman, Jonathan G. Geiger (1997). Data Stores, Data Warehousing, and the Zachman Framework: Managing Enterprise Knowledge. McGraw-Hill, 1997.

[9] Haes S.D., Grembergen W.V. (2015). "Chapter 5: COBIT as a Framework for Enterprise Governance of IT". Enterprise Governance of Information Technology: Achieving Alignment and Value, Featuring COBIT 5 (2nd ed.). Springer. pp. 103–128.

Повышение точности детектирования навигационного ориентира на основе методов компьютерного зрения в условиях недостаточной видимости

П. Ю. Беляев[1], Е. А. Неверов[2], И. И. Викснин[3]
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
[1]belyaev.edu@gmail.com, [2]datnever@yandex.ru, [3]wixnin@mail.ru

И. А. Зикратов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича
igzikratov@yandex.ru

***Аннотация*. В работе представлена система компьютерного зрения для навигации беспилотного транспортного средства на основе использования навигационных ориентиров в условиях недостаточной видимости. Был разработан алгоритм предварительной обработки изображения на основе CNN для повышения точности считывания навигационных ориентиров в условиях присущих для крайнего севера (снег, туман). Для распознавания использовалась модифицированная CNN YOLOv4. Точность распознавания предварительно обработанных изображений составила свыше 84 %.**

Ключевые слова: обнаружение объектов, CNN, сложные условия, искусственные данные

I. Введение

Одной из базовых систем, необходимых для функционирования беспилотных транспортных средств (БТС), является система навигации. Без знаний о точном местоположении БТС не представляется возможным обеспечить успешное выполнение поставленных задач, что влечет за собой те или иные риски исходя из масштаба задач, возлагаемых на БТС. В данном исследовании рассматривается навигация с помощью средств компьютерного зрения посредством использования CNN в качестве детектора.

Наиболее частая задача навигации БТС ограничивается условиями городской среды, помещений и т. д. В условиях городской среды основными паттернами для извлечения служат дорожные знаки, светофоры, разметка, когда в помещении паттерны выбираются в соответствии с типом помещения. Актуальность исследования обусловлена необходимостью функционирования БТС в сложных условиях – в северных регионах. Навигация в северных регионах будет отличаться от навигации в обычных условиях из-за ограничений, накладываемых природой [1]. В отличии от города или помещения, в северных регионах отсутствуют те или иные визуальные ориентиры, что делает невозможным визуальную навигацию, помимо этого данным регионам присуще понятие «сложные» из-за низких температур, смены погоды (снег, туман, снежная буря).

Ввиду функционирования БТС в сложной среде на нее накладываются определенные ограничения. Традиционным подходом к обеспечению навигации БТС являются системы спутниковой навигации (ССН), например, ГЛОНАСС или GPS [2]. Преимуществом ССН является достаточная точность определения местоположения на открытой местности и глобальный охват благодаря большому количеству спутников. Однако, к существенным недостаткам ССН относится большую зависимость от погодных условий. Таким образом, вопрос исследования дополнительных средств для поддержания точной навигации БТС является актуальным, необходимо исследовать дополнительные подсистемы навигации, позволяющие обеспечить точное и непрерывное определение местоположения БТС в сложных условиях.

Одним из подходов к решению представленной задачи является использование методов машинного зрения. Пример такого решения приведен в [3–6]. В [3] предлагается использовать метод RANSAC для выделения плоскостей, выделения геометрических и семантических объектов в дальнометрических изображениях. Метод направлен на indoor навигацию, однако, возможно использование и в условиях открытой местности, если в данных условиях будет достаточное количество навигационных ориентиров, что исключает возможность применения из-за особенностей исследуемой местности. В [4] представлен метод, основанный на сборе информации с топологической карты. В данной работе предлагается подход к классификации с отклонением мобильного робота с использованием информации топологической карты для оптимизации его навигации. Применение данного подхода направлено на местность с возможностью извлечения навигационных ориентиров, однако, как и предыдущий метод, исследуемая среда не обладает достаточным для данного подхода количеством признаков и больше направлена на indoor навигацию. Подход представленный в [5] предполагает использование стереозрения для создания сеточной карты нахождения в окружающей среде с последующей сегментацией в режиме реального времени. Применение данного метода предпочтительно для использования в indoor навигации, однако, применение стереозрения предпочтительнее использовать для перестроения маршрута и объезда препятствий [6].

В [7] рассмотрена метод на основе сегментации посредством JSEG и многослойного перцептрона. В

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации "Госзадание" №075-01024-21-02 от 29.09.2021 (проект FSEE-2021-0014).

рамках рассматриваемой задачи данный метод может работать некорректно ввиду однородности окружающей среды зимника. Методы машинного обучения на основе данных также широко применяются для решения задач навигации БТС [8–11]. По отношению к навигации физических роботов подходы к обучению либо ориентируются на эталонный образец эксперта, [12], [13], либо обучаются методом проб и ошибок с использованием обучения с подкреплением [14], [15]. Исходя из этого эти методы обучения позволяют улучшить работу в конкретной среде с увеличением опыта навигации, если агент будет последовательно помещен в разные среды (что часто встречается в реальной навигации, когда БТС переносится из одной среды использования в другую), методы обучения могут плохо обобщаться и легко забывать прошлые знания, что ведет к ухудшению навигации БТС. Проведенный анализ методов навигации на основе системы машинного зрения позволяет говорить о применимости рассмотренных методов в первую очередь для indoor-навигации, т. е. навигации внутри помещений. Indoor-навигация характеризуется большим количеством информативных признаков в окружающей среде [16], что позволяет обеспечить достаточную точность навигации с использованием приведенных методов. Навигация на кустовых площадках подразумевает в первую очередь outdoor-навигацию – навигацию на открытых пространствах, которая характеризуется недостаточным количеством информативных признаков.

Таким образом, применение известных методов на основе машинного зрения для навигации не является эффективным, но возможна адаптация существующих методов и подходов для формирования системы навигации на основе машинного зрения для outdoor-навигации. Использование систем на основе компьютерного зрения на местности с малым количеством признаков для навигации возможно при условии, что на местности будут дополнительные объекты-ориентиры для более точной локализации, которые могут быть распознаны при различных погодных условиях (снег, туман, снежная буря). Примером подобных ориентиров могут служить метки AprilTag.

В связи с изменяющимися условиями окружающей среды было решено использовать подход на основе CNN для создания модели распознавания ориентировочной метки и последующего считывания, закодированной нанесенной на ней метке по мере приближения в ней, т. к. данный тип сетей показал значительную эффективность в других системах навигации [17]. Актуальность данной работы обусловлена тем, что исследование направлено на довольно сложные, изменяющиеся, а также зависящие от погоды условия.

II. Набор данных и метрики

A. Набор данных

Несмотря на то, что в открытом доступе можно найти большое количество для обучения модели CNN, такие данные не позволяют отразить заданные условия сложной и изменчивой погоды северных регионов, значительно влияющей на получаемые с камеры изображения. В условиях отсутствия возможности сбора реальных изображений, для генерации данных были выбраны искусственные методы генерации данных. Процесс создания искусственного набора данных происходит в 2 этапа:

- разработка объекта-ориентира путем создания 3D объекта (класса);
- генерация искусственных данных в сложных условиях (снег, туман, снежная буря).

Исходя из того, что исследование проходит в снежных регионах была разработана модель метки. Благодаря отсутствию паттернов в окружающей среде, как говорилось ранее, данная метка выделяется на фоне снега.

Для генерации обучающей и валидационной выборки была использована среда Unity. Данные были сформированы путем размещения метки-ориентира в кадре с различным фоном и окружением, а также элементами рандомизации в положении и повороте. Для имитации сложных условий были задействованы компоненты Unity – 3D снег, туман, снежная буря (рис. 1).

Использование искусственных данных позволяет расширить объем обучающей выборке, что ведет к повышению точности [18]. По итогу общая выборка составила 10000 сгенерированных изображений 80 % из которых сформировало обучающую выборку, а 20 % валидационную.

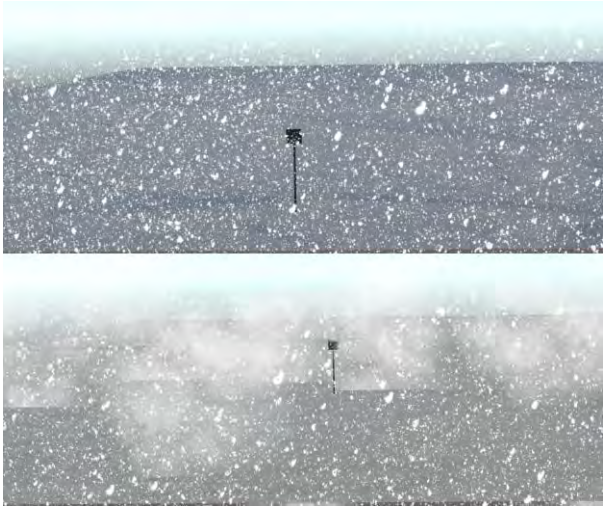


Рис. 1. Примеры искусственных данных для обучения модели

B. Метрики оценки

В рассматриваемом в данной работе практическом сценарии необходимо выбрать индикатор, отражающий эффективность распознавания метки. При этом, необходимо оценить как качество обнаружения объекта из определенного списка классов, так и правильность классификации этого объекта.

Для задач обнаружения объектов обычно используется такая мера, как средняя точность (average precision – AP), получаемая из двух показателей: precision и recall [19].

Возможные события при обнаружении объекта одного определенного класса можно описать следующим образом:

- True positives – объект нужного класса был правильно заключен в окно кадрирования – найден;
- False positives – в окно обрамления было заключено что-то другое, но не объект нужного класса.

Точность (precision) отражает долю истинно положительных результатов среди всех результатов для данного класса.

$$Точность = \frac{True\ positives}{True\ positives + False\ positives} \quad (1)$$

Полнота (recall) отражает долю найденных обрамляющих окон для данного класса, среди всех, представленных в ground truth этого изображения.

$$Полнота = \frac{True\ positives}{Number\ of\ ground\ truth\ boxes} \quad (2)$$

AP является способом оценки precision-recall, представляющим вычисления среднего значения всех точностей. Используя цикл, который проходит через все значения precisions/recalls, вычисляется разница между текущим и последующим recall, а затем умножается на текущую точность. AP – это взвешенная сумма precisions на каждом пороге кривой, где вес – это увеличение recall.

Для оценки корректности заключения объекта в обрамляющее окно используется метрика Пересечение по объединению (Intersection over Union – IoU) – метрика, используемая для оценки точности работы алгоритмов, детектирующих объекты. Типичное пороговое значение, указывающее на правильное обнаружение, составляет IoU > 50 %. Значение IoU равно частному площади пересечения предсказанного обрамляющего окна и окна-ответа из ground truth на площадь объединения этих окон.

Поскольку при оценке точности алгоритма обнаружения и классификации нельзя ограничиться средней точностью, в дальнейшем будет использована метрика Mean Average Precision (mAP), которая является средним значением показателя AP.

$$mAP = \frac{\sum_{q=1}^{Q} AP(q)}{Q} \quad (3)$$

где Q – количество классов, q – класс, AP(q) – AP для класса q.

C. Детектор на основе CNN YOLOv4

Разрабатываемый модуль детектирования основывается на YOLOv4 – детекторе объектов на изображениях. Выбор в пользу архитектуры YOLOv4 обусловлен превосходством данной модели над иными как по скорости работы, так и по точности распознавания, что позволяет говорить о возможности использования YOLOv4 для задач, решение которых необходимо производить в реальном времени [20]. Помимо архитектуры YOLO [20], для повышения эффективности и точности распознавания в сложных задачах (например, изменяющиеся условия, распознавание сложных объектов и т. п.) используются такие CNN, как AlexNet [21], VGG [22], SSD [23] и R-CNN [24]. Алгоритмы Fast R-CNN, Faster R-CNN основаны на подходе предположения о регионах. Они состоят из двух частей, первая часть строит наборы регионов, которые с определенной вероятностью отображают объект, отличный от фона. Вторая часть занимается обработкой этих предположений и, основываясь на результатах обработки, классифицирует объект на каждом кадре. В отличие от других CNN, алгоритм работы которых состоит из двух этапов, YOLO способен предсказывать граничные поля и вероятности классов за один шаг.

В данной работе авторами была использована архитектура CNN YOLOv4, предварительно обученная на 80 классах из набора данных MS COCO [25]. Результаты обучения на синтетических данных представлены (рис. 2).

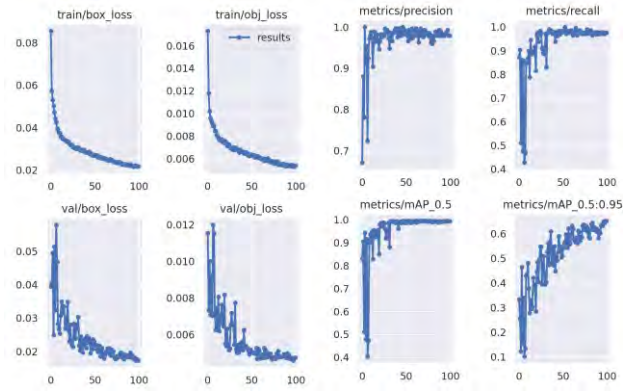


Рис. 2. Результаты обучения детектора YOLOv4 на основе искусственных данных

III. Результаты

Эксперимент проходил в сравнении двух методов поиска метки-ориентира. Первый метод был основан на основе предобработки изображения посредством CNN. Предобработка включала в себя использование Desnowing HDCWNet [26]. Результаты обработки изображений (рис. 3).

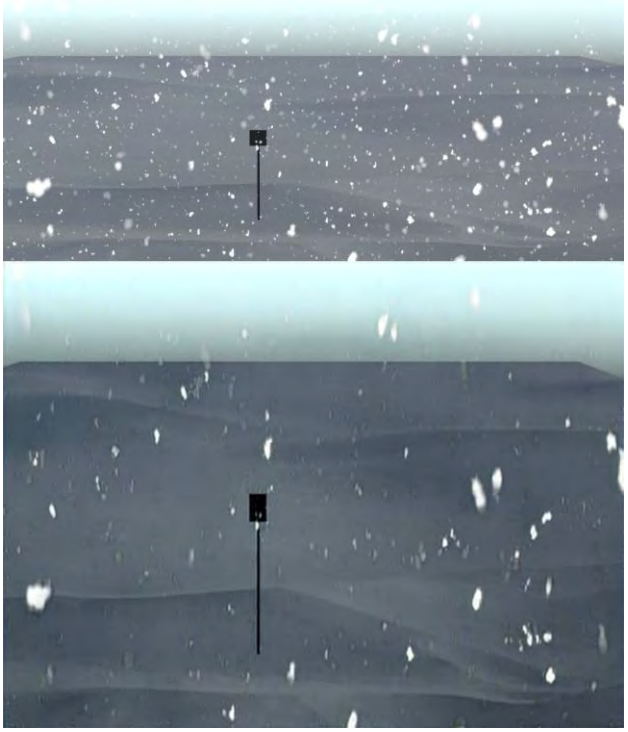


Рис. 3. Результаты предобработки изображения с помощью Desnowing HDCWNet [26] (до предобработки – сверху, после предобработки – снизу)

Второй метод основывался на повышении четкости изображения путем алгоритмов, связанных с ядром

изображения (повышение/повышение яркости, контрастности) (рис. 4).

Рис. 4. Результаты предобработки изображения с помощью алгоритма на основе ядра изображения (до предобработки – сверху, после предобработки – снизу)

Результаты сравнения методов представлены в таблице.

ТАБЛИЦА I РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ МЕТОДОВ

Метод	**mAP 0.5**	**mAP 0.5-0.95**
Desnowing HDCWNet + YOLOv4	0,96	0,84
Обработка ядра изображения + YOLOv4	0,95	0,77
YOLOv4	0,93	0,68

Наиболее большую точность показал метод основанный на Desnowing HDCWNet с последующим извлечением объекта детектором YOLOv4. Однако, если мы рассматриваем задачу расчета полученных данных непосредственно на БТС, то наиболее предпочтительным будет метод на основе обработки ядра изображения из-за того, что точность имеет минимальную потерю, однако скорость работы данного метода выше.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования был создан искусственный датасет меток-ориентиров в различных сложных погодных условиях присущих северным регионам. На основе данного датасета, состоящего из 10000 обучающих изображений, был обучен детектор на основе CNN YOLOv4 с *mAP0.5* 0,93 и *mAP0.5-0.95* 0,68.

Следующим этапом была проверка методов предобработки изображений перед работой детектора CNN YOLOv4. Наилучший результат показал метод на основе Desnowing HDCWNet, однако, данный метод обладает меньшей скоростью в отличии от метода основанного на обработке ядра изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Кабалдин Ю.Г., Киселёв А.В., Шатагин Д.А. Концепция разработки маршрута движения беспилотного транспортного средства в условиях Арктики //Евразийский Союз Ученых. 2016. №. 31-1.

[2] Wells D. et al. Guide to GPS positioning //Canadian GPS Assoc. 1987.

[3] Казьмин В.Н., Носков В.П. Выделение геометрических и семантических объектов в дальнометрических изображениях для навигации роботов и реконструкции внешней среды //Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. №. 10 (171).

[4] Marinho L.B. et al. A novel mobile robot localization approach based on classification with rejection option using computer vision //Computers & Electrical Engineering. 2018. Т. 68. P. 26-43.

[5] Murray D., Little J. J. Using real-time stereo vision for mobile robot navigation //autonomous robots. 2000. Т. 8. №. 2. P. 161-171.

[6] Lulio L.C., Tronco M.L., Porto A.J.V. JSEG-based image segmentation in computer vision for agricultural mobile robot navigation //2009 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation-(CIRA). IEEE, 2009. P. 240-245.

[7] Hussein A. et al. Autonomous off-road navigation using stereo-vision and laser-rangefinder fusion for outdoor obstacles detection //2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE, 2016. P. 104-109.

[8] Tai L., Paolo G., Liu M. Virtual-to-real deep reinforcement learning: Continuous control of mobile robots for mapless navigation //2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017. P. 31-36.

[9] Zeng J. et al. Navigation in unknown dynamic environments based on deep reinforcement learning //Sensors. 2019. Т. 19. №. 18. P. 3837.

[10] Wang Y., He H., Sun C. Learning to navigate through complex dynamic environment with modular deep reinforcement learning //IEEE Transactions on Games. 2018. Т. 10. №. 4. P. 400-412.

[11] Pfeiffer M. et al. From perception to decision: A data-driven approach to endto-end motion planning for autonomous ground robots //2017 ieee international conference on robotics and automation (icra). IEEE, 2017. P. 1527-1533.

[12] Silver D., Bagnell J.A., Stentz A. Applied imitation learning for autonomous navigation in complex natural terrain //Field and Service Robotics. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. P. 249-259.

[13] Kahn G. et al. Self-supervised deep reinforcement learning with generalized computation graphs for robot navigation //2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2018. P. 5129- 5136.

[14] Han S.H. et al. Sensor-based mobile robot navigation via deep reinforcement learning //2018 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp). IEEE, 2018. P. 147-154.

[15] Kirkpatrick J. et al. Overcoming catastrophic forgetting in neural networks //Proceedings of the national academy of sciences. 2017. Т. 114. №. 13. P. 3521-3526.

[16] DeSouza G.N., Kak A.C. Vision for mobile robot navigation: A survey //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Т. 24. №. 2. P. 237-267.

[17] Shin H. C. et al. Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning //IEEE transactions on medical imaging. 2016. V. 35. №. 5. P. 1285-1298.

[18] Belyaev P., Spivak A., Neverov E. Development of the Detecting System of the Landmark Tags to Increase the Navigation Accuracy of an Unmanned Vehicle in a Known Location //2021 29th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). IEEE, 2021. P. 36-41.

[19] Padilla R., Netto S. L., da Silva E. A. B. A survey on performance metrics for object-detection algorithms //2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP). IEEE, 2020. P. 237-242.

[20] Bochkovskiy A., Wang C. Y., Liao H. Y. M. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection //arXiv preprint arXiv:2004.10934. 2020.

[21] Iandola F.N. et al. SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and< 0.5 MB model size //arXiv preprint arXiv:1602.07360. 2016.

[22] Yu W. et al. Visualizing and comparing AlexNet and VGG using deconvolutional layers //Proceedings of the 33 rd International Conference on Machine Learning. 2016.

[23] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu, and A. C. Berg, “Ssd: Single shot multibox detector,” in European conference on computer vision. Springer, 2016, pp. 21–37.

[24] Zhang S. et al. Tiny YOLO optimization oriented bus passenger object detection //Chinese Journal of Electronics. 2020. Т. 29. №. 1. P. 132-138.

[25] Lin T.Y. et al. Microsoft coco: Common objects in context //European conference on computer vision. Springer, Cham, 2014. P. 740-755.

[26] Chen W.T. et al. ALL Snow Removed: Single Image Desnowing Algorithm Using Hierarchical Dual-Tree Complex Wavelet Representation and Contradict Channel Loss //Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2021. P. 4196-4205.

Цифровые двойники измерительных процедур

И. А. Брусакова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
brusakovai@mail.ru

Аннотация. **Технологии цифровых двойников позволяют достоверно описывать образы реальных измерительных процессов, объектов измерения, инфраструктуры информационно-измерительных систем. Цифровые двойники измерительных процедур позволят описывать измерительные процессы с требуемой точностью и достоверностью для виртуальных измерительных цепей. Создание цифровых двойников измерительных процедур позволит существенно обогатить практику проектирования интеллектуальных информационно-измерительных систем. Метрологический анализ и синтез измерительных процедур рассматривается в условиях цифровых трансформаций инфокоммуникационной инфраструктуры информационно-измерительной систем. Технологии цифровых двойников предлагается реализовывать с помощью технологий Интернета вещей и платформ виртуализации измерений. В статье приводятся примеры виртуализации процессов метрологического анализа измерительных процедур.**

Ключевые слова: цифровые двойники, измерительная процедура, образ измерительной процедуры, виртуальные измерительные цепи, интеллектуальные информационно-измерительные системы, мера метрологической достоверности

I. Введение

Создание методов и средств математического и информационного обеспечения измерительных процедур позволяет повысить эффективность и качество измерений и не нарушает принципа единства измерений, повторяемости результатов измерений с требуемой точностью и достоверностью оценок погрешностей метрологических характеристик результатов изменений [1]. Технологии цифровых двойников целесообразно применять для имитационного моделирования процессов измерений и процессов метрологического анализа результатов измерений. Создание цифровых двойников измерительных процедур позволит существенно обогатить практику проектирования интеллектуальных информационно-измерительных систем (ИнИИС). Информационно-измерительная система в парадигме развития киберфизических систем рассматривается как необходимая составляющая ИнИИС. В свою очередь, ИнИИС является составляющей технической подсистемы киберфизической системы. Технологии интеграции информационных ресурсов для такого рода систем должны обеспечивать принцип сквозной интеграции, консолидации, синхронизации. В этом случае информационный ресурс формируется на базе данных об объекте измерения, о виде измерительной процедуры, о виде входного воздействия, о методах и моделях метрологического анализа, о моделях метрологических характеристик результатов измерений.

II. Алгоритмическое обеспечение технологии цифровых двойников измерительных процедур

Проектирование и функционирование ИнИС в современном мире невозможно осуществить без технологических инноваций. Современное понимание содержания «технологической инновации» включает в себя организацию мероприятий по внедрению новых технологий сопровождения создания нового продукта, услуги [2]. Внедрение в процессы проектирования технологий цифровых двойников, Интернета вещей, технологий машинного обучения, многомерного анализа данных и реализуют технологические инновации проектирования ИнИИС. Информационно-измерительная технология в условиях киберфизических систем, как технология реализации измерительного процесса, включает следующие подпроцессы:

- идентификация измерительной ситуации в виде формализованных сведений об априорной информации измерений, метрологических требованиях и ограничениях;
- формирование образа объекта измерений и влияющих факторов;
- разработка методики организации измерительного эксперимента;
- разработка методики верификации и оптимизации измерительного эксперимента;
- разработка процедур метрологического анализа;
- разработка процедур метрологического синтеза;
- выполнение измерений на основании синтезированной цепи.

Технологии цифровых двойников целесообразно применять для всех перечисленных подпроцессов. Такой подход позволит обеспечить системность проектирования измерительных процессов и систем.

В [1] впервые предложено рассматривать ИнИС как совокупность средств, интегрированных в сети, снабженных на всех этапах формализации описания данных и знаний блоками метрологического автосопровождения (МАС), блоком принятия решений (БПР) и интеллектуальными интерфейсами. Предполагалось, что при описании множества измерительных ситуаций на множестве входных сигналов, множестве измерительных ситуаций возможно создание программных продуктов, которые бы позволили оценивать достоверность полученных оценок метрологических характеристик результатов измерений.

Многократно утверждалось [1, 3], что состав априорных знаний (АЗ) для проведения метрологического анализа с использованием имитационного моделирования ВИЦ должен включать в

себя: АЗ об объекте измерений, о составе ВИЦ и свойствах измерительных модулей, об условиях измерений, о виде оцениваемой метрологической характеристики, о методе измерений и т. д.

Под образом измерительной процедуры будем понимать ее визуализацию средствами многомерной машинной графики на основании априорных знаний о составляющих измерительной процедуры.

Технологии визуализации цифровых двойников позволят сформировать образ измерительной процедуры в многомерном пространстве признаков оценок погрешностей результатов измерений. Образ измерительной процедуры формируется на основании априорной информации об измерительном процедуре. Технологии цифровых двойников позволяют отобразить образ в динамическом режиме.

Процедуры оценивания характеристики погрешности $\theta[\Delta U_j{}^*]$ имеют целью получить набор ошибок оценивания $\delta\theta^*[\Delta U_j{}^*]$ этих характеристик. Такие ошибки оценивания названы мерами метрологической достоверности. Эти меры оценивают достоверность проведенного метрологического анализа. Таким образом, в технологиях цифровых двойников эти меры можно использовать для оценки достоверности полученного образа измерительной процедуры.

Под достоверностью метрологических характеристик понимается отличие вероятностной характеристики погрешности результата измерений от ее оценки, т. е.

$$\Delta\theta[\Delta\lambda_j^*] = \theta[\Delta\lambda_j^*] - \theta^*[\Delta\lambda_j^*] =$$
$$\Delta_{\text{на}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*] + \Delta_{\text{ни}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$$
$$\theta[\Delta\lambda_j^*] = \int_{\Delta} g[\Delta\lambda_j^*] w[\Delta\lambda_j^*] d\Delta\lambda_j^*,$$

где под $g[\Delta\lambda_j^*]$ понимается характеристика погрешности полной группы погрешностей $\Delta\lambda_j^*$, а именно: математическое ожидание $M[\Delta\lambda_j^*]$, дисперсия $D[\Delta\lambda_j^*]$, интервальное оценивание плотности вероятности полученных метрологических характеристик (МХ) в виде $P_{\Delta}[\Delta_{\text{н}}, \Delta_{\text{в}}]$; $\Delta_{\text{на}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$ – погрешность неадекватности определения модели погрешности, $\Delta_{\text{ни}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$ – погрешность неидеальности [3].

Алгоритмическое обеспечение технологии цифровых двойников заключается в формализации и систематизации априорных знаний об измерительной процедуре, моделях входных воздействий, методах измерений, моделей условий измерений, моделях погрешностей результатов измерений, моделях методической составляющей погрешности результатов измерений, моделях достоверности характеристик метрологического анализа и т. д.

При наполнении баз априорных знаний об измерительной процедуре надо иметь в виду, что мы пока получаем только статичную картину для построения цифровых двойников измерительных процедур. Имитационное моделирование процессов измерений позволит организовать мониторинг необходимой информации в динамике. Применение технологий цифровых двойников с возможностью визуализации образов измерительных процедур существенно повысит принятие решений об их достоверности.

III. Модели измерительных процедур

Теоретические положения математической метрологии позволяют оперировать такими понятиями как «процессорные измерения». Введение в измерительную цепь процессорной обработки позволяет реализовать получение результата измерений в цифровой форме. Простейшим видом процессорных измерений является микроописание любой измерительной процедуры в виде [1, 3]

$$U_j^* = R_{\text{п}} R_{\text{м}} R_{\text{сч}} R_{\text{к}} R_{\text{д}} U_j(t),$$

где $R_{\text{п}} R_{\text{м}} R_{\text{сч}} R_{\text{к}} R_{\text{д}}$ – операторы процессорной обработки, масштабирования, считывания, квантования и дискретизации $U_j(t)$ в результат измерения на *j*-й итерации измерительной процедуры U_j^*.

Множество расчетных соотношений было получено при использовании принятой в [1] классификации видов измерений:

- прямые без усреднения неитеративные;
- косвенные без усреднения неитеративные;
- прямые с усреднением неитеративные;
- косвенные с усреднением неитеративные;
- прямые без усреднения итеративные;
- косвенные без усреднения итеративные;
- прямые с усреднением итеративные;
- косвенные с усреднением итеративные.

Классификация измерений проводится также по следующим признакам:

- наличие или отсутствие основного функционального преобразования;
- наличие или отсутствие усреднения;
- наличие или отсутствие итераций.

Классификация погрешностей результатов измерений традиционно проводится по следующим признакам:

- систематические или случайные;
- аддитивные или мультипликативные;
- статические или динамические;
- методические или инструментальные.

Так, например, в качестве иллюстрации подхода к структурированию априорных знаний АЗ_{M_R} отдельных модулей измерительной процедуры для проведения имитационного моделирования оценки достоверности результатов МА только описание модели дискретизатора в виде

$\text{АЗ}_{\text{д}} = \{ t_j$; $\Delta t_{\text{д}_j}$; M_γ; $w[\gamma]$; $h_{\text{и}}(t', t_j)$; $\Delta_{\text{д}} U_j^*$; $\{\alpha_s\}_{s=1}^{S_\alpha}$; $\{\alpha_s\}_{s=1}^{S'_\alpha}$; $\{w(\alpha_{s_1})\}$; $U_j(t) = U_j \in [a, b]$; $U_{\text{вых. д}_j}(t_j)$; $w[U_{\text{вых. д}_j}(t_j)]\}$, где $\Delta t_{\text{д}_j}$ – j-ый интервал дискретизации, M_γ – модель входного

воздействия, $w[\gamma]$ – плотность вероятности входного воздействия, $h_{и}(t', t_j)$ – принятая импульсная переходная характеристика дискретизатора, $\Delta_{д} U_j^*$ – погрешность дискретизации, $\{\alpha_s\}_{s=1}^{S_\alpha}$; $\{\alpha_s\}_{s=1}^{S'_\alpha}$; $\{w(\alpha_{s_1})\}$ – совокупность используемых при оценивании детерминированных параметров, параметров их имитационного моделирования, плотность вероятности параметров моделирования, соответственно; $U_j(t) = U_j \in [a, b]$ – результат измерений входного сигнала в j-ом измерительном эксперименте; $U_{вых.\,д_j}(t_j)$, $w[U_{вых.\,д_j}(t_j)]$ – результат измерений выходного сигнала дискретизатора *в j*-ом измерительном эксперименте и его плотность вероятности, соответственно, позволяет судить о сложности обеспечения полноты построения образа цифрового двойника всей измерительной процедур, образов ее метрологических характеристик и образа меры метрологической достоверности.

IV. Информационное обеспечение технологий цифровых двойников измерительных процедур

Метрология в эпоху цифровых трансформаций претерпевает революционные изменения в области применения цифровых инфокоммуникационных технологий по хранению, обработке, приобретению, интерпретации измерительной информации.

В эпоху цифровых трансформаций общества метрологическое обеспечение на предприятиях должно обеспечивать постоянное повышение точности и метрологической надежности средств измерений для цифровой экономики; опережающее развитие метрологического обеспечения на основе прогноза измерительных потребностей; учитывать многократное возрастание количества средств измерений и датчиков (1,5 млрд ед.); необходимость организации метрологического обеспечения в едином информационном пространстве для виртуальных и облачных измерительных систем; возможность удаленных поверок и калибровок средств измерений; возможности метрологического обеспечения результатов измерений с использованием технологий цифровых двойников и т. д.

Технологии визуализации, консолидации, обеспечения полноты, безопасности и т. д. измерительной информации характеризуют особенности информационного обеспечения технологий цифровых двойников измерительных процедур.

Новые подходы нормативно-правового регулирования в области законодательной метрологии [4–6] позволяют обеспечивать «платформенные решения» для проведения измерений в едином информационном пространстве.

Цепочка приращения ценности процессов измерений в виде

«датчик - программно-аппаратное обеспечение - MES, SCASDA - ВИЦ- ИнИИС- результат измерения, мера метрологической достоверности»

обеспечивается современными технологиями.

В настоящее время разработаны технологии «Метрологического облака», которые позволяют: консолидировать информационные ресурсы о процессах измерений, организовать дифференцированный доступ всех партнеров к метрологическому облаку как базам данных, повысить качество метрологических услуг. Технологии цифровых двойников интегрируются с технологиями виртуализации измерений на базе LabView virtual measurement circuit design environment [7], ZETLab, Matlab Simulink, с BigData-технологиями, технологиями Интернета вещей, технологиями блокчейн и смарт контрактинга, распределенного реестра.

V. Заключение

Таким образом, в статье представлен подход к описанию образа измерительной процедуры на базе технологий цифровых двойников. Под образом измерительной процедуры будем понимать ее визуализацию средствами многомерной машинной графики на основании априорных знаний о составляющих измерительной процедуры. Состав априорных знаний для проведения метрологического анализа с использованием имитационного моделирования ВИЦ должен включать в себя: АЗ об объекте измерений, о составе ВИЦ и свойствах измерительных модулей, об условиях измерений, о виде оцениваемой метрологической характеристики, о методе измерений. Каждая составляющая априорных знаний об измерительной процедуре имеет свой цифровой образ. Образ меры метрологической достоверности измерительной процедуры представляется как динамическая модель. Система образов рассматривается как система цифровых двойников составляющих измерительную процедуру. Технологии интеграции информационных ресурсов для такого рода систем должны обеспечивать принцип сквозной интеграции, консолидации, синхронизации. Создание цифровых двойников измерительных процедур позволит существенно обогатить практику проектирования интеллектуальных информационно-измерительных систем.

Список литературы

[1] Брусакова И.А., Цветков Э.И. Достоверность результатов метрологического анализа: Учебн. Пособие СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001, 120 с.

[2] Теоретическая инноватика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры/под ред. И.А. Брусаковой. М.: Изд-во Юрайт, 2017. 333 с.

[3] Брусакова И.А., Цветков Э.И. Метрологический анализ виртуальных измерительных цепей: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2000. 76 с.

[4] ГОСТ Р 8.818-2013 НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Государственная система обеспечения единства измерений «СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ»

[5] ГОСТ Р 8.673.2009: Государственная система обеспечения единства измерений. Датчикиинтеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определенияоригинал документа http://www/pravo.gov.ru, 23.11.2020 «Новые подходы нормативно-правового регулирования по вопросам поверки средств измерений в рамках цифровизации деятельности в области обеспечения единства измерений» Приказ Минпромторга от 31.07.2020 № 2510, зарег. Минбстом 20.11.2020, рег. № 61033, http://www.labview.ru/

Когнитивная визуализация многомерных распределений для выявления аномального поведения киберфизических систем

В. Л. Горохов, И. А. Брусакова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
brusakovai@mail.ru

***Аннотация*. Рассматриваются методы и средства когнитивной визуализации многомерных распределений данных мониторинга киберфизических систем. Приводиться пример визуализации аномального поведения совокупности агрегатов Красноярской ГРЭС для предотвращения аварийных ситуаций.**

Ключевые слова: когнитивные методы визуализации, когнитивная компьютерная графика, многомерная статистика

I. Введение

В настоящее время регулярно возрастает количество чрезвычайных ситуаций на природных, промышленных объектах, происходят несанкционированные вторжения в информационные системы киберфизических систем. Для своевременного выявления и предупреждения чрезвычайных ситуаций необходимо обеспечить обнаружение и прогноз аномальных состояний киберфизических систем по многомерной совокупности характеристик объектов. В данной работе впервые предлагается, с помощью средств когнитивной компьютерной графики, представить многомерные данные в виде когнитивных псевдотрехмерных образов многомерных распределений, которые стимулируют эмпирическую интуицию человека-оператора и которая помогает обнаруживать синхронные взаимные корреляции и тренды в многомерных данных, с последующей их объективацией.

В работе приводятся модернизированные алгоритмы динамического проецирования, обеспечивающие генерацию когнитивных образов многомерных распределений. Когнитивные образы многомерных распределений позволяют визуализировать многомерные взаимные корреляции параметров сложных систем и тем самым обнаруживать экстремальные состояния объектов мониторинга. Хочется отметить, что практика применения когнитивной машинной графики, где форма когнитивного образа многомерного распределения помогает обнаруживать малые, но синхронные изменения многомерных характеристик объектов мониторинга. Отметим что эти малые изменения характеристик, которые носят синергетический характер, часто являются предвестниками чрезвычайных ситуаций и вторжений.

II. Алгоритм когнитивной визуализации многомерных распределений

Осуществляется мониторинг киберфизической системы представленной как совокупность n-однотипных сложных систем (объектов мониторинга). По результатам мониторинга измеряется p-различных характеристик этих систем. Таким образом, для каждой системы измеряется набор характеристик d_j (j=1,….,p), который образует в многомерном пространстве характеристик R^P облако точек $\boldsymbol{T}$, которые обозначают совокупность объектов мониторинга [1]. Эти характеристики в многомерном статистическом анализе обозначаются как переменные. Традиционно, совокупность (p,n) значений для всех остальных сложных систем (объектов мониторинга) $d_{i,j}$ матрицей **D.** В результате измерения набора характеристик для всей совокупности объектов мониторинга в многомерном пространстве характеристик образуется облако точек $\boldsymbol{T}$**,** каждая из которых, в многомерном пространстве, обозначает конкретную систему. Теперь обозначим набор из p характеристик каждой конкретной i-той сложной системы в виде d_j (j=1,….,p). Значение d_j для каждой i характеристики j-системы $\{d_{ij}\}$, а совокупность (p,n) значений для всех остальных сложных систем (объектов мониторинга) d матрицей **D**.

Таким образом, результаты мониторинга киберфизических систем описываются матрицей: $\mathbf{D} = \{d_{ij}\}$; $i = (1, n)$, $j = (1, p)$, где d_{ij} –действительные значения переменных (измеряемых параметров, признаков), n – число объектов мониторинга всех p характеристик объектов мониторинга, p – число измеряемых характеристик (признаков) объектов наблюдения Как и одномерном случае **D** рассматриваются как многомерные совокупности случайных величин.

Идея алгоритма визуализации многомерного распределения состоит в том, что в исходную матрицу данных **D,** которая описывает облако точек $\boldsymbol{T}$ в многомерном пространстве R^P добавляется еще один столбец, в котором приведены результаты оценивания многомерной плотности вероятностей появления измеряемых комбинаций значений характеристик. В качестве дополнительной координаты (в этом новом многомерном пространстве) добавляются вероятности совместного появления этих характеристик. Эти вероятности легко вычисляются, как частоты совместного появления значений этих характеристик в заданном диапазоне. Далее, будем полагать это $p+1$-мерное пространство координат эвклидовым $\boldsymbol{R}^P$, что упрощает дальнейшие рассуждения (рассмотренные далее алгоритмы остаются рабочими в подходящих базисах аффинного пространства и ряда других базисов). Теперь полученная матрица данных представляет собой многомерное распределение вероятностей $\mathbf{D}^*$. В общем случае, $\mathbf{D}^*$**,** как многомерное распределение вероятностей, содержит статистические сведения о поведении характеристик сложных систем

(корреляционные свойства, разброс, положение, тренд изменения характеристики в совокупности объектов, и осцилляции). Это определяет геометрическую форму многомерного распределения, которая может быть представлена средствами когнитивной визуализации, которые описаны ниже. Многомерные ковариации и корреляции, а также взаимные многомерные ковариации и корреляции в виде квадратных матриц описывают зависимости между характеристиками.

Еще раз подчеркнем, что в качестве дополнительной координаты этого многомерного пространства добавляется вероятности совместного появления этих характеристик. Далее, будем полагать это $p+1$-мерное пространство координат эвклидовым $\boldsymbol{R}^P$, что упрощает дальнейшие рассуждения (рассмотренные далее алгоритмы остаются рабочими в подходящих базисах аффинного пространства и ряда других базисов).

Для когнитивной визуализации используем принципы динамического проецирования и для этого построим отображения Φ как проекцию этого облака $\boldsymbol{T}$ на двумерную плоскость $\mathbf{Q}^2$, проходящую через начало координат пространства $\boldsymbol{R}^P$. Но при этом обязательно одной из осей плоскости будет ось значений многомерных плотностей вероятностей. Пусть в $\mathbf{Q}^2$ заданы единичные ортогональные вектора **u** и **v**, используя их несложно вычислить координаты (x,y) проекции данных на двумерную гиперплоскость **Q**: $x_i = pr_{\mathbf{u}}\,\mathbf{d}_i = \mathbf{d}_i \cdot \mathbf{u}$, $y_i = pr_{\mathbf{v}}\,\mathbf{d}_i = \mathbf{d}_i \cdot \mathbf{v}$, где исходная матрица данных **D** описывает облако точек **T** в многомерном пространстве $\boldsymbol{R}^P$. Здесь используется алгоритм [1], который строит непрерывную последовательность положений $\mathbf{Q}^2$, образующих «траектории», вдоль которых и отслеживается динамика образа. Для этого строится процедура динамического вычисления последовательности пар векторов **{u, v}.** Каждая ортогональная пара векторов $\{\mathbf{u}, \mathbf{v}\}|_{\boldsymbol{g}}$ будет определять двумерную плоскость $\mathbf{Q}|_{\boldsymbol{g}}$ и ее ортогональный базис, где $\boldsymbol{g}$ набор управляющих параметров небольшой размерности. Определим гиперплоскость **W** (размерности $p-1$), проходящую через начало координат пространства $\boldsymbol{R}^P$ нормальным уравнением: $\mathbf{x} \cdot \mathbf{n} = 0$, где $\mathbf{n}=\{n_j\}$ – вектор нормали, $\mathbf{x}=\{x_j\}$ – независимые переменные p-мерного пространства. Используя приведенные формулы, можно осуществить динамическую проекцию многомерного распределения **D*** на двумерную плоскость, одной из осей которого в данном алгоритме является ось значений плотностей вероятностей. Например, выбрав ведущие оси, задав нормаль и направление вращения, изменяя с небольшим приращением угол поворота ϕ, получим динамический циклический «обзор» многомерного распределения **D*.** Таким образом, модернизированный алгоритм формирует на плоскости $\mathbf{Q}^2$ динамическую проекцию многомерного распределения.

Эта проекция благодаря когнитивным возможностям человеческого сознания порождает в сознании человека оператора динамический образ, который позволяет визуализировать особенности формы (геометрии) многомерного распределения вероятностей. Эти особенности отражают статистические многомерные зависимости в поведении характеристик сложных систем (корреляционные свойства, многомерные дисперсионные отношения, условные разброс, положение, нелинейные тренды в изменениях характеристик в совокупности объектов, и осцилляции). Именно эти особенности и позволяют осуществлять долговременный прогноз и диагностику аномалий и вторжений в сложные киберфизические системы.

III. Практическое применение когнитивных технологий для выявления аномальных состояний объектов мониторинга

Для предварительного когнитивного анализа выделен ряд параметров гидроагрегата Красноярской ГРЭС (например: расход, мощность реактивная, мощность активная, вибрация турбинного подшипника, вибрация ого подшипника и т. д. 22 параметра). После первичного рассмотрения оператором когнитивного образа объединённого 22-х мерного массива данных, были выбракованы и исключены из дальнейшего рассмотрения параметры 7 и 11, не меняющие значение в указанный период времени. Дальнейший анализ показал наличие в рассматриваемой предметной области трех аномальных статистических зависимостей и особенностей способных влиять на поведение гидроагрегатов системы в целом. На приведённых ниже скриншотах выделена одна такая особенность, способная оказать влияние на параметры 1 и 2, вызванная возможно частичным внутренним нарушением обычного функционирования системы или возможным внешним, по отношению к системе, воздействием (рис. 1). Выявлены зоны для резкого изменения ряда параметров гидроагрегата. Эти параметры существенным образом определяют состояние агрегата. Разумеется, количественное измерение связей между параметрами теперь становиться возможным средствами многомерного статистического анализа.

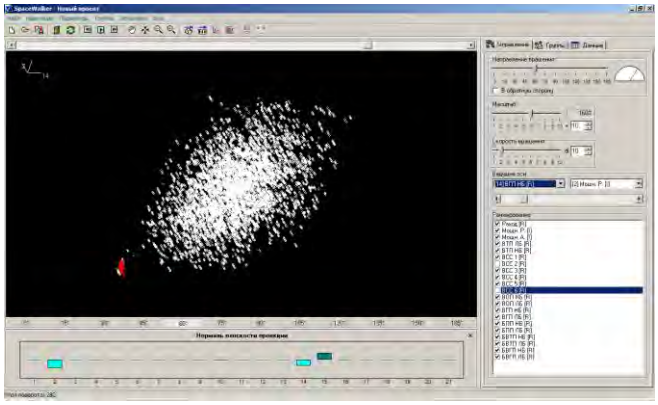


Рис. 1.

IV. Заключение

Таким образом, в статье предложен набор алгоритмов, позволяющий визуализировать геометрические особенности многомерного распределения вероятностей, описывающей совокупность сложных систем в многомерном пространстве их характеристик.

Наблюдаемые особенности многомерного распределения позволяют увидеть и документировать множественные статистические зависимости «сигнализирующие» об информационных вторжениях и аномалиях в поведении сложных систем. Практика многомерного анализа показывает, что использование всей совокупности измеренных характеристик позволяет осуществлять долговременный прогноз аномального поведения киберфизических систем. Кроме того,

предлагаемые алгоритмы работают в рамках широкого класса вероятностных моделей, включая непараметрику, что приводит к высокой надежности и устойчивости работы предлагаемых алгоритмов за счет их независимости от частностей вероятностных моделей. Это обеспечивает их работоспособность в условиях глубокой неопределенности, которая присуща киберфизическим системам. Кроме того, здесь может быть корректно использован эмпирический опыт и профессиональная интуиция, присущая человеку-оператору, как актору киберфизической системы [1–6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Горохов В.Л., Муравьев И.П. Когнитивная машинная графика. Методы динамических проекций и робастная сегментация многомерных данных. Методология, методики и интерфейсы: Монография. СПб.: Издательство ИНЖЭКОН. 2007, 173 с.

[2] Лазарев В.Л. Обработка наблюдений на основе информационных критериев // Труды международной конференции по мягким вычислениям, 25-27 мая 2016, (SCM–2016), том 1, Санкт-Петербург. Изд-во СПбГЭТУ. 2016. 11-15 с.

[3] Управление в условиях неопределенности. / Прокопчина С.В., Шестопалов М.Ю., Уткин Л.В., Куприянов М.С., Лазарев В.Л., Имаев Д.Х., Горохов В.Л., Жук Ю.А., Спесивцев А.В. /Монография. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014 303 с.

[4] Цаплин В.В., Горохов В.Л., Витковский В.В. Когнитивные технологии визуализации многомерных данных для интеллектуальной поддержки принятия решений // Программные продукты и системы, №3(107), 2014. С. 22-25.

[5] Gorokhov V.L Vitkovskiy V.V. Baryshev Y.V. Innovation complexity and the cognitive visualization of multidimensional data // Мягкие измерения и вычисления. 2019. №4 (17). Pp.43-58.

[6] Лазарев В.Л., Горохов В.Л., Власов Д.А. Прогнозирование и управление производством на основе унифицированных моделей // Вестник Международной академии холода. 2019. № 4. С. 64-70.

Методы контроля подземного трубопроводного транспорта на основе дистанционных измерений

Р. Е. Вавилов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
revavilov@gmail.com

***Аннотация*. Рассмотрены возможности применения магнитометров для обнаружения дефектов подземных трубопроводов на основе результатов дистанционных магнитометрических измерений. Приведена классификация существующих методов контроля подземных трубопроводов и проведено их сравнение. Предложено использование метода анализа иерархий для многокритериального выбора средств контроля. Рассмотрена возможность совместного использования электрометрического и дистанционного магнитометрического видов контроля для повышения эффективности оценки состояния трубопровода.**

Ключевые слова: подземный трубопровод, многокритериальный выбор, метод анализа иерархий, дистанционные измерения, магнитометрический метод, магнитное поле

I. Введение

Для обеспечения бесперебойной поставки углеводородного сырья на нефте- и газоперерабатывающие заводы, а также для поставки продуктов переработки сырья, во всём мире широко применяется трубопроводный транспорт. Условно его можно разделить на промысловые (подводящие) трубопроводы, связывающие источники сырья с установками его первичной переработки, и магистральные.

Магистральный трубопровод представляет собой производственно-технологический комплекс, в состав которого помимо линейных сооружений (трубопроводы, запорная арматура, переходы через естественные и искусственные препятствия, узлы запуска и приёма средств очистки и диагностики, станции катодной защиты и др.) также входят головные и промежуточные перекачивающие станции вместе с другими технологическими объектами, необходимыми для транспортировки, приёмки и сдачи сырья от пунктов приёма до пунктов сдачи потребителям или перевалку на другой вид транспорта.

Безопасная эксплуатация трубопроводного транспорта достигается благодаря проведению своевременной комплексной диагностики его линейных сооружений и ремонту выявленных в результате диагностики дефектов. Особенную роль играет диагностика непосредственно самих трубопроводов с целью обнаружения дефектов металла, из которого он изготовлен. Для этого необходимо не только обнаруживать дефекты с высокой степенью достоверности, но и определять их параметры, а также классифицировать выявленные дефекты по существующим типам, чтобы определить причину их возникновения.

Существуют различные методы, позволяющие проводить диагностику как промысловых, так и магистральных трубопроводов. Для повышения достоверности и информативности результатов обследования целесообразным является комплексирование методов контроля, при котором совместно используются результаты нескольких видов контроля для повышения его эффективности. Данный подход позволяет обнаружить и распознать определённые виды дефектов, исследуя свойства различных физических полей, возникающих в непосредственной близости от контролируемого трубопровода. Так, например, может исследоваться переменное электромагнитное поле, формируемое электрометрическим оборудованием, и постоянное магнитное поле, возникающее вследствие эффекта Виллари. Комплексирование результатов магнитометрических и электрометрических измерений может лежать в основе новой методики контроля трубопроводов.

II. Классификация методов контроля

Установление факта наличия повреждений трубопроводов основано на первоначальном исследовании характеристик физических полей, существующих в непосредственной близости от трубопровода. Определённые виды повреждений будут влиять на характеристики исследуемых полей. Измеряемые характеристики поля являются информативными параметрами, анализ которых позволяет делать выводы о наличии того или иного вида повреждений. По виду исследуемого в процессе контроля физического поля методы контроля трубопроводов разделяют на следующие:

- магнитометрические методы (исследование характеристик магнитного поля, измерение модуля вектора магнитной индукции и градиента);
- электрометрические методы (исследование электрического поля, измерение силы протекающего по трубопроводу тока);
- акустические методы (исследование параметров, взаимодействующих с объектом контроля упругих колебаний);
- оптические методы (визуально-измерительный контроль, исследование характера взаимодействия оптического излучения с поверхностью металлических стенок трубопровода);
- радиационный контроль (исследование характера взаимодействия ионизирующего излучения с поверхностью металлических стенок трубопровода).

По наличию источника возмущений методы контроля разделяют на активные (анализ реакции объекта контроля на тестовое воздействие) и пассивные (анализ возмущений физического поля, порождаемых самим объектом контроля).

По характеру взаимодействия средства контроля с объектом контроля методы разделяют на контактные, требующие прямого контакта с трубопроводом, и бесконтактные (дистанционные).

III. Бесконтактная магнитометрическая диагностика

Одним из широко используемых подходов в диагностике трубопроводов является использование бесконтактных магнитометров. Удобство применения данного подхода заключается в отсутствии необходимости проводить вскрытие трубопровода шурфом, регистрация магнитных аномалий магнитометром возможна без непосредственного контакта со стенкой трубы. В основе обнаружения дефектов бесконтактным магнитометром лежит регистрация магнитных аномалий в местах нарушения сплошности стенки металлической трубы, однако при этом не требуется намагничивать трубу извне, так как источником магнитного поля в эксплуатирующихся трубопроводах является магнитоупругий эффект (эффект Виллари). Известно, что идеальный трубопровод можно рассматривать как изотропную среду. Другими словами, идеальный трубопровод обладает идеальной кристаллической структурой, в нём отсутствуют разного рода дефекты и механические напряжения. Если такой трубопровод будет находиться под давлением перекачиваемого продукта, то на всём его протяжении возникнут растягивающие продольные и поперечные усилия, при этом вследствие магнитоупругого эффекта также возникнут соответственно продольное и поперечное намагничивание трубопровода на всём его протяжении. Суммарное магнитное поле в данном случае будет состоять из продольных и поперечных составляющих магнитоупругого эффекта и магнитного поля Земли. Аномальных точек на трубопроводе не возникает по причине изотропности трубы.

Если же в какой-либо точке трубопровода приложить механическое напряжение или нарушить целостность трубопровода вокруг этой точки, то возникает анизотропное изменение внутренней кристаллической решётки металла, что соответственно изменяет магнитное сопротивление в этой точке. В результате в окрестностях этой точки возникает искажение магнитного поля. При измерениях магнитометром такие искажения регистрируются как аномалии. На магнитограмме такие аномалии определяются резкими скачками сигнала, значительно отличающимися по величине от сигнала, зарегистрированного над участком с отсутствием дефектов.

IV. Многокритериальный выбор средств контроля

Целесообразно сравнивать между собой не сами методы, а средства контроля, основанные на том или ином методе контроля. Для решения задачи многокритериального выбора средств контроля предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ) с применением аппарата теории нечётких множеств [1].

Пусть $A = \{A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_n\}$ – множество рассматриваемых средств контроля технического состояния трубопровода, $j \in [1, n]$. В качестве вариантов предлагается рассматривать средства контроля, основанные на внутритрубной диагностике (A_1), ультразвуковой дефектоскопии (A_2), бесконтактной магнитометрической диагностике (A_3), электрометрическом обследовании (A_4) и средства контроля на основе совместных магнитометрических и электрометрических измерений (A_5).

Пусть $K = \{K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_m\}$ – множество количественных и качественных критериев оценки эффективности средства контроля, $i \in [1, m]$. Сравнивать средства контроля предлагается по следующим критериям: K_1 – количество видов обнаруживаемых дефектов (шт.), K_2 – влияние фоновой обстановки на результаты диагностики (низкая, средняя, высокая), K_3 – стоимость проведения работ (тыс.руб.), K_4 – выраженная в процентах вероятностная характеристика качества диагностики (%), K_5 – точность определения местоположения дефектов (мм), K_6 – необходимость прямого доступа к объекту контроля (необходимость наличия контакта с трубопроводом), K_7 – производительность диагностики (км/день). В качестве вероятностных характеристик качества диагностики принято [2, 3] использовать такие показатели, как вероятность выявления участков с дефектами металла – Probability of Detection (POD), вероятность правильной интерпретации степени опасности – Probability of Interpretation (POIn), вероятность правильной идентификации типа дефекта – Probability Of Identification (POI), вероятность ложных сигналов – Probability of false call (POFC), вероятность пропуска опасных дефектов – Probability of exceedence (POE).

Обнаружение дефекта одним средством контроля и обнаружение дефекта некоторым другим средством – независимые (обнаружение дефекта одним средством не меняет вероятности обнаружения дефекта другим средством) и совместные (дефект может быть обнаружен одновременно двумя средствами контроля) события. Рассматривая обнаружение дефекта средством контроля A_3 как событие C_{A_3} и обнаружение дефекта средством контроля A_4 как событие C_{A_4}, согласно теореме о сложении вероятностей совместных событий можно определить вероятность обнаружения дефекта при использовании комбинированного средства контроля

$$A_5{:}P\left(C_{A_5}\right) = P\left(C_{A_3} + C_{A_4}\right) =$$
$$= P\left(C_{A_3}\right) + P\left(C_{A_4}\right) - P\left(C_{A_3}\right) \cdot P\left(C_{A_4}\right).$$

Из данного определения вероятности видно, что вероятность обнаружения дефекта хотя бы одним из двух средств контроля будет выше, чем вероятность обнаружения одним любым из двух средств контроля по отдельности.

Обозначим $\mu_{K_i}(A_j)$ как число из интервала [0, 1], которым средство контроля $A_j \subset A$ оценивают по критерию $K_i \subset K$. Тогда критерий K_i можно представить нечётким множеством $\widetilde{K}_i$ на множестве средств контроля A:

$$\widetilde{K}_i = \left\{\frac{\mu_{K_i}(A_1)}{A_1}, \frac{\mu_{K_i}(A_2)}{A_2}, \dots, \frac{\mu_{K_i}(A_j)}{A_j}, \dots, \frac{\mu_{K_i}(A_n)}{A_n}\right\},$$

где $\mu_{K_i}(A_j)$ − степень принадлежности элемента A_j нечеткому множеству $\widetilde{K}_i$.

Для возможности сравнения используют девятибалльную шкалу Саати [4]. Попарно сравниваются средств контроля A_j по выбранному критерию K_i. Парные сравнения представлены матрицами вида:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix},$$

где a_{ij} − число, соответствующее значимости средства A_i по сравнению со средством A_j $(i, j = 1 \dots n)$.

При наличии нескольких отличающихся друг от друга матриц парных сравнений альтернатив и/или критериев (экспертные высказывания от нескольких экспертов) следует определить среднее геометрическое значение каждого элемента матриц для составления единой матрицы из множества имеющихся матриц [5].

Далее известными способами проверяются экспертные высказывания. Проверка основана на нахождении значения отклонения согласованности (ОС) и сравнения его с некоторым установленным пороговым значением. Значение $\text{ОС} \leq 0.1$ (или 10 % в процентах), считается приемлемым, то есть высказывания экспертов считаются согласованными. В случае большого количества критериев как в рассматриваемом случае (размер матрицы парных сравнений критериев равен 7x7) для успешного прохождения проверки экспертных высказываний допустимо принять ОС равным 0.2 [6].

После проверки согласованности высказываний экспертов необходимо перейти к нахождению координат собственного вектора $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ для каждой матрицы $A(K_i)$ при максимальном собственном числе λ_{max} матрицы $A(K_i)$. Для этого пользуются следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} (A - \lambda_{max}E)W = 0, \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1; \end{cases}$$

Уравнение $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ называется условием нормировки (нормализации). E – единичная матрица.

Степеням принадлежности нечеткого множества $\widetilde{K}_i$ соответствуют координаты собственного вектора W матрицы A:

$$w_j = \mu_{K_i}(A_j).$$

С учётом коэффициентов важности критериев α для каждого множества $\widetilde{K}_i$ формируются нечёткие множества $\widetilde{K}_i^{\alpha_i}$. Каждая степень принадлежности $\mu_{K_i}(A_j)$ возводится в степень α_i:

$$\widetilde{K}_i^{\alpha_i} = \left\{ \frac{\mu_{K_i}^{\alpha_i}(A_1)}{A_1}, \frac{\mu_{K_i}^{\alpha_i}(A_2)}{A_2}, \dots, \frac{\mu_{K_i}^{\alpha_i}(A_n)}{A_n} \right\}.$$

Согласно принципу Беллмана–Заде, наилучшим вариантом будет такой, который в наибольшей степени одновременно удовлетворяет всем критериям. Нечёткое решение определяется пересечением частных критериев:

$$\widetilde{D} = \widetilde{K}_1^{\alpha_1} \cap \widetilde{K}_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap \widetilde{K}_m^{\alpha_m} =$$
$$= \left\{ \frac{\min\limits_{i=1,m}\left(\mu_{K_i}^{\alpha_i}(A_1)\right)}{A_1}, \frac{\min\limits_{i=1,m}\left(\mu_{K_i}^{\alpha_i}(A_2)\right)}{A_2}, \dots, \frac{\min\limits_{i=1,m}\left(\mu_{K_i}^{\alpha_i}(A_n)\right)}{A_n} \right\}$$
$$=$$
$$= \left\{ \frac{\mu_D(A_1)}{A_1}, \frac{\mu_D(A_2)}{A_2}, \dots, \frac{\mu_D(A_n)}{A_n} \right\}$$

В соответствии с данным нечётким решением наилучшим будет средство контроля A с максимальной степенью принадлежности:

$$D = \arg\max(\mu_D(A_1), \mu_D(A_2), \dots, \mu_D(A_n)).$$

Анализируя множество $\widetilde{D}$ можно выявить, какое средство контроля имеет превосходство перед другими средствами контроля. Аргумент D представляет собой наилучшее средство A_{opt} по совокупности критериев с учётом важности критериев.

Необходимо отметить, что при использовании предложенного метода многокритериального выбора результат в значительной степени зависит от самих экспертных суждений. Поэтому с целью повышения достоверности определения наилучшего средства контроля следует использовать матрицы парных сравнений, элементы которых определены средним геометрическим значением оценок от нескольких экспертов.

V. Заключение

Комплексирование результатов магнитометрических и электрометрических измерений, позволяет повысить достоверность обнаружения дефектов за счёт одновременного исследования влияния дефектов на электрическое и магнитное поля, возникаемые в непосредственной близости от обследуемого трубопровода. Использование многокритериального выбора средств контроля позволяет выбрать наилучшее средство при заданных условиях проведения диагностики.

Список литературы

[1] Лубенцова Е.В., Лубенцов В.Ф. Многокритериальный выбор алгоритмов систем управления с помощью нечетких парных сравнений // Наука. Инновации. Технологии. 2014. №1. С.97–110.

[2] Махов В.М., Хуснутдинов Л.А., Горошевский В.П., Камаева С.С. Риск-ориентированный подход и критерии оценки качества технического диагностирования трубопроводов методом магнитной томографии // Безопасность Труда в Промышленности. 2017. №5. С.42–48.

[3] С.С. Камаева, Н.А. Еремин. Риск-ориентированный подход к обеспечению безопасности газопроводов с применением бесконтактных технологий технического диагностирования // Нефть. Газ. Новации. 2017. №9. С.75–82.

[4] Т.Саати. Принятие решений. Метод анализа иерархий // М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

[5] Chiung Ching Ho, Jeremy Y. L. Yap, Choo-Yee Ting. Aggregating Multiple Decision Makers' Judgement. International Conference on Intelligent and Interactive Computing 2018 (IIC 2018), Malacca, August 2018, pp. 13-21.

[6] William C. Wedley. Consistency prediction for incomplete AHP matrices. Mathematical and Computer Modelling, 1993, V. 17, pp. 151-161.

Организация безопасной посадки беспилотного летательного аппарата посредством компьютерного зрения в условиях потенциального искажения входной визуальной информации

Ю. В. Ким[1], И. И. Викснин[2],
Р. И. Гатауллин[3], Е. А. Неверов[4]
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
[1]yulia1344@gmail.com, [2]wixnin@mail.ru,
[3]rusfiner@mail.ru, [4]datnever@ya.ru

И. А. Кайсина
ФГБОУ ВО ИжГТУ им. М.Т. Калашникова
IrinaKaysina25@gmail.com

***Аннотация*. В работе представлена система компьютерного зрения для организации безопасной посадки беспилотного летательного аппарата в условиях возможных искажений входной визуальной информации. Был разработан алгоритм предварительной обработки изображений, состоящий из повышения контрастности с помощью выравнивания гистограммы интенсивности с последующим применением фильтра Гаусса для удаления лишнего шума. Посадочная площадка имеет два состояния: открытая и закрытая. Для их распознавания была модифицирована нейронная сеть YOLOv3-tiny. Точность распознавания на тестовой выборке составила 0.97. Алгоритм был интегрирован в Jetson Nano, и достигнутое время обработки кадра составило 0.05 секунды, что позволит обрабатывать видеопоток в реальном времени.**

Ключевые слова компьютерное зрение, искусственный интеллект, беспилотный летательный аппарат, нейронная сеть, обработка изображений

I. Вступление

С начала XXI века большое распространение в мире получила Индустрии 4.0, суть которой заключается во внедрении кибер-физических систем в производственную область. Основные тенденции Индустрии 4.0 перечислены ниже:

- автономные роботы;
- большие данные;
- Интернет вещей;
- блокчейн;
- облачные вычисления.

Данное исследование более подробно останавливается на сфере автономных роботов, в частности, на аспекте обработки визуальной информации на борту беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). При использовании беспилотных летательных аппаратов в различных задачах, таких как мониторинг, большую роль играют системы измерения и наблюдения. Одной из таких систем является система компьютерного зрения. Во время использования систем компьютерного зрения БПЛА существует риск неверной классификации объектов. Причиной тому могут быть искажения входной графической информации, получаемой с видеопотока. Это может произойти в силу неблагоприятных погодных условий, а также низкого разрешения, загрязнения или повреждения камеры.

В условиях интеграции беспилотных летательных аппаратов в различные сферы жизни общества необходимо обеспечить безопасность функционирования БПЛА и минимизировать возможный вред технике, людям и окружающей среде. Теоретическая значимость работы заключается в разработанных моделях и алгоритмах, способных работать в условиях плохой видимости и неблагоприятных погодных условий. Практическая значимость работы выражается в возможности использования полученных результатов для последующей имплементации и эксплуатации разработанного метода в БПЛА с целью снижения ошибок при распознавании объектов на видеопотоке. Результаты проведенного исследования могут быть использованы в программной части БПЛА для уменьшения ущерба в случае возникновения нештатных ситуаций при эксплуатации.

В работах [1, 2] приведены исследования, посвященные построению систем компьютерного зрения и методам по уменьшению искажений входных изображений. В данной работе предполагается разработать систему компьютерного зрения, включающую в себя последовательность методов по минимизации входных искажений и распознаванию заданных объектов. В данной работе изучается аспект безопасной посадки БПЛА: распознавание состояния посадочной площадки (открытая или закрытая) с последующей оценкой возможности посадки.

Целью является обеспечение точности распознавания посадочной площадки в условиях искажения входной графической информации посредством системы компьютерного зрения на борту беспилотного летательного аппарата не менее 85 %. Реализация цели потребовала решения следующих задач:

- исследование фундаментальных аспектов в области компьютерного зрения;

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Госзадание» №075-01024-21-02 от 29.09.2021 (проект FSEE-2021-0014).

- анализ общих концепций, проблем и решений относительно построения систем компьютерного зрения для беспилотных летательных аппаратов;
- разработка системы компьютерного зрения, обеспечивающей повышение точности распознавания образов в условиях искажения входной визуальной информации;
- проведение экспериментов для проверки результативности разработанной системы компьютерного зрения.

Объект исследования – система компьютерного зрения. Предмет исследования – методы распознавания объектов при потенциальных искажениях входной визуальной информации. Результаты работы также имеют коммерческое применение. Планируется их внедрение в организации ГК «Беспилотные системы».

Статья состоит из 5 разделов: в разделе 1 дается общее описание применения компьютерного зрения в беспилотных летательных аппаратах, в разделе 2 содержится обзор существующих разработок в области компьютерного зрения, в разделе 3 представлена разработанная система компьютерного зрения для классификации состояния посадочной площадки, в разделе 4 представлены результаты экспериментов для оценки разработанной системы, в разделе 5 приведены итоги проведенных исследований и планы дальнейшей работы.

II. Обзор работ по теме исследования

Существует множество разработок в области интеграции компьютерного зрения в процесс посадки БПЛА. В работе [3] описана разработанная система посадки беспилотного летательного аппарата (БПЛА) посредством компьютерного зрения на движущееся транспортное средство. Для построения системы компьютерного зрения на борту БПЛА используются Cameleon 3 USB-камера, линза «рыбий глаз» для создания широкого панорамного или полусферического изображения. Для обработки визуальной информации на борту БПЛА имеется компьютер Jetson TK1. Для организации посадки на движущееся транспортное средство методами компьютерного зрения отслеживается цветовой маркер. Процесс отслеживания маркера строится на расчете относительного расстояния БПЛА и маркера.

Посадка на транспортное средство также исследовалась в статье [4]. Авторы данной работы разработали маркер для движущейся посадочной площадки на основе системы AprilTag. Процесс посадки организован через объединения результатов детектирования маркера и результатов относительного расположения БПЛА относительно маркера. Объединение категорий данных производится за счет EKF (Extended Kalman Filter). На основе этого БПЛА корректируется и организует процесс посадки.

Обнаружение маркера посадочной площадки посредством сравнения с шаблоном представлено в работе [5]. Набор данных, состоящих из ключевых точек маркера, генерируется с помощью метода SURF (Speeded up Robust Features). Полученный кадр видеопотока сопоставляется с примерами из сгенерированного набора данных.

Авторы статьи [6] разделили процесс посадки на три этапа: приближение, регулировка, приземление. Они разработали систему Robust and Quick Response Landing Pattern (RQRLP). На этапе приближения отслеживаются углы посадочной площадки для расчета относительного расположения дрона и площадки. На втором этапе производится отслеживание углов маркеров. На заключительном этапе производится организация оптического потока между соседними кадрами и корректировка посадки.

В статье [7] представлен контроллер с внедренными нейронной сетью и PID. Нейронная сеть распознает маркеры April Tag и организует корректировку БПЛА при посадке на платформу.

БПЛА часто функционируют на больших открытых пространствах. Существует риск повреждения или загрязнения камеры по естественным причинам: дождь, туман, ночь, снег. Это приводит к искажению входной визуальной информации. Вот почему исследователи работают над предварительной обработкой изображений, чтобы свести к минимуму негативное влияние искажений на эффективность компьютерного зрения.

В [8] для уменьшения шума изображения используется медианный фильтр, благодаря которому распознавание образов происходит быстрее и обеспечивает более высокую точность.

В работе [9] был разработан метод предварительной обработки изображений на борту дрона для устранения размытия в кадре. Мера размытия входного изображения рассчитывается и соответствующим образом корректируется.

В данной работе планируется разработать ряд методов, позволяющих минимизировать искажения входного изображения и обеспечить высокую точность распознавания при посадке БПЛА.

III. Система компьютерного зрения для безопасной посадки беспилотного летательного аппарата

A. Подготовка данных

Поскольку предполагается разработка системы компьютерного зрения, необходимо выполнить значительный этап подготовки данных. В рамках данного исследования данные были получены от Группы беспилотных систем. Для обеспечения возможности использования БПЛА в разных местах без привязки к конкретной станции используют автоматизированную взлетно-посадочную платформу – SuperBOX [10].

Платформа предоставляет возможность сформировать полетное задание, загрузить сформированный маршрут в систему управления и подготовить БПЛА к вылету. В этом исследовании для получения фотографий платформы с высоты БПЛА использовался DJI Mavic 2Zoom с камерой 4K.

Был собран набор данных из 25229 изображений (2688x1512 пикселей): 15713 изображений открытой платформы и 9516 изображений закрытой. Они представлены на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

БПЛА произвел фотосъемку посадочной площадки в следующих условиях: зимний сезон (со снегом), ночь, солнечная погода. По собранному набору данных планируется разработать последовательность методов предварительной обработки, провести аугментацию и обучить нейронную сеть.

B. Предварительная обработка изображений

Общие проблемы искажения входной визуальной информации перечислены ниже:

- размытие;
- шум;
- неравномерное распределение света.

Посадочная платформа состоит из маркера и цветных полос, которые необходимо выделить на фоне, чтобы выделить рисунок платформы. Этого можно добиться за счет усиления контраста. Для увеличения контраста были опробованы два метода:

- гамма-коррекция [11];
- выравнивание гистограммы интенсивности [12].

Результаты представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА I РЕЗУЛЬТАТ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ

Метод	Время работы (с)	Средняя насыщенность цвета
Гамма-коррекция	8.79	52.48
Выравнивание гистограммы интенсивности	0.02	61.46s

Рис. 1. Открытая посадочная площадка

Рис. 2. Закрытая посадочная площадка

(а)

(б)

Рис. 3. Результаты предварительной обработки: (а) – исходное изображение; (б) – обработанное изображение

Метод выравнивания гистограммы интенсивности показал хорошую скорость и более высокую насыщенность цвета. Однако необходимо учитывать, что после усиления контраста есть риск появления дополнительных шумов. Для уменьшения присутствия шума были протестированы три фильтра:

- двусторонний [13];
- медианный [14];
- Гауссовый [15].

Результаты фильтрации представлены в табл. II.

ТАБЛИЦА II РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ ШУМА

Метод	Время работы (с)	PSNR
Двусторонний фильтр	0.37	30.1
Медианный фильтр	0.0014	28
Гауссово размытие	0.0007	27.2

Фильтр Гаусса показал наибольшую скорость, что является важным, так как информация обрабатывается на борту БПЛА, и расчеты необходимо производить в режиме реального времени. Таким образом, для этапа предобработки изображения была выбрана последовательность выравнивания гистограммы интенсивности и размытия по Гауссу.

Результаты предварительной обработки изображения представлены на рис. 3.

C. Оценка состояния посадочной площадки

После этапа предварительной обработки следует провести обнаружение и классификацию. Для этого авторы модифицировали модель YOLv3-tiny, добавив дополнительные операции субдискретизации. Окончательная нейронная сеть состоит из 25 слоев. Набор данных был разделен на две выборки: 80 % обучающая (20184 изображения) и 20 % тестовая (5045 изображений). Для повышения качества обучения была проведена аугментация по следующим параметрам:

- диапазон вращения – 359°;
- диапазон насыщенности цвета – 255;
- диапазон оттенков – 179.

Параметры обучения перечислены ниже:

- momentum – 0.9;
- decay – 0.0005;
- скорость обучения – 0.001;
- размер входного множества изображений – 32.

По окончании процесса обучения был организован эксперимент по проверке качества и производительности нейронной сети.

IV. ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперимент проводился на Jetson Nano с тестовым наборе изображений. Для оценки обученной модели были рассчитаны следующие показатели:

- Accuracy согласно формуле (1);

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}, \quad (1)$$

где TP – число истинно положительных распознаваний; N – число истинно отрицательных распознаваний; FP –

число ложно положительных распознаваний; FN – число ложно отрицательных распознаваний

- Precision согласно формуле (2);

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

- Recall согласно формуле (3);

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

- F-мера согласно формуле (4);

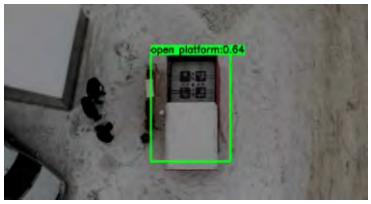
$$F1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision+Recall} \quad (4)$$

- mAP [16];
- время работы (с).

В качестве положительных значений авторы рассматривают случаи, когда посадочная площадка была классифицирована как закрытая (посадка невозможна), в качестве отрицательных значений – случаи, когда посадочная площадка классифицировалась как открытая. Рассчитанные показатели представлены в табл. III. Для сравнения была обучена и оценена оригинальная модель YOLOv3-tiny.

Результаты оценки посадочной платформы представлены на рис. 4.

(а)



(б)

Рис. 4. Результаты оценки состояния посадочной площадки: (а) – закрытая площадка; (б) – открытая площадка

ТАБЛИЦА III МЕТРИКИ ОЦЕНКИ РАБОТЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Метрика	Обученная модель	Оригинальная модель YOLOv3-tiny
Accuracy	0.97	0.96
Precision	0.97	0.96
Recall	0.98	0.96
F-мера	0.97	0.96
mAP	0.95	0.9
Время работы (с)	0.05	0.05

Разработанная система компьютерного зрения показала высокую точность и скорость обработки видеопотока в реальном времени.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании компьютерное зрение изучалось в контексте мониторинга БПЛА. Для обеспечения безопасности людей и окружающей среды все системы БПЛА должны работать с высокой точностью, а система компьютерного зрения является одним из важных компонентов мониторинга посредством БПЛА.

Авторы разработали систему компьютерного зрения, состоящую из предварительной обработки изображений, детектирования и классификации. На этапе предварительной обработки изображения использовалась последовательность выравнивания гистограммы интенсивности и размытия по Гауссу. Для этапа обнаружения и классификации модель YOLOv3-tiny была модифицирована и обучена на собранных данных. Достигнутая точность равна 0.97, а время обработки изображения – 0.05 секунды. В перспективе планируется испытать разработанную систему в реальном полете и адаптировать ее для обнаружения и классификации других объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Singh D., Sahu M.R. A survey on various image deblurring techniques. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2013. vol. 2, no. 12, pp. 4736-4739.

[2] Zhou D. X. Universality of deep convolutional neural networks. Applied and computational harmonic analysis. 2020. vol. 48, no. 2, pp. 787-794.

[3] Lee H., Jung S., Shim D.H. Vision-based UAV landing on the moving vehicle. 2016 International conference on unmanned aircraft systems (ICUAS). 2016. pp. 1-7.

[4] Araar O., Aouf N., Vitanov I. Vision based autonomous landing of multirotor UAV on moving platform. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2017. vol. 85, no. 2, pp. 369-384.

[5] Sudevan V., Shukla A., Karki H. Vision based autonomous landing of an Unmanned Aerial Vehicle on a stationary target. 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). 2017. pp. 362-367.

[6] Yuan H., Xiao C., Xiu S., Zhan W., Ye Z., Zhang F., …, Li Q. A hierarchical vision-based UAV localization for an open landing. Electronics. 2018. vol. 7, no. 5, pp. 68.

[7] Almeshal A.M., Alenezi M.R. A vision-based neural network controller for the autonomous landing of a quadrotor on moving targets. Robotics. 2018. vol. 7, no. 4, pp. 71.

[8] Sanchez-Lopez J.L, Pestana J., Saripalli S., Campoy P. An approach toward visual autonomous ship board landing of a vtol uav. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2014. vol. 74, no. 1, pp. 113–127.

[9] Bang S., Kim H., Kim H. Uav-based automatic generation of high-resolution panorama at a construction site with a focus on preprocessing for image stitching. Automation in construction. 2017. vol. 84, pp. 70-80.

[10] Superbox atlp, (Date last accessed 05-February-2022). [Online]. Available: https://en.supercam.aero/catalog/superbox-atlp.

[11] Amiri S.A., Hassanpour H.A preprocessing approach for image analysis using gamma correction. International Journal of Computer Applications. 2012. vol. 38, no. 12, pp. 38-46.

[12] Kaur M., Kaur J., Kaur J. Survey of contrast enhancement techniques based on histogram equalization. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2011. vol. 2, no. 7.

[13] Paris S., Kornprobst P., Tumblin J., Durand F. Bilateral filtering: Theory and applications. 2009. Now Publishers Inc.

[14] Boyatand A., Joshi B.K. Image denoising using wavelet transform and median filtering. 2013 Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE). 2013. IEEE, pp. 1-6.

[15] Kumar B.S. Image denoising based on gaussian/bilateral filter and its method noise thresholding. Signal, Image and Video Processing. 2013. vol. 7, no. 6, pp. 1159–1172.

[16] Henderson P., Ferrari V. End-to-end training of object class detectors for mean average precision. Asian Conference on Computer Vision. 2016. pp. 198-213.

Применение интеллектуальных технологий для рыночного позиционирования драгоценных камней

Н. Н. Покровская
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
nnp@spbstu.ru

Д. В. Голохвастов
Санкт-Петербургский государственный экономический университет
lel@bk.ru

***Аннотация*. Рыночное позиционирование драгоценных камней связано с тем, что речь идёт о трёх типах продукции - природном ресурсе, синтетическом промышленном продукте и имитации. Драгоценные камни представляют собой уникальный природный продукт, обладающий ценностью в связи с их редкостью, что нуждается в сопровождении и сертификации происхождения и товародвижения камня (метки RFID и др.). Кроме того, приобретение камней в большинстве случаев сопровождается их проверкой в нескольких независимых геммологических лабораториях для подтверждения их подлинности. Технологии синтеза минералов, аналогичных природным драгоценным камням, и создания подделок постоянно совершенствуются, что ставит задачу постоянного мониторинга инновационных технологий в данной отрасли, развития диагностического оборудования и методик, а, следовательно, является актуальной задачей непрерывного обновления информационного обеспечения. В статье рассмотрена проблематика и пути решения, используемые геммологическими лабораториями для регулярного обновления баз данных, технологий и оборудования для диагностики камней, а также для отслеживания цепочек поставок и для формирования рыночного позиционирования каждого конкретного уникального камня.**

Ключевые слова: инновации; синтез, инновационный менеджмент, информационное обеспечение, геммологическая диагностика

I. Введение

На рынке представлены четыре типа камней природные камни, облагороженные камни, имитации природных камней, синтетические аналоги природных камней.

Закон РФ выделяет названия драгоценных камней, под которыми понимаются вещества с известными свойствами, состоящие из определенных простых веществ (например, алмаз – из углерода с некоторыми минимальными добавками, например, алюминия или бора). Но и для эксперта, и для покупателя камень – воплощение целого ряда особых свойств человеческого восприятия: веры в магию цвета и в исцеляющие свойства камня, связанные с длиной волны испускаемого им цвета, с его химическим составом, с историей многих миллионов лет, хранящейся в целостном кристалле или в глубине вкраплений, с суевериями предков и силой верований и предрассудков (например, видя на человеке кольцо с рубином, в ряде стран нападающий отступит, испугавшись непобедимой силы камня), наконец, с субъективным ощущением уникального совпадения частоты и преломления света камня с содержанием душевных переживаний, духовной сущности человека.

Объективно, высокая цена драгоценного камня связана с тремя присущими ему чертами – красота, редкость и вечность. Красоту определяют природный цвет, сияние, светопреломление в гранях при качественной огранке. Говорят, «красота – в глазах смотрящего»: только человек может сказать, что насыщенное сияние изумруда прекрасно. Редкость определяется, как правило, трудностью добычи и обработки. Так, алмазная руда считается рентабельной, когда в 1 тонне содержится хотя бы полкарата алмазов, из которых 5–20 % будут пригодны для ювелирного дела. Открытие месторождений или истощение запасов, удешевление технологий обработки и огранки влияют на редкость природного алмаза.

Вечность камня связана с его прошлым: для возникновения изумруда требуются миллионы лет формирования кристалла, но если Вы положите кольцо с изумрудом в карман с ключами и монетами, то изумруд может поцарапаться. Вечность связана и с человеческой историей камня – например, 3 самых дорогих алмаза не имеют цены, в течение последних веков их либо дарили, либо захватывали, либо выкупали ими свою жизнь или царство. История камня определяет его вечность, выходящую за рамки человеческой жизни и жизни нескольких поколений.

Указанные «объективные» свойства драгоценного камня определяют и его рыночную ценность, которая складывается из следующих критериев: вес камня и его цвет, полихромные качества (наличие нескольких цветов сиянии одного камня), включения, географическое происхождение.

Позиционирование камня с помощью инновационных цифровых технологий, в свою очередь, включает следующие инструменты:

- диагностика подлинности камня и мониторинг его происхождения и пути (например, алмаз находится в «алмазопроводе», торговом канале от шахты как места добычи к конечному покупателю около 24 месяцев);
- рыночное позиционирование в системе маркетинга и торговли, с учетом организационных и правовых особенностей

управления, в частности, цифровая трансформация работы хабов по продаже редких камней и персонификация продаж драгоценных камней коллекционерам (которых, как правило, не найти с помощью таргетированной рекламы в социальных сетях, поскольку такие люди представлены в соц. сетях, скорее, через свою службу PR, нежели лично) [1]. К этой же группе рыночных инструментов следует отнести оценку возможностей применения блокчейн-технологий как для отслеживания товародвижения, так и для сохранения неизменной истории камня и его мест нахождения, а также дополненную реальность для сравнения камня с сертификатом экспертизы.

В данном материале рассмотрены как управленческие и рыночные технологии, так и направления применения инновационных технологий геммологической диагностики синтетических камней и обнаружения облагораживания (факт облагораживания, за редким исключением, приводит к многократному снижению цены камня).

II. Инновационные методы диагностики

Можно выделить управленческие и технологические инновации: первые связаны с удешевлением оборудования для диагностики, вторые отражают развитие технологий синтеза и облагораживания камней с одновременной разработкой методов обнаружения следов вмешательства.

A. Технологии синтеза и облагораживания

В восприятии покупателей драгоценных камней облагораживание и обработка представляют методы создания некоего промежуточного продукта – между уникальным природным чудом и массовым ширпотребом, это объясняет заметную разницу в цене между полностью нетронутыми естественными камнями (прошедшими только огранку) и облагороженными камнями.

Выращивание драгоценных камней в лабораторных условиях имеет долгую историю: Марк Гуден в 1837 г. впервые получил микроскопические кристаллы рубина путем сплавления в доменной печи алюмо-аммониевых квасцов с примесью хромата калия в глиняном тигле, покрытом ламповой копотью (сажей). Мелкие кристаллы рубина синтезировали Дж. Эбельман, Х. Сенорман, Клэри и др. Е. Фреми и Е. Файль впервые попытались получить кристаллы корунда из раствора в расплаве. В качестве растворителя глинозема они использовали окись свинца. Добавление окиси хрома или окиси кобальта позволяло получать кристаллы красного и синего цвета.

Первые кристаллы рубина О. Вернейль получил совместно с Е. Фреми из расплава фторидов бария и кальция и криолита (Na_3AlF_6) с добавкой окиси хрома в 1885 г., и в 1890 г. ими были переданы в Парижскую академию наук сотни кристаллов разноцветных корундов, но их получение было дороже природных рубинов. В 1892 г. Вернейль получил первые результаты по синтезу кристаллов корунда из чистой окиси алюминия. Полностью исследования были завершены им в 1902 г.

Сегодня наряду с синтезом корундов, выращиванием кристаллов, получены и новые камни, например, фианит (название получено от ФИАН, Физический институт Академии наук СССР им. П.Н. Лебедева) – искусственно полученный в 1970 г. минерал диоксида циркония с кубической сингонией, по показателю преломления света фианит (2,15–2,25) близок к алмазу (2,417–2,419), по твёрдости к корундам (7,5–8,5 по шкале Мооса).

Крайне редкий на Земле, но широко распространённый на метеоритах карбид кремния муассанит в промышленности заменяется уже с 1893 г. карборундом, который широко использовался как абразив с конца XIX в. Метод получения карборунда был заявлен, но не признан в 1849 (Деспретз), 1880 (Марсден) и 1882 (Колсон), но метод массового получения порошкообразного карбида кремния запатентовал Э.Г. Ачесон 28 февраля 1893 г. [2; 3]

Синтез алмазов развивался с 1879 г., в 1939 г. советский учёный О. Лейпунский вычислил необходимые для успешного синтеза величины давления (минимум 60 000 атмосфер), в 1940-х в США, Швеции и СССР начались систематические исследования по выращиванию алмазов с помощью методов CVD и HPHT. Эти два метода и по сей день доминируют в производстве синтетических алмазов. Впервые воспроизводимый синтез был выполнен в 1953 г.: шведский учёный Бальцар фон Платен сконструировал установку, в которой кубический образец сжимался шестью поршнями с разных сторон. 15 сентября 1953 г. были получены первые в мире искусственные алмазы [4].

Одновременно, в исследованиях 1951–1954 гг. в General Electric, в лаборатории «Проект сверхдавления» был получен алмаз под давлением 70 000 атм. и температурой 1600°С. Аналогичный метод был разработан и в СССР в Институте физики высоких давлений АН СССР и в 1961 г. была отработана технология промышленного синтеза алмазов. Новый метод, известный как синтез с подрывом, стал использоваться в конце 1990-х гг.: это образование нанометровых песчинок алмаза при подрыве взрывчатки, содержащей углерод [5; 6].

Ультразвуковая кавитация связана с формированием газовых пузырьков в среде, облучаемой ультразвуком, этот метод синтеза алмазов включает обработку графита высокомощным ультразвуком, он был продемонстрирован в лабораторных условиях, но пока не нашёл коммерческого успеха [7]. Способ выращивания алмазов из газовой среды (смеси метана, ацетилена или других углеводородов) был запатентован в 1963 г. американцем В.Ж. Эверсолом, одновременно и независимо от него этот же метод был разработан советскими учёными.

B. Подходы к диагностике

Хотя вопрос идентификации происхождения минерала как синтетического (выращенного) или облагороженного далеко не нов, но быстрое появление новых методов синтеза приводит к запаздывающему, но всё же появлению новых методов диагностики подлинности камня, что особенно важно для определения его рыночной стоимости.

Следует отметить, что и традиционные методы быстро развиваются, например, анализ спектров поглощения в видимом и инфракрасном излучении, свечение камней под ультрафиолетовыми и рентгеновскими лучами, облучение электронами или воздействие лазерного луча. Так, синтетические алмазы

дают неравномерное зонально-секториальное распределение флюоресценции в УФ-свете (крестообразные фигуры), природные алмазы или не дают флюоресценции или дают равномерное и незакономерное распределение УФ-свечения.

Известны методы спектроскопии Рамана, Фурье, и др., оба метода не требуют вынимать камень из ювелирного изделия или наносить ему повреждения. Одним из наиболее сложных и дорогостоящих в этой группе является ЭПР (электронный парамагнитный резонанс).

Синтетические рубины (корунды красного цвета) визуально выглядят безупречно, в то время как природные рубины всегда имеют внутренние дефекты. Большинство синтетических рубинов и сапфиров, встречающихся на рынке, получено методом Вернейля и в связи с этим обладает криволинейной зональностью.

Рубины и сапфиры, выращенные флюсовым и гидротермальным методами синтеза, являются наиболее сложными объектами для диагностики. Для флюсовых рубинов и сапфиров характерны включения флюса и материалов ростовой камеры (тигля) – платины, золота и меди, а отличительной особенностью гидротермальных корундов являются неправильные микроструктуры роста.

В 1997 г. разработан материал Gematrat для облагораживания изумрудов. Это вещество содержит специальный маркер, он синеет в ультрафиолетовом свете.

В отношении аметистов проблема отличия природных камней от синтетических значительно сложнее, все природные аметисты сдвойникованы, а синтетический материал целенаправленно выращивается без двойников. Включения в синтетических кварцах наблюдаются, как правило, вблизи пластинки, которая являлась затравкой.

III. Интеллектуальные технологии мониторинга движения камней по цепи поставок

Среди интеллектуальных систем отслеживания и анализа происхождения камня можно выделить два широко применяемых сегодня метода – метки RFID и нано-чипы, встраиваемые, например, в искусственно выращенный жемчуг.

A. Контроль прохождения камня с помощью меток RFID

Радиочастотная идентификация (RFID) позволяет наносить специальные коды на ювелирные изделия, которые не приводят к порче его внешнего вида, например, на этикетку или прямо на рундисту (боковую кромку камня). Еще пару лет назад бирки могли иметь размер не менее 2 см., но сегодня продаются прозрачные метки и меньшего размера, которые могут прикрепляться к бирке, наклеиваться на изделие или оборачиваться вокруг него поскольку RFID-метку можно сгибать. Вместе с этим, устройства считывания и сами метки, а также ведение постоянной онлайн-регистрации требуют затрат.

Вместе с этим, можно использовать и QR-код, он позволяет любому человеку со смартфоном считать код и моментально получить информацию о продукте. QR-код приводит к практически нулевой наценке, поскольку его достаточно напечатать на бирке ювелирного изделия. У QR-кода есть лишь одно дополнительное требование – его можно распознать только при прямом оптическом контакте, т. е., например, его нельзя обернуть вокруг изделия, поскольку камера сможет его распознать, только если весь код помещается целиком в кадр, что не всегда удобно для достаточно небольших по размеру изделий или для самих камней (если только речь не идет об упаковке).

С точки зрения логистики и оптимизации цепей поставок следует учитывать, что QR-код характеризует каждое отдельное изделие, и считать группу кодов сразу не получится. Невозможно и считывать код на достаточном удалении: если RFID-чипы позволяют считать данные дистанционно на расстоянии до сотни метров, то для распознавания QR-кода необходимо приблизиться на весьма близкое расстояние для того, чтобы камера смогла «рассмотреть» код.

С точки зрения складирования и торговли ювелирными изделиями, применение оборудования с RFID существенно удешевляет мониторинг и контроль, инвентаризацию.

В течение 2018 г. в России проходил эксперимент по внедрению контроля и мониторинга драгоценных камней, металлов и изделий из них, в рамках выстраивания единой системы в рамках движения всех товаров на территории страны, НСП (национальная система прослеживаемости). В рамках этой системы планируется к внедрению Государственная интегрированная информационная система в сфере контроля за оборотом драгоценных металлов, драгоценных камней и изделий из них на всех этапах этого оборота (ГИИС ДМДК). Разработчиком и оператором ИС выступило АО «Гознак». В рамках этого эксперимента на металлическую часть украшения рядом с клеймом наносился лазером штрихкод размером 0,8 х 0,8 мм, содержащий уникальный идентификационный номер (УИН), повторяющийся также на бумажной бирке изделия, по этому штрихкоду можно выяснить его данные в базе ГИИС ДМДК. В ходе эксперимента прослеживались 20 бизнес-процессов, проведено 707 партий изделий от 97 % компаний, занимающихся добычей драгоценных камней, 77 % аффинажных предприятий, 49 % организаций огранки, и 7 % розничных магазинов. Эти предприятия добровольно приняли участие в пилотном проекте и были подключены к системе электронного документооборота (ЭДО).

На основе эксперимента был предложен график введения правил маркировки ювелирных изделий, но Министерство Финансов предложило перенести введение добровольной маркировки с 1 янв. 2021 г. на 1 марта 2022, а обязательной – с 30 июня 2021 на 1 марта 2024 г.

B. Применение RFID, QR-кодов и блокчейн-технологий для повышения доверия покупателей

С позиций рыночного позиционирования, важно, что RFID-метки позволяют чётко определять перемещение товара, и если покупатели часто смотрят какой-то товар, и его для этого достают для них с витрины (и затем кладут обратно), об этом будет сохраняться информация в метке.

Можно рассмотреть ключевые свойства, преимущества и недостатки двух основных подходов – RFID и штрихкодов (одномерных или двумерных «QR»):

ТАБЛИЦА I ИННОВАЦИОННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МАРКЕТИНГА И ЛОГИСТИКИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Сравнение технологий позиционирования		
Содержание инструмента	***RFID***	***QR***
Просихождение, география и история камня составляет ключевой фактор его цены	Хранит данные	Даёт ссылку на данные
Качества камня (оцениваются по набору параметров, зафиксированных российскими ТУ и международными регламентами)	Учёт ведётся в единой ИС	Отсылает на сайты сертификации
Логистические преимущества	Склад и торговля	-
Преимущества для покупателя	История и доверие к ИС	Доступ к данным
Позиционирование, сегмент и нишевые особенности продукции	Дорогие изделия	Широкое потребление

[a] Составлено авторами.

Таким образом, если рассматривать уникальные камни и украшения с ними, то маркетинговые действия будут дешевле и позволят оптимизировать расходы на основе применения RFID-меток. Что же касается широкой торговли ювелирными изделиями, то применение штрих-кодов позволяет работать с широкой аудиторией покупателей и предоставлять им доступ по ссылкам к основным характеристикам изделий.

Следует также упомянуть возможность объединения RFID-меток напрямую с блокчейн-технологиями на основе умных контрактов, которые полностью автоматизируют многие операции по товародвижению и отслеживанию цепей поставок [8, 9]. Наконец, широко обсуждается среди специалистов возможность объединить RFID-маркировку или штрих-коды с дополненной реальностью, например, при продаже уникальных камней это позволит убедиться, например, что сертификат геммологической экспертизы имеет отношение именно к данному камню (или изделию с камнем), поскольку в таких сертификатах, как правило, указываются все особенности камня, вкрапления, выявленные особенности спектрального анализа и т. п.

Более того, возможность с помощью смартфона (AR) или шлема (VR) покупатель сможет заранее рассмотреть каждый камен или изделие во всех деталях и заключать договор на конкретное изделие онлайн. Так, в базе сертификатов покупатель получает на экране устройства дополненной реальности визуализированное изображение в мельчайших подробностях, сопровождаемое данными экспертизы в соответствии с позиционированием объекта, определенным на основе маркера [10].

IV. Заключение

Таким образом, несмотря на закрепление в правовых документах регулирования единой маркировки для контроля оборота драгоценных камней и изделий с ними, сегодня инновационные технологии продолжают развиваться как с точки зрения оптимизации управления цепями поставок и логистики, так и с точки зрения продвижения камней к покупателю. Позиционирование уникальных драгоценностей предполагает возможности использовать блокчейн-технологии для отслеживания происхождения и истории движения камней от шахты добычи до покупателя, дополненную и виртуальную реальность для идентификации камня в соответствии с сертификатами геммологической экспертизы.

Список литературы

[1] Pokrovskaia N., Snisarenko S., Golohvastov D. Institutional confidence and economic intelligence for the performance at macro and micro networks // Proceedings of the 4th International Conference on Management, Leadership and Governance, ICMLG 2016. Reading, UK: Academic conferences, 2016.

[2] Acheson, G. (1893) U.S. Patent No 492, 767 «Production of artificial crystalline carbonaceous material» https://patentimages.storage.googleapis.com/71/2f/b6/d18bfc04e2c958/US492767.pdf.

[3] Weimer A.W. Carbide, nitride, and boride materials synthesis and processing. Springer, 1997. P. 115.

[4] Werner M., Locher R. Growth and application of undoped and doped diamond films // Reports Prog. Phys. 1998. Vol. 61, № 12. P. 1665–1710. DOI:10.1088/0034-4885/61/12/002.

[5] Okada K. Plasma-enhanced chemical vapor deposition of nanocrystalline diamond // Sci. Technol. Adv. Mater. Katsuyuki Okada, 2007. Vol. 8. P. 624–634.

[6] Osawa E. Recent progress and perspectives in single-digit nanodiamond (англ.) // Diamond and Related Materials (англ.)рус. : journal. 2007. Vol. 16, no. 12. P. 2018-2022. doi:10.1016/j.diamond.2007.08.008

[7] Galimov É.M., Kudin A.M., Skorobogatskii V.N., Plotnichenko V.G., Bondarev O.L., Zarubin B.G., Strazdovskii V.V., Aronin A.S., Fisenko A.V., Bykov I.V., Barinov A.Yu. Experimental Corroboration of the Synthesis of Diamond in the Cavitation Process (англ.) // Doklady Physics: journal. 2004. Vol. 49, no. 3. P. 150–153. DOI:10.1134/1.1710678.

[8] Pokrovskaia N.N. Tax, financial and social regulatory mechanisms within the knowledge-driven economy. Blockchain algorithms and fog com-puting for the efficient regulation // Proceedings of 2017 20th IEEE Inter-national Conference on Soft Comput-ing and Measurements, SCM 2017. IEEE Explore, 2017. Pp. 709–712. https://doi.org/10.1109/SCM.2017.7970698 .

[9] Khansuvarova T., Khansuvarov R., Pokrovskaia N. Network Decentralized Regulation with the Fog-edge Computing and Blockchain for Business Development // Proceedings of the 14th European Conference on Management, Leadership and Governance ECMLG 2018, Utrecht, Netherlands 18-19 October 2018 / Ed. B.M.E. de Waal, P. Ravesteijn. Reading UK: Academic Conferences and Publishing International Limited, 2018. pp. 205-212.

[10] Ginters E., Martin-Gutierrez J. Low cost augmented reality and RFID application for logistics items visualization // Procedia Computer Science. 2013. Vol. 26. P. 3–13. DOI: 10.1016/j.procs.2013.12.002.

Подсистема управления знаниями интеллектуального ситуационного центра

В. С. Симанков
Кубанский государственный технологический университет
vs@simankov.ru

П. Ю. Бучацкий[1], В. В. Бучацкая[2], С. В. Теплоухов[3]
Адыгейский государственный университет
[1]butch_p99@mail.ru, [2]buch_vic@mail.ru, [3]mentory@mail.ru

***Аннотация*. В рамках ситуационного центра выделена и рассмотрена подсистема управления знаниями, которая решает следующие задачи: идентификация и учет неопределенности исходной информации, автоматизированный выбор математических методов описания систем, оценка и моделирование ситуации с учетом сведений о структуре объекта управления и его функционировании в конкретный момент времени, обеспечивает взаимодействие с экспертами и добывает знания из сети Интернет. Решение указанных задач достигается с применением отдельных взаимосвязанных модулей, что дает возможность применять ситуационный центр в различных предметных областях, управлять сложными иерархическими системами, а также осуществлять автоматизированный выбор математических методов обработки информации.**

Ключевые слова: ситуационный центр; база знаний; неопределенность информации

I. Введение

Для решения многих сложных прикладных задач в настоящее время применяют такие современные информационно-аналитические системы, как ситуационные центры (СЦ). Они дают возможность комплексного анализа и рассмотрения объекта управления, а также позволяют обеспечить взаимодействие лица, принимающего решения, с группой ответственных специалистов, экспертов и аналитиков. Однако в таком случае неизбежно возникает проблема, связанная с учетом субъективной информации, наличием неформализованных данных, то есть с присутствием неопределенности в исходных данных.

II. Формулировка проблемы

Ситуационный центр используется для управления сложными системами, которые имеют большое количество элементов и связями, а также иерархическую структуру. Поэтому для реализации управления СЦ реализует следующие основные задачи: мониторинга ситуации, прогнозирования, планирования и принятия решений. Все эти задачи решаются в соответствующих подсистемах СЦ [1, 2] и для их функционирования необходим анализ исходной информации, а также обработка сведений, полученных от экспертов, и других неформализованных данных. Другой важной особенностью ситуационного центра является необходимость взаимодействия со сторонними базами данных, знаний, и других открытых источников в сети Интернет.

Для решения этой проблемы необходимо в рамках ситуационного центра выделить отдельный блок управления знаниями, который предоставляет инструменты для идентификации и учета неопределенности исходной информации [3], автоматизации процедуры выбора математических методов описания систем, оценивает и моделирует ситуации [4] с учетом сведений о структуре объекта управления и его функционировании в конкретный момент времени, обеспечивает взаимодействие с экспертами и добывает знания из сети Интернет. Структура такой подсистемы представлена на рис. 1.

III. Основные положения

Рассмотрим подробнее структуру подсистемы управления знаниями в составе СЦ.

В процессе функционирования ситуационного центра его подсистемы опираются на различные источники информации. Однако они могут давать неполные, неформализованные, неактуальные данные. Все это приводит к неопределенности исходной информации, что, в свою очередь, существенно влияет на качество используемых математических методов описания системы и ситуации, а также на результат принятия решения [5, 6]. Поэтому в рамках подсистемы управления знаниями выделен отдельный модуль идентификации типа неопределенности исходной информации.

Для работы этого модуля целесообразно использовать математический аппарат нечеткой логики [7, 8]. При этом при построении базы правил системы нечеткого логического вывода были сформулированы следующие положения:

- использовать возрастающие непрерывные функции;
- значение 0 соответствует полной определенности в системе, а значение 1 – полной неопределенности;
- применение алгоритма Мамдани для получения итогового результата.

Использование алгоритма Мамдани возможно по следующим причинам [9, 10]:

- непротиворечивость указанного алгоритма;
- системы нечёткого логического вывода с использованием алгоритма Мамдани аппроксимируют любую зависимость с требуемой точностью;
- возможность относительно простой корректировки нечёткого логического вывода;
- возможность явной интерпретации результатов.

В результате получена результирующая функция принадлежности, характеризующая «неопределенность» исходной информации, которая представлена на рис. 2 (синий график) [11].

Важно отметить, что лицо, принимающее решения, в условиях собственного субъективного понимания особенностей задачи или других положений и мнений о параметрах исходной информации, имеет возможность выбрать функции принадлежности другого типа. В результате применения предложенного подхода будет получена новая выходная интегрированная функция принадлежности типа неопределенности исходной информации.

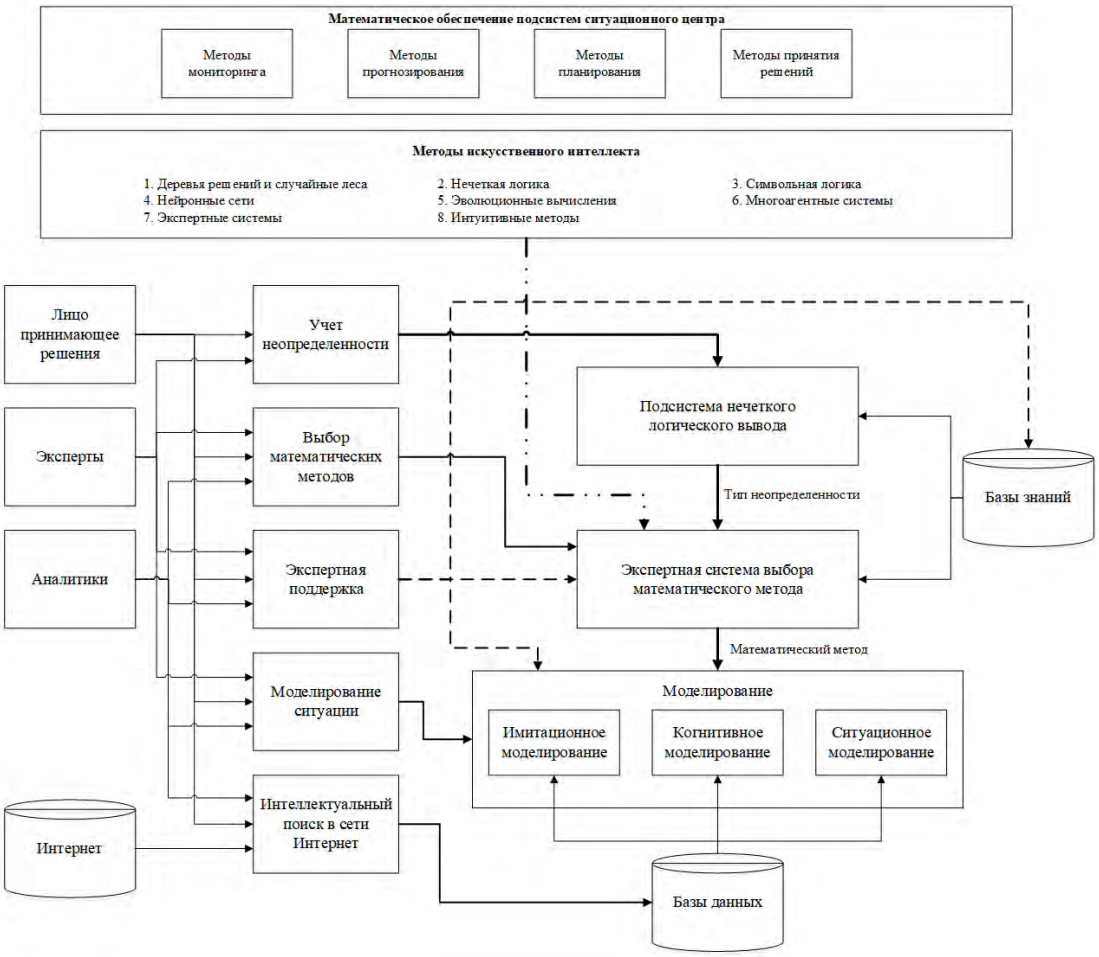


Рис. 1. Подсистема управления знаниями в ситуационном центре

Для эффективного применения математических методов описания систем во всех остальных подсистемах ситуационного центра (мониторинг, прогнозирование, планирование, принятие решений), а также адаптации к изменяющимся входным данным, в подсистеме управления знаниями выделен отдельный модуль выбора подходящих математических методов, в том числе методов искусственного интеллекта. Для этого производится учет неопределенности и сложности системы. Так, можно отметить, что сложность является величиной, характеризующей систему в целом, а неопределенность в определенный момент времени.

Можно сформировать следующую гипотезу: выбор математического метода описания систем зависит от типа неопределенности и сложности системы. В работах [12, 13] установлена связь математических методов описания систем и методов искусственного интеллекта с типами неопределенности. Это позволяет ранжировать эти методы (рис. 2), т. е. расположить их в зависимости от роста неопределенности или сложности системы. По оси абсцисс располагается параметр, характеризующий неопределенность, а по оси ординат – сложность систем.

Ранжирование методов было осуществлено на основе анализа особенностей указанных математических методов и специфики их применения.

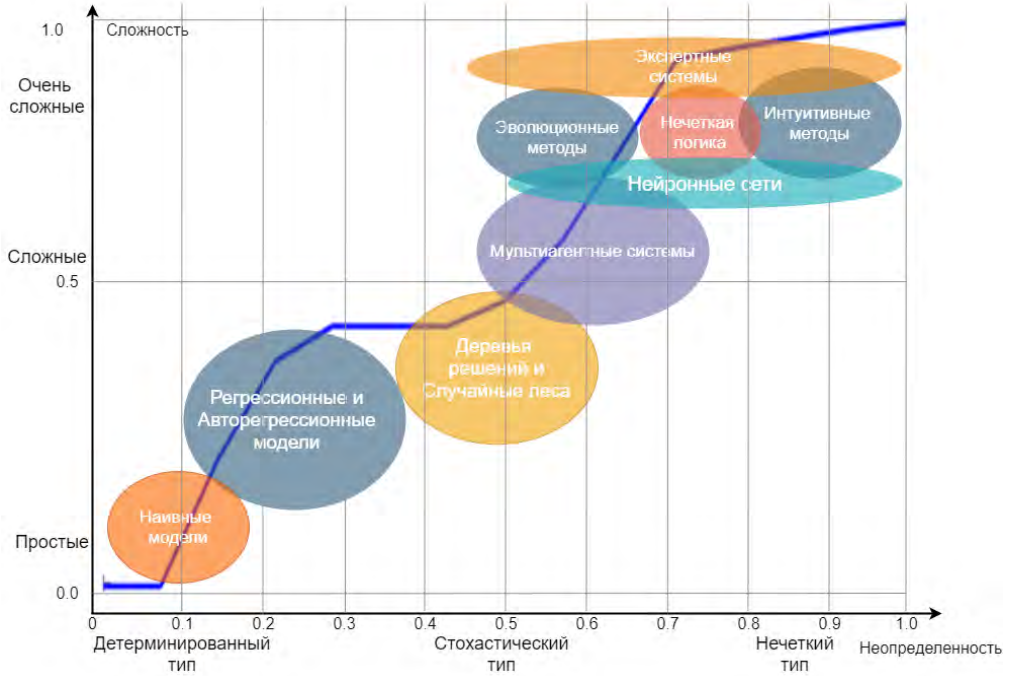


Рис. 2. Ранжирование математических методов в зависимости от роста неопределенности и сложности систем

Важно отметить, что указанный подход дает возможность учитывать комбинации указанных методов, например, эвристики в мультиагентных системах, генетические алгоритмы в нейронных сетях и т. д.

На основе проведенного исследования разработан алгоритм автоматизированного выбора математического метода обработки информации в рамках ситуационного центра (рис. 3).

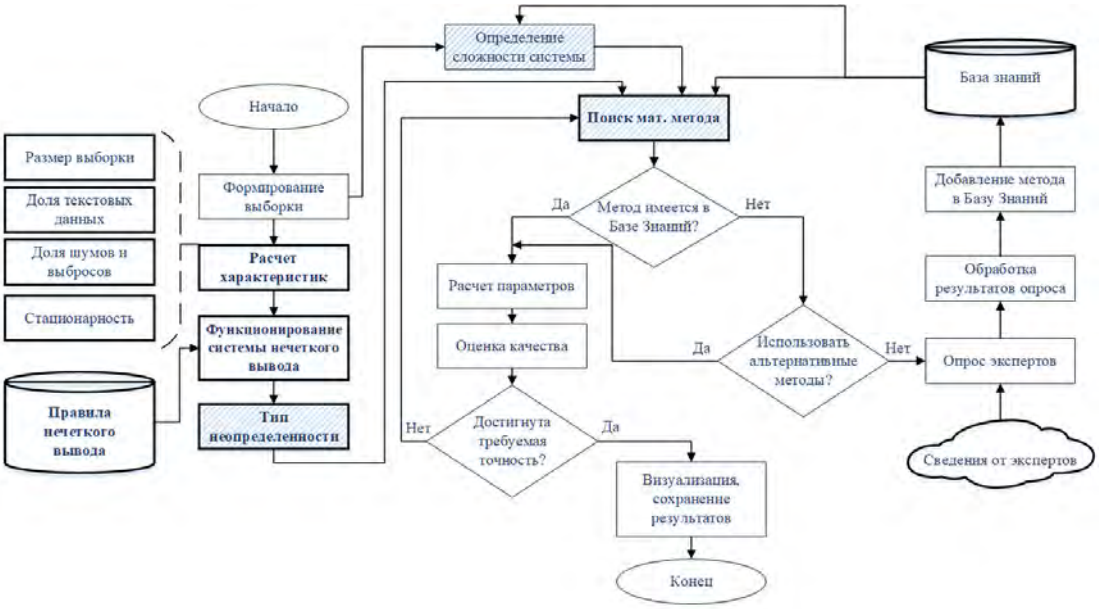


Рис. 3. Алгоритм автоматизированного выбора математического метода в интеллектуальном ситуационном центре

На вход алгоритма поступает исходная выборка, для которой производится расчет ряда характеристик, затем на основе системы нечеткого логического вывода определяется один из следующих типов неопределенности: детерминированный, стохастический или нечеткий, а также сложность рассматриваемой системы. Затем, используя базу знаний, содержащую правила поиска подходящих математических методов описания систем и их особенностей, осуществляется процесс поиска подходящего метода.

Рассматриваемая экспертная система является продукционной [14, 15], так как правила имеют вид: «Если <условие>, то <вывод>»:

- если нечеткий тип неопределенности, то нечеткая логика, нейронные сети, экспертные системы и т. д.;

- если стохастическая неопределенность, то авторегрессионные модели, генетические алгоритмы, случайный лес и т. д.;
- если детерминированный тип, то тренды, регрессия и т. д.

В случае, если метод был найден, то производится автоматический расчет параметров и оценка качества. Если метода в базе знаний найдено не было, то предусмотрена возможность использовать альтернативные варианты описания системы, подходящие для указанного типа неопределенности. При отсутствии вообще каких-либо подходящих правил в базе знаний или при недостаточном качестве построенной модели имеется возможность дообучить экспертную систему.

Другой важнейшей задачей, решаемой в рамках подсистемы управления знаниями в ситуационном центре, является система автоматизированного поиска требуемой информации в сети Интернет. Часто для решения и оценки конкретной ситуации ЛПР и пользователю важно получить не ссылку на тот или иной веб-ресурс с применением поисковой системы, а ответ на поставленный запрос в краткой форме, т. е. автореферат [16, 17].

Можно выделить два основных направления при работе с текстами на естественном языке, полученными из сети Интернет: составление проблемно-ориентированного автореферата, с учетом семантической связности текстов, и применение современных глубоких нейронных сетей, например, авторегрессионная генеративная языковая модель на архитектуре трансформер – GPT3. Рассмотрим оба способа подробнее.

Для составления проблемноориентированных авторефератов веб-страниц необходимо выполнить: сегментирование (разбивка по тегам, абзацам и предложениям); формирование набора индикаторов с применением графематического и морфологического анализа; анализ предложений в тексте и определение их веса на основе слов-индикаторов; определение семантической связности предложений и, собственно, формирование автореферата.

В случае применения глубоких нейронных сетей на базе архитектуры трансформера [18] возможно эффективно обучать искусственные нейронные сети на больших объемах текста, а также подобная структура не требует последовательности при обработке текстов. Такая архитектура позволяет генерировать статьи, отвечать на вопросы, использоваться в качестве основы для чат-ботов, производить семантический поиск и создавать авторефераты. Однако, существенная стоимость и большое потребление вычислительных ресурсов ограничивает процесс их обучения и настройки.

IV. Заключение

Применение подсистемы управления знаниями в рамках ситуационного центра позволяет выбирать подходящие математические методы описания систем при решении различных задач: моделирования, прогнозирования, планирования и принятия решений. Также дает возможность учитывать условия конкретной ситуации, предметной области и входной выборки данных, а также осуществлять автоматизированный выбор математических методов для подсистем СЦ, в том числе и методов искусственного интеллекта. Для этого реализованы модули для взаимодействия с ЛПР, экспертами и аналитиками, базами знаний и ресурсами в сети Интернет. Применение предлагаемой подсистемы предоставляет возможность адаптации ситуационного центра к изменению входных данных и предметных областей.

Список литературы

[1] Kovalenko O., Vishnevsky V., Kosolapov V. Towards Creating the Network of Situatonal Governance Centers and Decision Making Technologies in Distributed Environments // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2020, pp. 540-545.

[2] Simankov V.S., Cherkasov A.N., Buchatskiy P.Y., Teploukhov S.V., Buchatskaya V.V. Synthesis of a Decision Support System Based on an Intelligent Situational Center // 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). 2020, pp. 182-185.

[3] Симанков В.С., Бучацкая В.В., Теплоухов С.В. Методика идентификации и учета неопределенности исходной информации в интеллектуальном ситуационном центре. «Вестник Адыгейского государственного университета». Серия 4: Естественно-математические и технические науки, г. Майкоп, №2(241), 2019 г. С. 21-27.

[4] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 288 с.

[5] Machina M. J. (). Almost-Objective Uncertainty // UC San Diego: Department of Economics, UCSD. 2004. 54 p.

[6] McManus H., Hastings D. A Framework for Understanding Uncertainty and Its Mitigation and Exploitation in Complex Systems // Engineering Management Review, IEEE. 2007. Vol. 34. 19 p.

[7] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 166 с.

[8] Асадуллаев Р.Г. Нечеткая логика и нейронные сети. Белгород: НИУ «БелГУ», 2017. 309 с.

[9] Mamdani E.H. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // International Journal Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. Issue 1. pp. 1–13.

[10] Пегат А. Нечеткое моделирование и управление, 4-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2020. 801 с.

[11] Simankov V.S., Buchatskiy P.Y., Shopin A.V., Teploukhov S.V., Buchatskaya V.V. An Approach to Identifying the Type of Uncertainty of Initial Information Based on the Theory of Fuzzy Logic // 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). 2021, pp. 150-153.

[12] Трахтенгерц Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений. М.: Синтег, 2001. 256 с.

[13] Симанков В.С., Теплоухов С.В. Аналитическое исследование методов и алгоритмов искусственного интеллекта // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2020. Вып. 3. С. 16-25.

[14] Частиков А.П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 608 с.

[15] Haider K.J., Rafiqul Z.K. Development of expert systems methodologies and applications development of expert systems methodologies and applications // International journal of management & information technology. 2021. Vol. 6. pp. 49-59.

[16] Simankov V.S., Tolkachev D.M. Problem-oriented automatic summarization method with semantic coherence definition and usage of inclusion measures for the search of answers to questions in the internet. «International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems», vol. 27. № 5, 2019. 863-878 pp.

[17] Батура Т.В., Бакиева А.М. Методы и системы автоматического реферирования текстов. Новосибирск: 2019. 110 с.

Brown T.B., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J., Dhariwal P., Shyam P., Sastry G., Askell A., Agarwal S. et al. Language Models are Few-Shot Learners // ArXiv.org. 2020. 75 p.

Исследование влияния предобработки текстовых запросов на качество результата в СППР для службы технической поддержки

А. С. Лопатина, В. Н. Терещенко
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
aslopatina@stud.eltech.ru, vntereschenko@stud.etu.ru

***Аннотация*. Классификация текста – важная и широко изучаемая задача компьютерной лингвистики, она позволяет отнести тот или иной текстовый документ к одной из нескольких категорий на основе его содержания. Прежде чем данные будут классифицированы алгоритмом машинного обучения, они проходят несколько этапов предварительной обработки. Целью данной статьи является исследование влияния предобработки текстовых запросов на качество результата в системе поддержки принятия решений (далее СППР) для службы технической поддержки. В статье проанализированы существующие этапы подготовки данных и методы на каждом из них, описаны метрики оценки качества классификации. Также практически оценены и проанализированы результаты отнесения запросов к ряду категорий при использовании известных методов предобработки и их отсутствии.**

Ключевые слова: предварительная обработка; классификация; удаление стоп-слов; стемминг; лемматизация; метрики качества; индексация; техническая поддержка

I. Введение

Развитие интернета спровоцировало множество направлений исследований в сфере интеллектуального анализа данных и обработки естественного языка. Классификация текстов является одним них и включает в себя широкий спектр применений: показ персональные подборок статей, новостей и релевантной рекламы, быстрое аннотирование, фильтрация и распознавание спама, автоматическое определение языка и многое другое.

Данное направление также может быть полезно для упрощения и ускорения работы первой линии технической поддержки. Сотрудники фиксируют текст обращения клиентов и вынуждены потратить время на его анализ с целью выставления категории, приоритета, направления на отдел, написания возможного решения и прикрепления ссылок на похожие статьи в базе знаний. Описанные операции можно автоматизировать посредством разработки соответствующей СППР, для этого необходимо выполнить предварительную обработку запросов клиентов, провести непосредственную классификацию с помощью методов машинного обучения или нейронных сетей и оценить разницу между полученными результатами и результатами экспертов.

Первый шаг, то есть, предобработка, является наиболее трудозатратной подзадачей. Ее цель состоит в том, чтобы получить ключевые термины из текстового документа и улучшить релевантность между словом и документом, а также между словом и классом. Уже доказано, что время, необходимое на предварительную обработку, может занимать от 50 % до 80 % всего процесса классификации [1], однако непонятно как сильно она влияет на результаты. Поэтому в данной статье практически исследуется значимость различных этапов подготовки данных на результаты классификации на примере данных с запросами клиентов в техническую поддержку. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить обзор существующих шагов предобработки текстовых данных, а также алгоритмов на каждом из них, реализовать их в программном коде, оценить полученные метрики и проанализировать результаты отнесения запросов к соответствующим категориям, взяв в качестве алгоритма классификации обобщенный линейный классификатор, оптимизированный стохастическим градиентным спуском (SGDClassifier), и комбинируя/не используя различные методы предобработки.

II. Этапы предобработки текстовых данных

Предварительная обработка позволяет представить каждый текст в виде вектора признаков и уменьшить его без потери полезной информации. Последовательность действий при классификации текстовых данных схематично представлена на рис. 1. Ниже описаны основные этапы и методы морфологической и синтаксической обработки текста.

Рис. 1. Последовательность шагов при классификации текстовых данных

A. Нормализация

Первым этапов обработки данных является их нормализация. Нормализация – это процесс приведения частей текста к единому каноническому виду. Эта операция включает в себя приведение к одному регистру, удаление пробелов и знаков пунктуации, удаление чисел и ряда других специфических для отдельного текста особенностей: ссылок, тегов, упоминаний и т.д. После нормализации данных можно использовать стандартные инструменты для всех дальнейших этапов.

B. Токенизация

Токенизация – это способ разделения фрагмента текста на более мелкие единицы, называемые токенами. Токены определяются как значимые единицы для целей

анализа данных. Они могут состоять из отдельных слов или из больших или меньших сегментов, таких как последовательности слов, подслова, абзацы, предложения или строки [2]. Вхождения токена можно использовать непосредственно как вектор, представляющий текст, таким образом, в результате получается структура данных, пригодная для машинного обучения.

C. Удаление стоп-слов

Многие из наиболее часто употребляемых слов в русском и английском языках бесполезны при поиске информации и анализе текстовых данных. Такие слова называются «стоп-словами» и их следует удалить во время предварительной обработки. К ним относят, например, союзы, предлоги, местоимения. Чтобы найти стоп-слова, можно упорядочить список терминов по частоте и выбрать наиболее часто и редко встречающиеся слова, которые присутствуют в тексте чаще или реже, чем установленное количество раз (например, m=10 – верхняя граница и n=2 – нижняя граница) и не имеют семантической ценности [3].

Списки стоп-слов можно найти на просторах интернета или использовать готовые библиотеки, которые имеют свои списки. Так, в известной библиотеке Snowball для языка программирования Python выделенные стоп-слова можно увидеть в [4].

D. Стемминг / Лемматизация

Следующим этапом является преобразование слов посредством избавления от приставок, суффиксов и окончаний. Для этого существует 2 метода: стемминг и лемматизация, они схожи, однако имеют ряд значительных отличий.

Стемминг – приведение слова к его корню, основе. Он основан на предположении о том, что слова с одной и той же основой или корнем описывают одни и те же или относительно близкие понятия в тексте, поэтому могут быть объединены. В результате работы стеммера из слов удаляются все аффиксы (морфемы, которые присоединяется к корню). Русский язык относится к флективным языкам, то есть к языкам, в которых преобладает словообразование с использованием аффиксов, поэтому он допускает использование стемминга. Однако русский язык также имеет сложную морфологическую изменяемость, что может стать причиной некорректной работы алгоритмов. Например, проблемы возникают с выпадающими и беглыми гласными.

В настоящий момент реализовано большое количество вариантов стемминга: стемминг Ловинса; Портера; Пейса-Хаска; Доусона; N-gram; HMM; YASS; KSTEM; флективный и деривационный анализатор Xerox; ряд контекстно-зависимых алгоритмов [5]. Наиболее популярным алгоритмом, который может работать так же и с русским языком, является стемминг Портера [6].

Лемматизация является альтернативой стемминга, однако в данном случае происходит не обрезание аффиксов, а слово приводится к словарной форме – лемме. В русском языке, например, для существительных это единственное число; для прилагательных – единственное число, мужской род; для глаголов – инфинитив. Наиболее распространенный и понятный способ лемматизации – это поиск по словарю.

Стемминг выполняется без знания контекста и, соответственно, для него нет разницы между высказываниями, которые имеют разный смысл в зависимости от части речи. Лемматизация, как правило, в этом плане более удобна, потому что она создает базовую форму слова. Однако у стемминга есть преимущества: его проще внедрить, а также он работает быстрее. Лемматизация – сложная задача, особенно для флективных языков, в которых много слов для одной и той же леммы.

E. Индексация

Индексация – это построение некоторой числовой модели текста, которая переводит текст в удобное для дальнейшей обработки представление [7]. При индексации каждому токену присваивается определенной вес, зависящий от частоты появления слова в тексте и количества текстов, в которых оно используется. Таким образом, каждый текст представляет собой вектор весов, входящих в него слов. К наиболее известным алгоритмам относят следующие [7, 8]:

- **One-hot encoding**. В этом методе каждое уникальное слово в словаре представляется в виде вектора. В векторе на i-ой позиции стоит 1, если i-номер слова в словаре, в остальных случаях стоит 0. Данный способ имеет большую размерность, соответственно, не подходит для объемных датасетов. Кроме того, метод не фиксирует связи между разными словами, и, соответственно, не передает информацию о контексте.

- **Bag-of-words** – метод, в котором векторное представление строится не для одного слова, а для всего текста. Мешок слов создает матрицу, которая представляет собой набор фиктивных переменных, указывающих, встречается ли конкретное слово в тексте. Также в матрице может содержаться частота встречаемости слов. По сравнению с one-hot encoding матрица имеет значительно меньший размер, однако теряется порядок слов.

- **N-grams**. Как и в мешке слов, выполняется векторное представление текста, однако одним признаком является не одно слово, а сочетание из N-слов. При N=1 – это частный случай Bag-of-words, при N=2 это биграммы, при N=3 – триграммы и т.д. В данном случае будут учитываться фразеологизмы, устойчивые выражения, часто употребляемые словосочетания. Также алгоритм можно настроить на количество слов меньше, или равное N.

- **Word2vec**. В данном методе каждый токен преобразуется в вектор пространства размерности, которая задается заранее, с помощью обучаемой модели, в которой параметрами являются сами векторные представления токенов. Word2vec на каждом шаге максимизирует вероятность появления каждого слова в контексте или, наоборот, увеличивает вероятность контекста при заданном слове. После обучения модели, употребляемые в контекстах слова, становятся векторами, которые оказываются близко друг к другу по определенной метрике.

F. Уменьшение пространства признаков

Использование всех слов в качестве признаков неэффективно, потому что может повлиять на вычислительную сложность классификатора, а также может привести к переобучению. Чтобы этого избежать, число признаков должно быть соразмерно числу примеров. В модели векторного пространства тексты представлены в виде векторов. Поскольку разные слова имеют разную степень важности в тексте, их вес может быть использован для уменьшения пространства признаков. Для снижения числа признаков используются следующие методы [8, 9, 10]:

Latent Semantic Analysis (LSA) – метод, основанный на предположении о том, что слова с похожими значениями имеют тенденцию появляться в сходных контекстах. Он создает семантические представления для слов, анализируя закономерности, по которым слова встречаются вместе в текстовых данных, предоставленных ему на обучение. Затем на основе анализа модель оценивает какие слова должны встречаться в подобных документах. После обучения семантическое пространство представляет собой набор векторов, содержащих семантические признаки для каждого слова.

Latent Dirichlet Allocation (LDA) – это трехуровневая иерархическая байесовская модель, в которой каждый элемент набора текстов моделируется как конечная смесь базового набора тем. Каждая тема, в свою очередь, моделируется как бесконечная смесь базового набора тематических вероятностей. Темы могут быть созданы из набора текстов, но доля каждой темы в каждом тексте различна. Тематическая модель генерирует сводки по темам с точки зрения дискретного распределения вероятности по словам для каждой темы, а также делает вывод о дискретном распределении по темам для каждого текста.

TF-IDF (TF – term frequency, IDF – inverse document frequency). Три основных компонента, которые влияют на важность слова в тексте – это фактор частоты слова, фактор обратной частоты текста и нормализация длины текста. Основная идея метода состоит в том, чтобы больший вес получали слова с высокой частотой в пределах конкретного текста и с низкой частотой употреблений в других текстах. Частота терминов (TF) – это вес, который зависит от распределения каждого слова в текстах. Обратная частота текста (IDF) – это вес, который зависит от распределения каждого слова в базе данных текстов. TF-IDF – это метод, который использует как TF, так и IDF для определения веса слова. Учитывая набор текстов D, слово w и отдельный текст d, вес w_d задается формулой (1):

$$w_d = f_{w.d} \cdot \log \frac{|D|}{f_{w,D}} \quad (1)$$

где $f_{w.d}$ – количество раз, когда w появляется в документе d; $f_{w,D}$ – это количество документов, в которых w появляется в D.

Результатом TF/IDF является вектор с различными терминами вместе с их весами терминов.

III. Практические результаты

A. Описание данных

Данные представляют из себя набор обращений в поддержку по электронной почте и телефонных обращений, письменно зафиксированных операторами первой линии, а также категорий, к которым они относятся. Всего выделено 3 категории: инцидент, запрос на обслуживание, запрос на информацию. Запросы написаны на русском языке, соответственно, предварительная обработка подразумевает использование методов, которые могут работать с данным языком.

B. Результаты работы

Для изучения влияния предварительной обработки на метрики качества классификации модели реализуются и тестируются следующим образом:

1. без предобработки;
2. без нормализации / с нормализацией;
3. лучшая модель на 2 шаге + без удаления стоп-слов / с удалением стоп-слов;
4. лучшая модель на 3 шаге + стемминг / лемматизация;
5. лучшая модель на 4 шаге + bag-of-words/2-grams/3-grams;
6. TF-IDF / лучшая модель на 5 шаге + LSA / LDA.

Для корректной работы моделей необходимо привести данные в вид, с которыми смогут работать классификаторы, поэтому на шаге 1 использована токенизация, а также индексация (Bag-of-Words). Алгоритмы индексации отдельно протестированы на шаге 5. В качестве алгоритма классификации выбран линейный классификатор, оптимизированный стохастическим градиентным спуском (SGDClassifier). Для оценки качества взяты метрики Accuracy, Precision, Recall и F-measure [11, 12]. Полученные результаты работы сведены в таблицу.

ТАБЛИЦА I Результаты классификации запросов в зависимости от различных способов их предобработки

№	Качество работы моделей				
	Модель	***Accuracy***	***Precision***	***Recall***	***F-score***
1	без предобработки	0,8843	0,8629	0,8874	0,8735
2	нормализация	0,8927	0,8837	0,893	0,8882
3	нормализация + удаление стоп-слов	0,9001	0,8929	0,8953	0,8965
4	нормализация + удаление стоп-слов + стемминг	0,8997	0,885	0,8829	0,8923
	нормализация + удаление стоп-слов + лемматизация	0,9088	0,8962	0,9004	0,9025
5	нормализация + удаление стоп-слов + лемматизация + 2-grams	0,8779	0,8827	0,8809	0,8803
	нормализация + удаление стоп-слов + лемматизация + 3-grams	0,8638	0,888	0,8623	0,8757

Продолжение таблицы

№	Качество работы моделей				
	Модель	***Accuracy***	***Precision***	***Recall***	***F-score***
6	нормализация + удаление стоп-слов + лемматизация+bag-of-words + LSA	0,8319	0,8403	0,834	0,8361
	нормализация + удаление стоп-слов + лемматизация+bag-of-words + LDA	0,8605	0,8764	0,8332	0,8684
	нормализация + удаление стоп-слов + лемматизация + TF-IDF	0,9128	0,8985	0,9079	0,9056

Нормализация данных (приведение к одному регистру, удаление чисел, знаков препинания) поспособствовала увеличению accuracy на 0,84 %, precision на 2,08 %, recall на 0,56 % и 1,47 %. Удаление стоп-слов также привело к росту качества, однако не так значительно. Стемминг, напротив, привел к снижению показателей, достигнутых на 3 шаге, что объясняется сложной морфологической изменяемостью русского языка, поэтому была выбрана лемматизация, которая увеличила метрики качества, однако всего менее, чем на 1% по сравнению с её отсутствием.

Из методов индексации выбор был остановлен на bag-of-words (который применялся еще с первого шага), так как биграммы и триграммы значительно снизили показатели по сравнению с 4 шагом. Так, при использовании триграмм accuracy составил 0,8638, а recall – 0,8623, что ниже даже исходных показателей. Это говорит о том, что в тестируемых запросах больший смысл имеют слова, нежели словосочетания. Кроме того, N-граммы создают матрицы большего размера, на выполнение классификации которых требуется больше времени и памяти.

Попытки уменьшить размерность пространства признаков привели к значительному снижению метрик качества: при использовании LSA accuracy составил всего 0,8319, precision – 0,8403, recall – 0,834. Однако успешным оказалось применение TF-IDF, который содержит в себе и индексацию, и выбор признаков.

IV. Заключение

В статье представлено описание этапов предобработки текстовых данных и методов на каждом из них, а также проанализировано их влияние на качество результата в СППР для службы технической поддержки. В целом можно заключить, что предварительная обработка запросов положительно сказывается на метриках качества классификации. Наибольшие показатели оказались у модели, содержащей нормализацию, удаление стоп-слов, лемматизацию и TF-IDF. По сравнению с метриками без предобработки accuracy увеличился на 2,85 %, precision – на 3,62 %, recall – на 2,05 %, F-measure – на 3,31 %.

В качестве дальнейших исследований предлагается исследовать влияние предварительной обработки текстов различных тематик на качество классификации по категориям, а также провести подробный анализ существующих методов классификации запросов в техническую поддержку.

Список литературы

[1] Katharina M. and Martin, S. The Mining Mart Approach to Knowledge Discovery in Databases, Ning Zhong and Jiming Liu, Intelligent Technologies for Information Analysis, Springer, 2004. C.47-65.

[2] A. Mullen L. et al. Fast, consistent tokenization of natural language text // Journal of Open Source Software. 2018. Т. 3, №. 23. С. 655.

[3] Kadhim A.I. An evaluation of preprocessing techniques for text classification // International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS). 2018. Т. 16, №. 6. С. 22-32.

[4] http://snowball.tartarus.org/algorithms/russian/stop.txt

[5] Vijayarani S. et al. Preprocessing techniques for text mining-an overview // International Journal of Computer Science & Communication Networks. 2015. Т. 5, №. 1. С. 7-16.

[6] Филипчик А.В. Стемминг слов в лингвистической информационно-поисковой системе // Апробация. 2016. №. 1. С. 65.

[7] Батура Т.В. Методы автоматической классификации текстов // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30, №. 1.

[8] Климов Д.В. Предобработка текстовых сообщений для метрического классификатора // Символ науки. 2017. №. 12.

[9] Williams T., Betak J. A Comparison of LSA and LDA for the Analysis of Railroad Accident Text // Procedia computer science. 2018. Т. 130. С. 98-102.

[10] Mohammed S.H., Al-augby S. Lsa & lda topic modeling classification: Comparison study on e-books // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2020. Т. 19, №. 1. С. 353-362.

[11] Adeleke A.O. et al. Comparative analysis of text classification algorithms for automated labelling of Quranic verses // Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 2017. Т. 7, №. 4. С. 1419.

[12] Uysal A.K. An improved global feature selection scheme for text classification // Expert systems with Applications. 2016. Т. 43. С. 82-92.

Детектирование аномалий в технологических процессах газотранспортной системы с использованием сетей с долгой краткосрочной памятью (LSTM)

А. К. Петрова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
akpetrova@etu.ru

Аннотация. **Технологические процессы газотранспортной системы подвержены влиянию множества внутренних и внешних факторов. Вследствие этого могут возникнуть аномалии в данных, свидетельствующие о возникновении разного рода проблем, например, дефектах в трубопроводе, выходе из строя измерительного оборудования, человеческом факторе, изменении содержания в составе газа. Для выявления подобных аномалий могут быть использованы методы интеллектуального анализа редких данных, событий или наблюдений. В число таких методов входят искусственные нейронные сети с долгой краткосрочной памятью (long short-term memory, LSTM). Их применению в технологическом процессе учета расхода газа посвящена данная статья.**

Ключевые слова: глубокое обучение; рекуррентная нейронная сеть; детектирование аномалий; задачи классификации; технологические процессы, газотранспортная система

I. Введение

Одним из показателей эффективности газотранспортной системы (ГТС) является баланс газа - равенство объемов поставленного и потребленного газа в стандартных условиях, с учетом норм потребления газа за отчетный период [1, 2].

Задачи учета расхода и контроля баланса тесно связаны с задачей определения причин, местонахождения, прогнозирования и предотвращения утечек в системе газоснабжения. Небаланс поданного с газораспределительных станций (ГРС) и принятого потребителями объемов газа является потерей природного газа. Потери делятся на действительные и виртуальные [3]. К действительным относятся потери газа от негерметичности фланцевых соединений газопроводов, при транспортировке газа, при обслуживании газопроводов и газового оборудования, а также вследствие аварий и инцидентов на газопроводах. Действительные потери характеризуются утечками, которые определяются как вытекание газа в атмосферу с заданной скоростью при неизвестном месте расположения. Скорость потери газа зависит от давления и размера отверстия. Обычно утечка газа происходит с довольно постоянной скоростью и постепенно увеличивается со временем, если не устранить ее причину [5]. К виртуальным (мнимым) потерям относятся потери, случившиеся по причинам, которые иногда трудно обнаружить, таким как отклонения объемов вследствие погрешности средств измерений на узлах учета газа, несовершенство нормативов, организационные недостатки. Поскольку неучтенные потери негативно сказываются на показателях эффективности деятельности газотранспортного предприятия, своевременное детектирование аномалий (данных по расходу газа, которые существенно отличаются от большей части данных) для выявления причин, приводящих к утечкам, является актуальной задачей.

II. Применение LSTM сетей для обнаружения аномалий

Детектирование аномалий применяется для решения двух типов задач: обнаружения отклонений в данных (задача классификации), и предсказание времени исправной работы оборудования по характеру изменения последовательности данных во времени (задача регрессии). Предсказательное обслуживание является компромиссом между реактивным и профилактическим облуживанием, так как основано на оценке состояния оборудования, а не на статистике среднего или ожидаемого срока службы для прогнозирования потребности в техническом осмотре.

Аномалии в данных ГТС определяются одновременным воздействием нелинейных характеристик внешней и рабочей сред, поэтому для решения задачи их детектирования, перспективным является применение алгоритмов машинного обучения, в том числе искусственных нейронных сетей (ИНС) [6][8][9]. Поскольку статистические данные газораспределительных станций представляют из себя временные ряды, в число рассматриваемых алгоритмов были включены рекуррентные нейронные сети с долгой краткосрочной памятью LSTM (long short-term memory), как положительно зарекомендовавшие себя в применении к временным последовательностям, по сравнению с простыми рекуррентными сетями [10].

Сеть LSTM – тип рекуррентной нейронной сети, которая содержит LSTM-модули, способные запоминать значения как на короткие, так и на длинные промежутки времени. Ключом к данной возможности является то, как LSTM-модуль использует функции активации внутри своих компонентов [10].

Рис. 1 [10] иллюстрирует поток данных через блок LSTM на временном шаге t. На данном рисунке:

x_t – входной вектор на шаге t;

h_i – вектор скрытого состояния на шаге t;

c_i – вектор состояния LSTM ячейки;

f – блок, или «вентиль» забывания, в котором функция активации (в данном блоке – сигмоида) не срабатывает, то есть данное «забывается», если оно не оказывает существенное влияние на текущее значение временной последовательности данных.

g – блок («вентиль») запоминания, в котором функция активации (в данном блоке – сигмоида и гиперболический тангенс) срабатывает, то есть данное «запоминается», если оно новое, отличается от предыдущих, или по какой-то еще причине может оказать существенное влияние на текущее значение временной последовательности данных;

i – входной блок LSTM ячейки;

o – выходной блок LSTM ячейки.

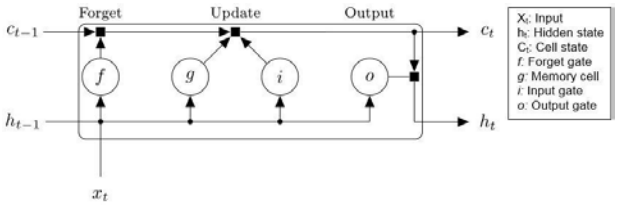


Рис. 1. Поток данных на временном шаге t

Результатом обучения сети LSTM является такой набор весов, который, на основе имеющихся статистических данных, обеспечил правильное определение данных, которые необходимо «забыть» или «запомнить».

III. Применение сети LSTM к данным ГТС

Для обнаружения аномалий в региональной ГТС, были проанализированы накопленные за 7 месяцев статистические данные по расходу газа на 190 региональных ГРС, в части которых были выявлены аномалии.

Таким образом, входные параметры для построения нейросетевой модели являются:

- дата;
- расход газа Q, м3.

График изменения данных одной из 190 ГРС представляет Рис. 2. На этапе подготовки данных выполнена нормализация на максимальное значение переменной, набор данных разделен на обучающую и тестовую выборку в пропорции 75 % и 25 % исходного набора данных соответственно.

Рис. 2. Графическое представление нормализованных данных i-й ГРС

Далее синтезирована сеть со следующими характеристиками:

- Два рабочих слоя, один рекуррентный с модулями LSTM, один полносвязный слой прямого распространения.
- Обучение с учителем.
- Алгоритм обучения – стохастический градиентный спуск (SGD) – итерационный метод оптимизации целевой функции.
- Функция активации LSTM модулей – сигмоида, гиперболический тангенс.
- Цель работы сети: выявить наличие или отсутствие аномалий в данных ГРС.

Основными слоями сети LSTM для решения задачи обнаружения отклонений являются: слой ввода временной последовательности данных; слой LSTM, выдающий на выходе последнее значение, поскольку решается задача классификации; слой Dropout для предотвращения переобучения; полносвязный слой прямого распространения с двумя выходами; слой Softmax, который нормализует входные данные слоя таким образом, что сумма его элементов равна 1, что позволяет вычислить вероятность получившегося класса; выходной классификационный слой. Рисунок сгенерирован в среде Matlab (Рис. 3).

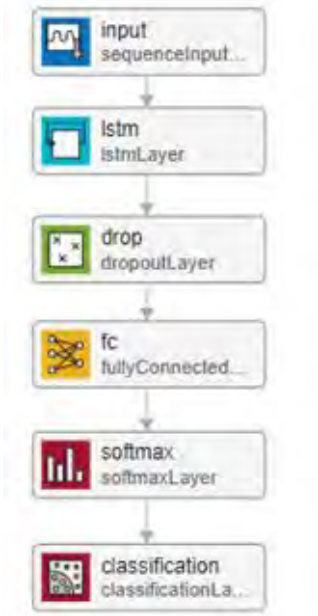


Рис. 3. Архитектура LSTM сети для детектирования аномалий в данных ГРС

Графики ошибки обучения (Рис. 4, верхняя часть) и функции потерь (Рис. 4, нижняя часть) по данным ГРС представлены ниже.

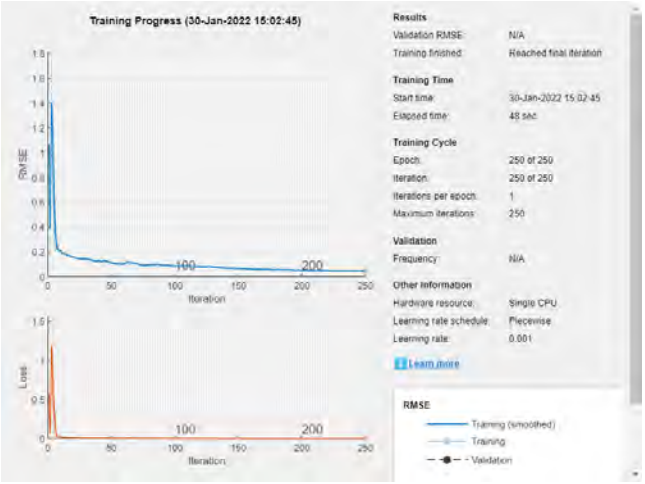


Рис. 4. График обучения и функция потерь нейросетевой модели на основе данных ГРС

Далее построен матрица спутанности (confusion matrix) Рис. 5. Матрица полученного решения является диагональной, что свидетельствует о правильности работы модели.

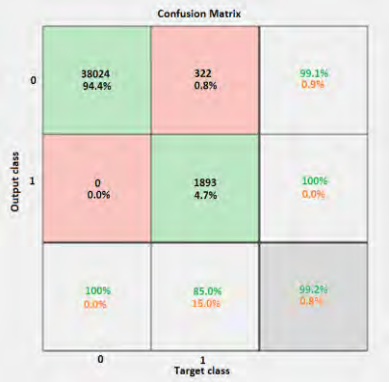


Рис. 5. Матрица спутанности LSTM модели

Матрица показывает, что LSTM сеть классифицирует успешно. Можно предположить, что LTMS способна детектировать отклонения в данных технологического процесса учёта расхода газа.

К исходному массиву данных в среде Matlab [12], наряду с сетью LSTM, были применены также другие алгоритмы классификации. Сравнение результатов применения методов приведено в таблице.

ТАБЛИЦА I СРАВНЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К ДАННЫМ ГТС

Модель	Точность предсказания, %	Длительность обучения, сек.
SVM	95	3.92
GP Gaussian	92	11.59
Деревья решений	96	4.83
Двуслойная ИНС прямого распространения с 30 нейронами в скрытом слое	98	2,7
Двуслойная ИНС прямого распространения с 20 нейронами в скрытом слое	95	1,1
LSTM сеть	99	0.80

Лучший результат по точности предсказания и времени обучения достигнут с применением однонаправленной рекуррентной нейронной сети LSTM.

IV. Дальнейшее развитие

Если в рассмотренной выше модели заменить последние 2 слоя (Softmax и классификации) на слой регрессии, и на выходе слоя LSTM поместить не последнее значение, а последовательность значений, то можно обучить сеть LSTM прогнозировать значения последовательности на каждом временном шаге, при этом обучающими данными станут значения последовательности, сдвинутые на один временной шаг и будет решаться задача регрессии [13][14][15].

Для проверки работы регрессионной модели основе LSTM сети были использованы фактические значения временных рядов. Для определения каждого прогнозного значения предсказывался следующий временной шаг, с использованием наблюдаемого значения предыдущего временного шага. Результат демонстрирует Рис. 6. На данном рисунке показаны работа модели (верхняя часть графика) и ошибка предсказаний (нижняя часть графика).

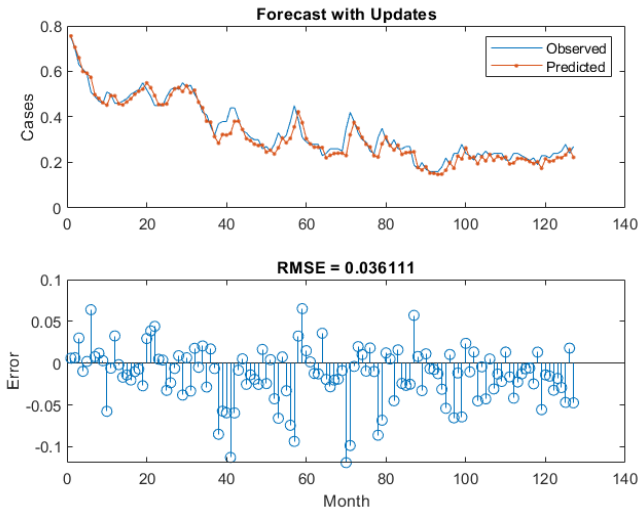


Рис. 6. Работа модели (верхняя часть графика), ошибка предсказаний (нижняя часть графика)

График показывает, что прогнозы достаточно точны. Решение регрессионной задачи с помощью сети LSTM может быть использовано для предсказания времени исправной работы оборудования, то есть предсказательного обслуживания, что будет рассмотрено в следующих публикациях.

V. Заключение

В статье рассматривается возможность применения LSTM сетей для детектирования аномалий в данных технологического процесса учета расхода газа в региональной газотранспортной системе. Рассмотрена задача классификации – выявления отклонения текущего значения от предсказанного. Результаты показали способность LSTM сети выявить такое отклонение. Следующим шагом в исследования является применение LSTM сети для предсказания следующего значения временной последовательности на основе предыдущего значения данных процесса учета расхода газа региональной ГТС, с целью определения времени исправной работы оборудования, а также применения других архитектур ИНС, таких как двунаправленная LSTM сеть и вариационный автоэнкодер, для решения обоих типов задач предсказательной аналитики.

Список литературы

[1] ГОСТ Р 8.618-2006 «Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расходов газа»

[2] ГОСТ Р 8.741-2011 «ГСИ. Объем природного газа. Общие требования к методикам измерений».

[3] Тухбатуллин Ф.Г., Семейченков Д.С., Тухбатуллин Т.Ф. Метрологический фактор наличия небаланса в системе «ГРС – Потребитель» Труды РГУ Нефти и Газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2017, №4. С. 86-94.

[4] Положение об оперативном учете природного газа, утвержденное Приказом ООО «Газпром межрегионгаз» от 17.04.2018 № 47

[5] ПР 50. Количество природного газа. Типовая методика выполнения измерений объемов природного газа в реальных условиях эксплуатации при взаимных расчетах между поставщиком и потребителями, ФГУП ВНИИМС, Москва 2003

[6] Joel Levitt Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance 2nd Edition, New York: Industrial Press, 2002.

[7] Vladimir N. Vapnik. The nature of statistics. Learning theory. Second edition. Springer Verlag NY, 2005.

[8] Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия: Оренбург, ГОУ ВПО ОГУ: 2003

[9] Haykin S. Neural networks. Complete course. Williams, 2018, 1104 p.

[10] S. Hochreiter, J. Schmidhuber Long short-term memory, Neural Computation 9(8):1735{1780, 1997.

[11] https://www.mathworks.com/discovery/lstm.html?s_tid=srchtitle_LSTM_1

[12] Мартынов Н.Н. Введение в MATLAB 6 / Н.Н. Мартынов. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2002. 352 с.

[13] https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/time-series-forecasting-using-deep-learning.html

[14] Saxena Abhinav, Kai Goebel, Don Simon, and Neil Eklund. "Damage propagation modeling for aircraft engine run-to-failure simulation." In Prognostics and Health Management, 2008. PHM 2008. International Conference on, pp. 1-9. IEEE, 2008.

[15] Kudo Mineichi, Jun Toyama, and Masaru Shimbo. “Multidimensional Curve Classification Using Passing-through Regions.” Pattern Recognition Letters 20, no. 11–13 (November 1999): 1103–11. https://doi.org/10.1016/S0167-8655(99)00077-X.

Анализ применения машинного обучения и нейросетей в управлении человеческими ресурсами на примере кейсов внедрения ботов

Н. Н. Покровская
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена
nnp@spbstu.ru

В. А. Спивак[1], М. А. Петров[2]
Санкт-Петербургский государственный экономический университет
[1]va-spivak@yandex.ru, [2]petrov_maxim@rambler.ru

С. О. Снисаренко
Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики
sos60@inbox.ru

***Аннотация*. Чат-боты и анализ профилей социальных сетей выступили одними из первых инструментов применения машинного обучения и нейросетевых технологий в области управления персоналом. Первые кейсы по внедрению чат-ботов для взаимодействия как в письменной текстовой форме, так и в устной (для телефонного разговора) показали, что несмотря на существенные преимущества чат-бота в выборе правильного лексикона (адаптация формулировок на основе резюме соискателя, дешевизна бота в сравнении со стоимостью человеко-часа HR-специалиста, и др.), применение чат-ботов встречает и препятствия. В статье на основе анализа нескольких кейсов крупных российских компаний показаны основные факторы, определяющие уровень успешности применения чат-ботов: социокультурные, социально-психологические и управленческие. Систематизированы рекомендации по настройке нейросетевого обеспечения для анализа визуальной (при видео-интервью), голосовой и текстовой информации с учётом методик психологической диагностики (распознавание эмоционального содержания по голосу, мимике, жестам) и с учётом институциональных рамок, определяющих выбор моделей поведения.**

Ключевые слова: нейросети; машинное обучение; бот; чат-бот; персонал; менеджмент; управление персоналом; диагностика

I. Введение

Цифровизация социально-экономических процессов выражается как в роботизации рутинных физических операций, так и в автоматизации принятия отдельных управленческих решений, опирающихся на количественные измерения.

В XXI веке цифровизация затронула качественные алгоритмы (с применением математического аппарата нечёткой логики) и рутинные интеллектуальные операции, включающие обработку информации и извлечение статистических (прежде всего, корреляционных) зависимостей и закономерностей.

Опыт применения машинного обучения и нейросетей в практике разнообразной человеческой деятельности, связанной с информацией (внедрение ботов в журналистской работе, аналитическая работа по выявлению критериев диагностики в медицине, праве, обслуживании двигателей и оборудования, и др.) показал высокую эффективность нейросетевых технологий для предварительной категоризации и классификации, одновременно поставив ряд социокультурных и этических вопросов. В частности, обнаружилось, что гуманизация постсовременного общества поставила ряд новых требований (наряду с критерием эффективности) к цифровой трансформации всех сфер деятельности, связанных с людьми, в т. ч., в управлении человеческими ресурсами (УЧР, HRM, human resource management).

Данная статья рассматривает ряд кейсов внедрения чат-ботов, голосовых и видео-ботов в управлении персоналом, в частности, для приглашения на интервью и их проведения при поиске и отсеве кандидатов на рабочее место. Сделаны выводы о культурных нормах (ценностно-смысловых оценочных суждениях и поведенческих моделях) и этических дилеммах (при принятии решения и совершении выбора, реализации принципов не-дискриминации), препятствовавших успешному внедрению ботов в работе HR-специалистов; предложены вариативные способы выхода из проблемных ситуаций при цифровой трансформации HR-работы.

II. Проблематика согласования гуманизации и цифровой трансформации

В ходе практики внедрения цифровизации в управлении выявлены проблемы, связанные с правом человека на неосведомлённость, отказ от информирования и выход из коммуникационных каналов. Если в условиях традиционного общества исключение из информационных потоков составляло значимую негативную социальную санкцию (исключение вплоть до остракизма), то сегодня человек включён в разнообразную коммуникационную среду, изобилующую возможностями контакта, что привело, с одной стороны, к дифференциации социального взаимодействия (прежде всего, повышению ценности

близких доверительных контактов и снижению вплоть до отрицательной ценности обезличенных контактов, например, бан на рекламу), а с другой, к обесцениванию части «средних» уровней персонифицированных связей (таргетированная реклама нередко обращается по имени и отчеству к потенциальному покупателю, в то же время не находясь в круге близких взаимоотношений с адресатом).

A. Проблематика права на невежество

Для сферы управления, проблематика права индивида на неосведомленность приобрела следующие формы.

- в условиях избытка данных неосведомлённость выступает самостоятельным правом, которым иногда злоупотребляют покупатели и в целом все индивиды как субъекты социально-экономических отношений (институциональные субъекты не могут себе этого позволить, находясь в прозрачном для налоговых и иных контролирующих органов информационном пространстве и в жёстко регулируемом правовом поле);
- организационное принуждение к освоению знаний, компетенций, навыков встречает сопротивление персонала, которое может преодолеваться жёстким давлением со стороны администрации компании (негативное санкционирование в форме лишения ресурсов: угроза увольнения, штрафы и т.п.), либо искусным ремеслом управленца, его личностным умением мотивировать, вовлечь, заинтересовать, вдохновить, заразить примером, показать образец;
- внеорганизационные отношения не допускают давления, но опираются на рациональное стремление к оптимизации – компании применяют инструменты, подталкивающие к освоению новых знаний, технологий для повышения эффективности (получения доступа к дополнительным ресурсам, выгодам, снижения стоимости и издержек доступа к ресурсам), снижения транзакционных издержек (использование цифровых платформ вместо расхода времени на личную явку в организацию, учреждение) или рисков (при пандемии многие пожилые люди вынуждены были ради сохранения здоровья освоить цифровые инструменты общения, заказа доставки продуктов и т. п.).

В УЧР ряд процессов происходит внутри организации, что подразумевает организационные меры принуждения к освоению цифровых технологий, другая часть происходит вне организации, оставляя более широкое пространство для индивидов в поиске адаптационных траекторий и оптимизационных стратегий. Так, ряд крупных компаний для привлечения кандидатов на вакансии неоднократно переформатировали свои информационные ресурсы для упрощения общения с кандидатами на трудоустройство, выводя такие инструменты в мессенджеры, социальные сети, поскольку основная часть потенциальных кандидатов пользуется цифровыми платформами коммуникации.

Вместе с этим, организационные процессы проходят в рамках национального и наднационального нормативного регулирования, в частности, законодательство РФ требует применения российских разработок программного обеспечения (ПО), отечественное ПО широко применяется и партнерами стран ЕАЭС, особенно, подрядными организациями, для которых значимы заказы российских предприятий и учреждений. Кроме того, и российское, и зарубежное законодательство определяют достаточно чёткие и жёсткие правила обработки персональных данных сотрудников и клиентов, задавая регламент работы с информацией, получаемой чат-ботами и HR-роботами.

Таким образом, цифровая трансформация регулируется как удобством и привычками широких пользователей (внешние контакты), так и требованиями законодательства и внутренних правил и регламентов организации (в случаях внутриорганизационных коммуникаций).

B. Адаптация инструментов информирования и коммуникации к поведенческим моделям постсовременного человека

Адаптация коммуникационных инструментов к нормам повседневного поведения широких масс индивидуальных пользователей принимает ключевое значение в тех случаях, когда компании обращаются к населению региона и страны с приглашением на вакансии начального уровня, не требующие специального образования и квалификации. Например, крупные компании применяют разнообразные чат-боты (голосовые; текстовые боты в мессенджерах и соц.сетях) для подбора персонала на вакансии операторов колл-центров и продавцов-консультантов, «Ростелеком» широко применяет чат-бот Vera (разработан петербургской компанией Stafory) для найма менеджеров по продажам, операторов контакт-центра, специалистов техподдержки, техников связи, электромонтеров и пр. места с высокой текучестью кадров; при рекрутинге на аналогичные позиции применяют чат-боты такие гиганты, как X5 Retail Group, Почта банк, М.видео, Альфа-банк, Вымпелком, МТС [1]. Вера распознает голосовые ответы претендентов, выделяет заинтересованных, отвечает на простые вопросы о будущей работе. Рекрутер Ростелекома просматривает список и выбирает кандидатов для видеоинтервью, которое опять проводит робот.

Чат-бот (текстовый, голосовой, видео) использовался вначале для холодного обзвона: робот анализировал около 50 млн. резюме, вывешенных на специальных порталах по поиску работы в Интернете, отбирал претендентов для конкретных вакансий и направлял авторам таких резюме электронные письма (email), сообщения в месенджерах, а также звонил и, при согласии на интервью, проводил предварительное интервью с видеозаписью ответов. Были обнаружены следующие социокультурные особенности:

- стандартизация общения с ботом воспринимается как унизительная для человеческого достоинства, кандидаты нередко возмущены тем, что уже на фазе знакомства с компанией им демонстрируют безличное отношение не как к людям [2], а как к винтикам в корпоративной бизнес-машине, в них видят не личность, а в явной форме показывают, что видят в них только источник дохода компании;

- в России люди не привыкли разговаривать по телефону с роботом и часто, не дослушав, бросают трубку [1], поскольку не считают коммуникацию с роботом адекватной своему жизненному опыту;
- автоматическая запись голоса ассоциируется с рекламной акцией, у людей возникает ощущение, что им навязывают что-то ненужное;
- женский голос в записи иногда воспринимается как намёк на несерьёзный предмет разговора, вплоть до ошибочного вывода, что речь пойдёт о рекламе интимных услуг, что способствовало искажённой реакции адресата звонка на сообщение;
- наладка бота требует чётко выверенной градации эмоций: безэмоциональный голос робота скучен для молодых поколений, слишком эмоциональный голос робота отпугивает фальшью или излишним сходством с живым человеком, очеловечивание машины воспринимается как оскорбительное;
- обратная связь чат-бота должна быть адаптирована к современному разговорному языку, в частности, не должна быть ни однообразной, ни навязчиво разнообразной, ни напыщенно официозной (целесообразно разработать дюжину версий ответа «я Вас не совсем понял, уточните, пожалуйста», которая вызывает раздражение, поскольку человек тоже не всегда понял, что же роботу было непонятно, и как ему объяснить иным образом);
- объективные процессы, особенно, вычислительные операции, люди готовы доверять боту в большей мере, чем человеку: люди предпочитают, чтобы именно бот оформлял больничный, командировку или отпуск, рассчитывал и выдавал зарплату [3];
- к боту как машине не применяются правила этики, деликатности и иногда даже простой вежливости в общении, например, легче проигнорировать бот, чем живого собеседника;
- распознавание эмоций собеседника по голосу (при аудио-чате) и лицу (видео-чат) должно учитывать и специфическое отношение человека к общению с машиной (притворяющейся собеседником), эмоции отличаются от разговора с живым собеседником;
- стандартные формулировки скрипта чат-бота могут не находить соответствующего аналога в речевых нормах получателя звонка, т.е. адресат попросту не вполне понимает робота или понимает неверно.

Применение нейросетей в этом случае может решить часть проблем: название вакансии у работодателя и в восприятии потенциального кандидата может различаться, машинное обучение позволяет адаптировать употребление слов и профессионального жаргона, к лексикону адресата. Например, «менеджер по продажам», «мерчендайзер», «продавец», «продавец-консультант» для бота являются разными терминами. На вопрос «хотите ли Вы работать в Москве» кандидат может ответить: «Не только в Москве, но и в области», – что живой собеседник трактует как «да», а бот интерпретирует как «нет». Адекватное распознавание и фиксация ответов пользователей представляет собой ключевую сферу для применения нейросетевых технологий в управлении персоналом.

III. Анализ кейсов эволюции внедрения ботов с применением нейросетей

В сфере управления человеческими ресурсами чат-боты и роботы вынужденно эволюционируют достаточно быстро. Так, кейс сети магазинов «Пятерочка» X5 Retail Group демонстрирует два направления такой эволюции: во-первых, HR-специалисты предложили изменить голос, манеру говорить и содержание реакций чат-бота при найме новых сотрудников, во-вторых, применение робота было расширено от найма (стандартного, наиболее массового этапа работы с персоналом, включающего обработку, в ряде случае, миллионов профилей) к адаптации, стимулированию труда и карьерному планированию.

A. Развитие контента и формата коммуникации бота

Эволюция работы чат-ботов позволяет использовать машинное обучение для расширения диапазона реакций бота на взаимодействие с конкретным пользователем – на его лексику, манеру общаться (например, эмоциональную или сдержанную), способ коммуникации (письменный текст, устная беседа, видео) и др.

Так, «Пятерочка» нанимает около 15 тыс. человек в месяц; с марта по май 2017 г. компания столкнулась с крайне низкой конверсией холодных звонков бота Веры (люди бросали трубку, услышав сообщение робота). С июля 2017 г. компания трансформировала технологию: изменила интонацию голоса робота, сделав его бодрее, попробовала мужской голос для общения с соискателями (робот Ермил вместо Веры). Изменился алгоритм: получив от кандидата положительный ответ о возможном интересе к вакансии, Ермил сразу автоматически переключает его на сотрудника по подбору персонала, а в предыдущей версии Вера только передавала текстовую информацию о кандидате в HR-отдел. Компания запустила чат-бота в мессенджерах WhatsApp, Viber, чтобы кандидаты могли круглосуточно получать ответы на вопросы о компании и условиях работы, чат-бот умеет подбирать вакансии рядом с домом, используя геолокацию кандидата или указанный им адрес, и записывать соискателя на интервью [4].

Кейс компании Hoff ориентирован на инициативу от потенциальных кандидатов в ответ на сведения о вакансии, которые распространялись через рекламу в соц.сетях, на сайтах, в мессенджерах и по email. Информирование через рекламу о массовых вакансиях было выбрано, чтобы привлечь молодых соискателей, у которых либо ещё нет резюме, либо в резюме нет опыта работы. Робот выполнял первичный отбор кандидатов на позиции продавца-консультанта и специалиста информационной службы. Бот определял, подходит ли кандидат на позицию, и давал обратную связь, если анкета не отвечала требованиям, то бот обещал вернуться, когда появятся более подходящие вакансии. В результате работы чат-бота 1587 человек были отобраны на открытые позиции в компании Hoff [5].

В этих двух кейсах интересно применение экспертного машинного обучения для выявления часто встречающихся формулировок в общении с чат-ботом, классификации и категоризации проблем (например,

выявление сложностей новых работников, сбор предложений по улучшению программ адаптации, и т. п.).

Сферы применения нейронных сетей как инструмента аналитики и адаптации стратегий УЧР к постсовременной реальности можно свести в следующую таблицу (таблица):

ТАБЛИЦА I ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЧАТ-БОТОВ И АНАЛИТИКИ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ

Тип бота	**Применение нейронных сетей в УЧР**		
	Обычные функции	***Платформы***	***Задачи нейросетей***
Текстовый чат-бот	Стандартные запросы; сбор ответов	Мессенджеры, email, тел., смс	Разнообразие и адаптация текста к инициативам или реакциям собеседника Распознавание смысла по фразеологизмам, поговоркам
Аудио-видео чат-бот	Сортировка обращений, запись интервью	Соц.сети, HR-сайт, корп.сайт	Развитие лексики, адаптация ее к языку конкретного собеседника
HR-робот	Анализ закономерностей, выявление проблем и оценка их веса	Биржи труда, HR-сайты	Классификация понятий, терминов; эмоций, реакций; категоризация пользователей; типизация проблем и решений и кастомизация платформ, интеграция экосистем

Составлено авторами.

Вместе с этим, показано, что внедрение чат-ботов более эффективно для сотрудников более молодых поколений (для старших поколений обучение их использованию «съедает» выгоду от внедрения) и для сферы услуг более, чем производственных сотрудников (очевидно, что роботы и боты наиболее интуитивно понятны для специалистов, выполняющих задачи в IT-секторе, но и в целом работа в сервисе более коррелирует с эффективностью чат-ботов).

B. Расширение вопросов, решаемых HR-роботом

Сеть «Пятерочка» перепрофилировала робота для контактов с недавно нанятыми продавцами и кассирами московских магазинов сети, с января 2018 г. он обзванивает около 10 000 человек в месяц и интересуется, как им работается на новом месте. Для общения был создан чат-бот, ссылку на которого в смс получили все, кто отработал в магазинах 10 и 30 дней. Бот задавал вопросы, насколько работник доволен местом расположения магазина, удовлетворяют ли его бытовые условия работы, ознакомительные и образовательные встречи, взаимодействие с директором, начальником, коллегами. Подробный алгоритм-сценарий включал множество ответных реакций, выбор каждой зависел от ответов сотрудников об их информированности о тех или иных процедурах. По каждому блоку сотрудник оценивал полезность и удовлетворенность по 10-балльной шкале. Если какие-то этапы адаптации были упущены, бот сообщал о том, что наставник свяжется с сотрудником для продолжения обучения. HR-специалисты смогли получить информацию для решений о том, нужно ли в будущем изменить логику работы с сотрудниками в их первый месяц, и понять, как быстро они адаптируются.

Для адаптации персонала чат-боты используются в российских компаниях достаточно широко, такие кейсы подробно проанализированы, показана необходимость их интеграции с мессенджерами (как правило, с Whatsapp, Viber, Telegram) и внутренними базами данных кадровой службы, бухгалтерии, административных подразделений предприятия [6].

Нейросетевые технологии в развитии сфер внедрения чат-ботов полезны для выявления проблемных областей, где рутина и творчество могут быть разведены, т.е. где внедрение ботов может высвободить существенный объем рабочего времени сотрудника [7] для более интересной и производительной деятельности. Нейросети помогают определять более эффективные форматы сообщений, выявлять оптимальные время и место [8] публикации приглашений на HR-мероприятия.

C. Регулирование доступа нейронных сетей к данным и рекомендации для настройки нейросетей в УЧР

Вместе с этим, нейросетевые технологии в управлении персоналом могут существенно улучшить аналитические результаты на основе открытия обезличенных данных российских граждан, которые должны быть представлены в едином государственном озере данных (data lake), на котором будет запущен маркетплейс дата-сетов в формате, доступном для обработки нейронными сетями. Так, 29 дек. 2021 г. зам. председателя правительства Д.Н. Чернышенко поручил ведомствам (ФНС, Росстат, Росреестр, Россельхознадзор, Минвостокразвития) подготовить график открытия обезличенных дата-сетов для нейронных сетей, на том же совещании сообщил о том, что по поручению Президента РФ все социально значимые объекты в России (фельдшерские пункты, школы и т.п., вплоть до поселений с численностью менее 20 чел.) подключены к широкополосному Интернету. 30 дек. 2021 он же заявил о вводе в действие государственной единой биометрической системы граждан РФ [9; 10; 11].

Еще в 2018 г. МинЦифры заявляло о целесообразности создания общенациональной архитектуры данных, которая обеспечит семантическую возможность общения систем. 16 дек. 2021 на сайте Президента РФ был опубликован Перечень поручений по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» (AI Journey, 12.11.2021), утвержденный президентом 16.12.2021, в котором среди 11 поручений содержится и два (Пр-2371, п.2 о подготовке проектов федеральных законов до 1.03.2022 и Пр-2371, п.3а о разработке предложений Банком России и правительством РФ до 1.06.2022) по предоставлению «доступа к наборам обезличенных данных при условии обеспечения безопасности и конфиденциальности персональных данных, в том числе обезличенных» и «доступа к наборам обезличенных данных, содержащихся в информационных системах крупнейших организаций отдельных отраслей экономики и социальной сферы, в целях содействия конкурентному экономическому развитию субъектов предпринимательской деятельности при условии обеспечения безопасности и конфиденциальности персональных данных, в том числе обезличенных» [12].

Накопленная практика применения чат-ботов позволяет сформулировать ряд рекомендаций по их развитию, в т. ч. с помощью машинного обучения:

- распознавание эмоций при общении с машиной отличается от общения с человеком или просмотра записи с людьми или животными, целесообразно использовать для машинного обучения HR-роботов и ботов накопленные данные по эмоциональным реакциям в этом специфическом контексте;

- накопление понятийно-терминологического запаса и его смысловых коннотаций и употребительных особенностей позволяет адаптировать текст к каждому собеседнику бота, при этом нейросети должны быть настроены на постоянное обучение оттенкам смысла и ситуациям словоупотребления;
- социокультурный контекст имеет региональный и локальный характер, нередко связан с профессией, образованием и с происхождением (социальным слоем, к которому принадлежит семья сотрудника), нейросети могут проводить обширный анализ разнообразных персональных данных и выявлять закономерности для эффективного построения интерактивных коммуникаций бота с сотрудником;
- нейросети на основе доступа к профилям человека в социальных сетях и к предыдущим сообщениям в мессенджерах, почте, смс, звонках, интервью, могут анализировать и выявлять не только лексику, но и типичные реакции, особенности выражения (например, масштаб использования иронии, жестов и диапазон интонаций), аттитюды и установки (например, готовность к обучению, мобильность) и планы карьеры и смены жизненной траектории (переезд, семейные обстоятельства, и т. п.);
- важно диагностировать предвзятость алгоритмов и выявлять процессы амплификации дискриминации (например, если в компании некоторая категория сотрудников обладает сходными качествами, возможно, это дефект управления и организации, а не категории и личностных качеств сотрудников);
- определение областей и задач, предпочтительных для взаимодействия с ботом, позволяет выделить, по меньшей мере, три «деликатных» сферы: деньги (расчет зарплат и премий), больничные (обработка медицинских персональных данных сотрудников), документооборот (безличная бюрократия), рутина, в этих сферах задач следует адаптировать чат-боты как ассистентов, помощников, а не собеседников.

Доступ нейросетей к обширным озёрам данных по стране и по регионам позволит проводить предиктивную аналитику в сфере УЧР как с точки зрения размещения трудовых ресурсов в соответствии с потребностями экономики региона и страны в целом и частного бизнеса.

IV. Заключение

Расширение использования чат-ботов для построения внутренних корпоративных порталов и экосистем ставит ряд вопросов об оптимизации цифровой трансформации управленческой системы в целом, документооборота и УЧР в частности. Дифференциация HR-роботов вызывает особый интерес к функциям, которые могут выполнять нейросетевые технологии для повышения эффективности как собственно чат-ботов, так и HR-аналитики на основе применения машинного обучения с учетом ряда факторов и ограничений, определяющих последствия цифровизации.

Список литературы

[1] Подцероб М., Ястребова С., Юдина П., Шаповалова С. Мода на роботов-рекрутеров охватила крупные российские компании/ Но проблем отделов кадров роботы все же не решают // Ведомости. 14 февраля 2018. https://www.vedomosti.ru/management/articles/2018/02/14/750906-moda-na-robotov-rekruterov

[2] Sigov V.I., Uvarov S.A., Pokrovskaia N.N. Neuro-fuzzy tools in studying social management // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2017. N.Y.: IEEE, 2017.

[3] Bulatetskaia A., Margulyan Ya., Lvin Yu., Pokrovskaia N. Neuro-technologies and fuzzy logic for intel-lectual capital evaluation in education and business. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 940 (1). P. 012090.

[4] Дуленкова А. «Пятерочка» автоматом. Ритейлер поручил роботам подбор персонала // Коммерсантъ, 06.07.2017. https://www.kommersant.ru/doc/3344781

[5] «Рекрутеры без зарплаты»: пять HR-ботов, которые работают в российских компаниях // HeadHunter. 13 сентября 2018. https://spb.hh.ru/article/505120.

[6] Поплавских Е.С. HR-бот как инструмент системы адаптации персонала // Экономика и управление: актуальные проблемы и поиск путей решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов (Пермь, 11 апр. 2019) / отв. ред. А.М. Ощепков. Пермь: ПГНИУ, 2019. 475 с. С. 299-311. – URL: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/ sborniki/ekonomika-i-upravlenie-aktualnye-problemy-i-poisk-putejresheniya.pdf. ISBN 978-5-7944-3321-0

[7] Ababkova M., Leontieva V., Trostinskaya I., Pokrovskaia N. Biofeedback as a cognitive research technique for enhancing learning process // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. - Vol. 940 (1). P. 012127.

[8] Ababkova M.Yu., Cappelli L., Leontyeva V.L., D'Ascenzo F., Pokrovskaia N.N. Digital Communication Tools and Knowledge Creation Processes for Enriched Intellectual Outcome – Experience of Short-Term E-Learning Courses during Pandemic // Future Internet. 2021. Vol. 13 (2). P. 43.

[9] Исакова Т. Сетопредставление. Ведомственные базы обезличенных данных откроют бизнесу // Коммерсантъ, 25.01.2022. https://www.kommersant.ru/doc/5181417

[10] Дмитрий Чернышенко: В России появилась государственная единая биометрическая система // Правительство России. 31.12.2021. http://government.ru/news/44280/

[11] К широкополосному интернету подключили все социально значимые объекты России // ТАСС, 29.12.2021. https://tass.ru/ekonomika/13324747

[12] Перечень поручений по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» // Президент России. 16.12.2021. http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/67375.

Расширение интеллектуальных технологий мягких архитектур интегрированных биометрических систем

Л. К. Птицына[1], А. О. Жаранова[2], Н. А. Птицын[3]
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
[1] ptitsina_lk@inbox.ru, [2] zharanovaan@gmail.com, [3] nikita_pti@inbox.ru

М. П. Белов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
milesa58@mail.ru

Аннотация. **В статье описаны причины объективной необходимости расширения интеллектуальных технологий интегрированных биометрических систем. Представлены концептуальные преимущества интегрированных биометрических систем с мягкой архитектурой. Предложены интеллектуальные технологические решения для сопровождения интегрированных биометрических систем с мягкой архитектурой. Рассмотрены возможные альтернативы профилирования качества интегрированных биометрических систем с мягкой архитектурой. Определены методологические аспекты генерации знаний о качестве исследуемых систем в парадигме расширенного объектно-ориентированного моделирования. Раскрыты приемы формирования математического обеспечения интегрированных биометрических систем мягкой архитектуры с гарантиями качества.**

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, биометрическая система, мягкая архитектура, качество, преставление знаний, генерация знаний

I. Введение

По мере развития цифровой экономики повышается значимость биометрической идентификации [1, 2]. Признание высокой степени значимости выражается в формировании новых представлений об архитектуре интегрированных биометрических систем идентификации [3]. В современных биометрических системах идентификации реализуются мультимодальные архитектурные решения, связанные с предопределённым сочетанием интеллектуальных технологий и отчуждённым от реального режима времени анализом их качества. Подобные особенности становятся возможными источниками возникновения проблем с безопасностью жизнедеятельности, в том числе и с информационной безопасностью. При цифровой трансформации в условиях развития искусственного интеллекта и целевого его применения на распределённых высокопроизводительных платформах формируются благоприятные условия для расширения интеллектуальных технологий интегрированных биометрических систем, позволяющих устранить выделенные недостатки известных реализаций.

II. Генерация знаний о технологиях мягкой архитектуры интегрированных биометрических систем

Анализ опыта развёртки жизненного цикла интеллектуальных сервис-ориентированных систем позволяет предложить перспективный подход к развитию интегрированных биометрических систем на основе мягкой архитектуры. При этом в качестве опорного принципа мягкой архитектуры интегрированных биометрических систем предусматривается задействовать принцип интеграции с помощью средств, систем и технологий искусственного интеллекта.

В условиях интенсивного проявления изменений в окружающей среде и расширения достижений в области искусственного интеллекта агентные технологии, онтологические технологии и модельно-аналитический интеллект в сочетании обладают высокой степенью гибкости в архитектурных решениях.

С помощью агентных технологий может оцениваться состояние окружающей среды и планироваться возможные профили интеграции интегрированной биометрической системы в привязке к выявленным ситуациям. С использованием онтологических технологий могут формироваться требования, предъявляемые к возможным профилям интеграции интегрированной биометрической системы. С применением модельно-аналитического интеллекта могут оцениваться компоненты профилей качества, соответствующие выявленным ситуациям. Оценивание компонентов профилей качества интегрированной биометрической системой позиционируется как неотъемлемая составляющая процесса управления интеграцией её средств. Сочетание представленных технологий ориентируется на обеспечение необходимых гарантий качества функционирования интегрированных биометрических систем при априорной ситуационной неопределенности знаний об окружающей среде.

Предлагаемое расширение интеллектуальных технологий мягких архитектур интегрированных биометрических систем сопровождается профилированием его качества для управления интеграцией их средств. В качестве интегрированного показателя качества биометрической системы может приниматься объединение двух показателей, отражающих два ключевых свойства – достоверность и оперативность идентификации субъекта.

Степень проявления достоверности идентификации субъекта характеризуется апостериорной вероятностью $P(\mathrm{I}/\mathrm{I})$. Подобная характеристика является вероятностью принадлежности субъекта к идентифицируемой личности при условии, что биометрическая система осуществила идентификацию.

Оперативность идентификации субъекта может представляться M_t математическим ожиданием

времени, затрачиваемого на идентификацию, или R_T риском срыва T установленного регламента времени. При этом риск определяется через вероятность события того, что время идентификации субъекта превысит установленный регламент

$$R_T = P(t > T).$$

При введении показателя R_T в профиль качества биометрической системы идентификации поддерживается единая методологическая канва в жизненном цикле комплексных систем обеспечения информационной безопасности [4].

В представленных приоритетных условиях, касающихся свойств биометрических систем, интегрированный показатель качества может определяться на альтернативной основе (Q_t или Q_T) с помощью следующих соотношений

$$Q_t = P(\mathrm{I}/\mathrm{I})/M_t,$$
$$Q_T = P(\mathrm{I}/\mathrm{I})/P(t > T).$$

Наилучший вариант организации биометрической системы соответствует наибольшему значению интегрированного показателя качества Q_t или Q_T. Развиваемость анализируемой биометрической системы отражается повышением значений интегрированного показателя качества Q_t или Q_T.

Выбор интегрированного показателя из двух возможных альтернатив Q_t или Q_T предопределяется областью применения биометрической системы.

В соответствии с правилом Байеса апостериорная вероятность находится по формуле

$$P(\mathrm{I}/\mathrm{I}) = \frac{P_0(\mathrm{I})P_S(\mathrm{I}/\mathrm{I})}{P_0(\bar{\mathrm{I}})P_S(\mathrm{I}/\bar{\mathrm{I}}) + P_0(\mathrm{I})P_S(\mathrm{I}/\mathrm{I})},$$

где $P_0(\mathrm{I})$ – априорная вероятность принадлежности субъекта к идентифицируемой личности; $P_0(\bar{\mathrm{I}})$ – априорная вероятность того, что субъект не является идентифицируемой личностью; $P_S(\mathrm{I}/\mathrm{I})$ – условная вероятность принятия решения в биометрической системе об идентификации личности, если субъект действительно является этой личностью; $P_S(\mathrm{I}/\bar{\mathrm{I}})$ – условная вероятность принятия решения в биометрической системе об идентификации личности, если субъект не является этой личностью.

Приведённая формализация определения достоверности идентификации касается тех биометрических систем, в которых различаются два класса идентификации.

При различении в биометрической системе K классов идентификации личности $P(\mathrm{I}_k/\mathrm{I}_{C,k})$ вероятность принадлежности субъекта к k-ому классу при формировании решения $\mathrm{I}_{C,k}$ определяется следующим выражением

$$P(\mathrm{I}_k/\mathrm{I}_{C,k}) = \frac{P_0(\mathrm{I}_k)P_S(\mathrm{I}_{C,k}/\mathrm{I}_k)}{\sum_{k=1}^{K} P_0(\mathrm{I}_k)P_S(\mathrm{I}_{C,k}/\mathrm{I}_k)},$$

где $P_0(\mathrm{I}_k)$ – априорная вероятность принадлежности субъекта к k-ому классу идентификации; $P_S(\mathrm{I}_{C,k}/\mathrm{I}_k)$ – условная вероятность принятия решения $\mathrm{I}_{C,k}$ в биометрической системе об идентификации личности, если субъект относится к k-ому классу идентификации.

При идентификации по K классам интегрированный показатель качества функционирования биометрической системы может находиться на альтернативной основе (Q_t или Q_T) с помощью следующих соотношений

$$Q_{t,K} = \sum_{k=1}^{K} P(\mathrm{I}_k/\mathrm{I}_{C,k})/M_{t,k},$$
$$Q_{T,K} = \sum_{k=1}^{K} P(\mathrm{I}_k/\mathrm{I}_{C,k})/P_k(t > T).$$

где $M_{t,k}$ – математическое ожидание времени идентификации субъекта по k-ому классу; $P_k(t > T)$ – риск срыва T установленного регламента времени идентификации субъекта по k-ому классу в биометрической системе.

По-прежнему наилучшее архитектурное решение биометрической системы соответствует наибольшему значению интегрированного показателя качества $Q_{t,K}$ или $Q_{T,K}$ среди сравниваемых вариантов.

Предлагаемые Q_t, Q_T, $Q_{t,K}$, $Q_{T,K}$ интегрированные показатели качества функционирования биометрических систем расширяют профили качества комплексных систем защиты информации с мягкой архитектурой [5]. Операционное поле определения Q_t, Q_T, $Q_{t,K}$, $Q_{T,K}$ интегрированных показателей качества функционирования биометрических систем включается в методологическую канву генерации знаний о мягких архитектурах комплексных систем защиты информации.

Условные вероятности принятия решений в биометрической системе выводятся аналитически посредством выполнения следующих действий:

- построение дерева решений, принимаемых в биометрической системе, для каждого класса идентификации субъекта;
- расстановка вероятностей событий, соответствующих каждой ветви дерева решений;
- определение условной вероятности принятия решения в биометрической системе об идентификации личности для каждого класса идентификации как вероятности конечного множества независимых событий.

Для определения показателей оперативности биометрической системы предлагается задействовать процессный подход. При выбранном походе показатели оперативности определяются посредством расширенного объектно-ориентированного моделирования. В таком случае создаются средства для

сквозного связывания технологических компонентов комплексных систем защиты информации [6].

В отличие от объектно-ориентированного моделирования построение моделей сопровождается представлением знаний о статистических свойствах действий по управлению деятельностью и действий, реализующих методы биометрической идентификации. Ключевые методические приёмы построения расширенных объектно-ориентированных моделей в контексте защиты информации описываются в [7, 8].

На этапе построения расширенных объектно-ориентированных моделей функциональных процессов биометрической системы идентификации в полной мере отражается логика принятия решений и обширное разнообразие возможных вариаций в организации вычислительных процессов. При этом рассматриваются ситуации автономной, сетевой и распределённой реализаций биометрической системы идентификации. Разнообразие в организации вычислительных процессов отслеживается в целях ситуационного профилирования функциональной спецификации комплексной системы защиты информации.

В результате описанного построения образуется система взаимосвязанных расширенных объектно-ориентированных моделей, которые представляют знания о функциональных процессах биометрической системы. Отражаемая взаимосвязанность обуславливает фактическую сквозную сцепку интеллектуальных технологий биометрической системы через модели функциональных процессов. Расширенные объектно-ориентированные модели формируются в классе автоматов и в классе диаграмм деятельности.

Далее представленные в моделях знания обрабатываются с помощью группы методов анализа. В группу включаются методы анализа марковских цепей, полумарковских процессов и модифицированные методы свёртки процессов. Каждое множество из числа перечисленных методов соответствует отдельному уровню анализа. На первом уровне методы анализа марковских цепей, описывающих функциональные процессы биометрической системы, осуществляются с использованием матричных и векторных операций линейной алгебры. На втором уровне методы анализа полумарковских процессов, представляющих функциональные процессы биометрической системы, выполняются с помощью базовых правил преобразований расширенных объектно-ориентированных моделей. На третьем уровне модифицированные методы свёртки применяются в анализе расширенных объектно-ориентированных моделей биометрической системы, относящихся к классу диаграмм деятельности. При этом предоставляется возможность применения формализаций, задействованных в жизненном цикле комплексных систем защиты информации [9].

Методы каждого уровня анализа обеспечивают аналитический вывод зависимостей M_t, $M_{t,k}$, R_T, $P_k(t>T)$, $k=1,2,...,K$ показателей оперативности интегрированной биометрической системы от характеристик и параметров расширенных объектно-ориентированных моделей функциональных процессов интегрированной биометрической системы идентификации. Сквозная связь расширенных объектно-ориентированных моделей функциональных процессов биометрической системы предопределяет сцепку описанных методов по принципу стэка. Результаты анализа предшествующего уровня являются источником знаний для последующего уровня анализа.

Распределённая по уровням анализа группа методов сопровождает генерацию новых знаний. Эти новые знания касаются отражения влияния технологических приёмов интегрированных биометрических систем идентификации на качество их функционирования. В процессе выполняемого анализа формируется модельно-аналитический интеллект биометрической системы, становящийся частью вычислительного интеллекта мониторинга информационной защищенности [10].

При последовательном подключении M средств интегрированной биометрической системы к идентификации субъекта и принятии решения о завершении поставленной задачи в случае подтверждения его принадлежности к k-ому классу хотя бы одним средством $M_{t,k}$ показатель оперативности определяется формулой

$$M_{t,k}=\frac{1+\sum_{j=2}^{M}\prod_{l=1}^{j-1}(1-P_l)}{1-\prod_{l=1}^{M}(1-P_l)}\Delta_{t,k},$$

где M – число средств интегрированной биометрической системы идентификации; P_l, l=1,2,...,M – вероятность идентификации субъекта l-ым средством интегрированной биометрической системы; $\Delta_{t,k}$ – длительность идентификации субъекта в каждом средстве интегрированной биометрической системы.

Приведённая формула для определения $M_{t,k}$ показателя оперативности выведена с применением метода анализа марковской цепи, соответствующей расширенной объектно-ориентированной модели процесса идентификации субъекта.

В том случае, когда каждое средство идентификации имеет индивидуальный статистический временной профиль, $M_{t,k}$ показатель оперативности находится согласно следующему соотношению

$$M_{t,k}=\frac{[\prod_{m=1}^{M-1}(1-P_m)]\sum_{m=1}^{M}\bar{t}_{m,k}}{1-\prod_{l=1}^{M}(1-P_l)}+\frac{\bar{t}_{1,k}[1-\prod_{m=1}^{M-1}(1-P_m)]}{1-\prod_{l=1}^{M}(1-P_l)}+\frac{\sum_{m=2}^{M-1}\{\bar{t}_{m,k}[\prod_{j=1}^{m-1}(1-P_j)[1-\prod_{l=m}^{M-1}(1-P_l)]]\}}{1-\prod_{l=1}^{M}(1-P_l)},$$

где $\bar{t}_{m,k}$, m=1,2,...,M – математическое ожидание длительности идентификации субъекта в m-ом средстве интегрированной системы.

Представленное соотношение получено аналитическим образом посредством анализа полумарковского процесса, соответствующего расширенной объектно-ориентированной модели процесса идентификации субъекта.

Иные логики принятия интегрированного решения об идентификации субъекта, другие способы организации соответствующих вычислительных процессов, вариации в обмене информацией между средствами являются источником последующего расширения системы представления, генерации и приобретения новых знаний о профилях качества функционирования интегрированных биометрических систем.

Получаемые результаты анализа формируемой системы моделей функциональных процессов интегрированной биометрической системы в виде системы аналитических зависимостей показателей её качества от их характеристик и параметров, образуют модельно-аналитический интеллект. Этот интеллект предназначается для опережающего выбора в реальном времени наилучшей организации интегрированной биометрической системы в контексте профилирования её качества.

III. Заключение

Описание организации мягких архитектур интегрированных биометрических систем, выбранные профили качества, приведенные методические приёмы формирования модельного ряда функциональных процессов, выделенное множество взаимосвязанных методов многоуровневого анализа расширенных объектно-ориентированных моделей, аналитические оценки интегрированных показателей качества функционирования образуют базис системы представления, генерации и приобретения знаний об их развиваемости и значимости расширения интеллектуальных технологий для систем искусственного интеллекта.

Список литературы

[1] Дивольд В.Е. Предпосылки создания национальной системы биометрической идентификации личности // Научный вестник Омской академии МВД России. 2021. Т. 27. № 2 (81). С. 139-143.

[2] Ластухина А.О., Колганова Н.В. Внедрение и развитие единой биометрической системы в эпоху Индустрии 4.0 // Национальная безопасность в эпоху Индустрии 4.0. Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-методической конференции с международным участием. Под редакцией И.В. Палаткина, И.С. Санду. 2019. С. 34-38.

[3] Ушмаев О.С. Проблемы распараллеливания биометрических вычислений в крупномасштабных идентификационных системах // Информатика и ее применения. 2009. Т. 3. № 1. С.8-18.

[4] Птицына Л.К., Паскин Д.М. Анализ рисков срыва временного регламента по обнаружению угроз информационной безопасности // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2019). XI Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 23-25 октября 2019 г.: Материалы конференции. / СПОИСУ. СПб, 2019. С. 466–468.

[5] Птицына Л.К., Жаранова А.О., Белов М.П., Птицын А.В. Управление мягкой архитектурой распределенных комплексных систем защиты информации // IV Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2021). Сборник докладов. Санкт-Петербург. 21-23 сентября, 2021. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 138-142.

[6] Птицына Л.К., Жаранова А.О. Эффективная организация комплексных систем защиты информации при распределенной обработке данных // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2021). XII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 23-25 октября 2021 г.: Материалы конференции. / СПОИСУ. СПб, 2021. С. 390-391.

[7] Птицына Л.К., Жаранова А.О. Формирование расширенной объектно-ориентированной модели комплексной системы защиты информации // Региональная информатика (РИ-2020). XVII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2020)». Санкт-Петербург, 28-30 октября 2020 г.: Материалы конференции. Часть 2. / СПОИСУ. СПб, 2020. С. 300-301.

[8] Птицына Л.К., Жаранова А.О. Аналитическое моделирование распределенной комплексной системы защиты информации // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Выпуск 9 / СПОИСУ. СПБ., 2020. С. 284-288.

[9] Птицына Л.К., Жаранова А.О. Исследование качества обнаружения появляющихся угроз комплексными системами защиты информации // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Выпуск 10. / СПОИСУ. СПб., 2021. 406 С. С. 371-375.

[10] Птицына Л.К., Жаранова А.О. Вычислительный интеллект мониторинга информационной защищенности распределенных систем учета // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X-я Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научных статей. СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 235-239.

Применение генетического алгоритма для выбора оптимальной конфигурации САПР технологических процессов производства

М. С. Севастьянов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
msevastyanov@outlook.com

Н. Е. Новакова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
nenovakova@gmail.com

***Аннотация*. В статье рассматривается возможность поиска оптимальной конфигурации САПР технологических процессов производства на основе проведённых имитационных экспериментов. Предлагается адаптация и применение генетического алгоритма для обработки результатов имитационного моделирования.**

Ключевые слова: имитационное моделирование, генетический алгоритм VEGA, поиск оптимальной конфигурации САПР

I. Введение

В области промышленного проектирования сегодня продолжается стремительный процесс автоматизации и оптимизации. Применение автоматизированных систем, позволяющих сократить временные и человеческие ресурсы в области проектирования, является областью с большим потенциалом для внедрения современных новых интеллектуальных средств оптимизации и моделирования. Разновидностью таких систем являются системы автоматизированного проектирования (САПР).

Внедрение САПР относится к трудоёмким задачам, требующих участие высококвалифицированных специалистов. Недостаточно хорошо продуманное решение по выбору компонентов системы, ресурсов и способов их взаимодействия может привести к таким негативным последствиям, как дорогостоящая замена компонентов системы или даже полная её реконфигурация.

Для предотвращения таких ситуаций и учёта возможных рисков требуется применение инструментальных средств, позволяющих осуществить автоматизацию процесса моделирования конфигурации САПР [1]. Конфигурация САПР представляет собой такую логическую организацию системы, которая состоит из описания объекта проектирования, типовых проектных процедур, ресурсов и отношений между ними [2].

Рассмотрим процесс моделирования процесса выбора конфигурации САПР более подробно на примере автоматизации проектирования такой важной области, как технологические процессы производства.

II. Моделирование процесса проектирования

Технологический процесс (ТП) – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда (заготовки) и получению изделия с заданными свойствами [3]. Этапы технологических переходов, используемых в создании каждой детали и отсортированных по номеру операции, составляют технологический маршрут. На основе технологического маршрута формируются результаты проектирования технологического процесса, которые представляются в виде комплекса графических и текстовых документов, которые содержат данные для организации сформированного процесса.

Опишем ряд типовых проектных процедур, характерных для проектирования технологических процессов производства:

- анализ исходных данных;
- анализ типовых ТП;
- формирование дерева ТП;
- формирование технологического маршрута;
- нормирование технологических процессов;
- формирование комплекта технологической документации;
- определение требований техники безопасности;
- расчёт экономической эффективности;
- согласование документации со службами контроля;
- согласование документации с заказчиком.

Необходимыми сущностями для выполнения процедур являются ресурсы. Один ресурс может использоваться для нескольких процедур, так же, как и одна процедура может использовать несколько ресурсов. Ресурсы влияют на время выполнения процедуры.

В качестве ресурсов для указанных процедур могут выступать комплекс систем автоматизации проектирования (технические средства САПР, специализированное программное обеспечение) и проектировщики, конструкторы и технологи.

На рис. 1 представлен один из вариантов конфигурации САПР.

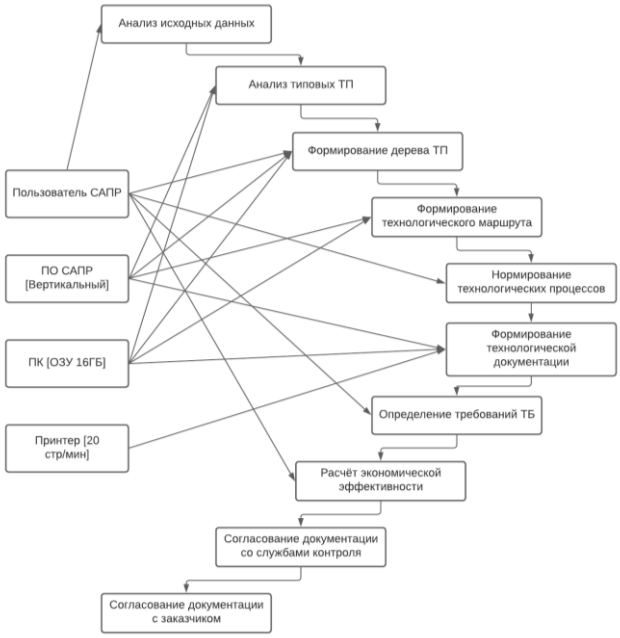


Рис. 1. Пример конфигурации САПР технологических процессов

Благодаря осуществлению имитационного моделирования становится возможным при помощи компьютерных технологий экспериментировать с различными конфигурациями САПР. При этом становится необходимым проведение анализа и сравнения на основе проведённых экспериментов имеющихся конфигураций САПР. Каждый проведённый имитационный эксперимент собирает ряд данных, на основе которых разработчик САПР принимает решение о выборе в пользу той или иной конфигурации. Данные могут включать в себя, например:

- общая длительность проектирования;
- стоимость конфигурации САПР;
- суммарное время ожидания процедурами освобождения ресурсов (нахождения в очереди).

В конечном счёте выбор той или иной конфигурации САПР осуществляет человек, однако инструментальные средства способны решать задачу подбора лучших конфигураций по тем или иным параметрам (например, по суммарной стоимости задействованных ресурсов или по общему времени выполнения всех проектных процедур).

Простой перебор конфигураций на основе проведённых экспериментов наверняка займёт очень много времени, т. к. учесть оптимальный вариант в условиях наличия нескольких важных критериев довольно сложно. По сути эта задача представляет собой задачу многокритериальной оптимизации (МКО). В общем виде постановка этой задачи выглядит следующим образом:

$$\min_{x} \left\{ f_1(x), f_2(x), \ldots, f_k(x) \right\}, \quad x \in X, \tag{1}$$

где X – непустая область определения, $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, $x \in X, f_i : R^n \to R$ – это $k (k \geq 2)$ целевых функций.

При этом в задачах МКО часто возникают конфликты критериев, т. к., например, со снижением общей продолжительности проектирования может вырасти стоимость всех ресурсов и наоборот.

Существует множество различных методов решения задач МКО, среди которых присутствуют методы, основанные на генетических алгоритмах.

III. Использование генетического алгоритма для оптимизации конфигурации САПР ТП

Генетические алгоритмы завоевали большую популярность в области решения задач оптимизации. Причинами этому являются достаточно высокая эффективность и широкие возможности для модификации. В их основе лежит метод эволюции, т. е. отбора из множества решений наиболее подходящего.

Отличие от классических алгоритмов оптимизации генетические алгоритмы работают не с самими значениями параметров задачи, а с их закодированной формой; осуществляют поиск решения не для одной точки области допустимых решений, а для нескольких одновременно. Сами алгоритмы являются стохастическими [4].

Говоря о генетическом алгоритме, следует ввести следующие понятия: код (особь, хромосома) – точка пространства поиска; генотип – это сам код и его структура; фенотип – интерпретация генотипа с точки зрения решаемой задачи; популяция – совокупность точек поиска (набор особей); размер популяции – количество особей в популяции.

Общая схема работы генетического алгоритма представлена на рис. 2 [4].

На первом этапе – инициализации – происходит случайное формирование исходной популяции. На втором этапе происходит отбор родителей для скрещивания на основе одного из алгоритмов отбора. На следующем этапе происходит скрещивание, в результате которого формируются новые, дочерние хромосомы. На 4 этапе происходит мутация, призванная расширить область поиска решения. Мутация подразумевает под собой случайное изменение произвольного гена в хромосоме. Вероятность мутации принимается небольшой. На пятом этапе популяция расширяется: к родителям добавляются получившиеся потомки. На следующем этапе происходит сокращение популяции до изначального размера. Отсекаются наименее пригодные особи. Далее проверяется критерий остановки алгоритма, который может быть основан на искомом значении, числе итераций и т. п.

Генетический алгоритм в его общем, классическом виде непригоден для поиска оптимальной конфигурации САПР, т. к. поиск необходимо осуществлять по нескольким критериям. Для оптимизации по нескольким критериям разработаны различные модификации генетического алгоритма, одним из самых известных среди которых является алгоритм VEGA [5]. Эта модификация подразумевает селекцию особей для каждого критерия оптимальности конфигурации отдельно. Равное количество особей, которые отбираются по каждому критерию, составляют промежуточную популяцию. Алгоритм прост в реализации и наглядно демонстрирует учёт каждого из критериев в поиске.

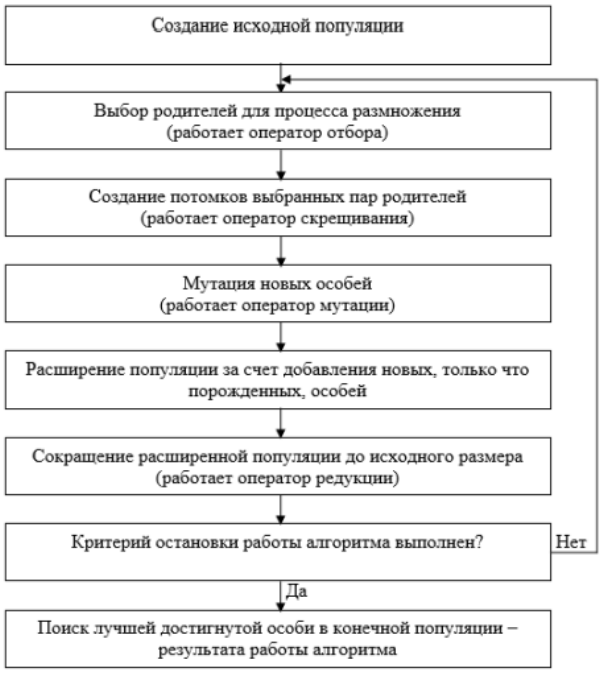


Рис. 2. Схема работы генетического алгоритма

Рассмотрим пример работы алгоритма VEGA при решении задачи поиска оптимальной конфигурации САПР ТП.

Допустим, на основе имитационных экспериментов с разными конфигурациями САПР мы получили данные, приведённые в табл. 1. Цель – при помощи генетического алгоритма выбрать наиболее оптимальную конфигурацию из представленных.

Все конфигурации, с которыми проводится эксперимент, представляют собой структуру с идентичным набором и порядком типовых проектных процедур, но с отличающимся набором необходимых ресурсов. Допустим, есть конфигурация, представленная на рис. 1, состоящая из проектных процедур и 4 ресурсов. Если у этой конфигурации поменять ресурс «принтер» на другой принтер с другими техническими характеристиками и другой стоимостью, то это уже будет другая конфигурация. Для неё будут отличаться данные по общей стоимости конфигурации (из-за другой стоимости одного из ресурсов) и продолжительности выполнения всех процедур (из-за других технических характеристик ресурса).

Прежде чем приступить к первому этапу – инициализации исходной популяции – необходимо определиться, как будет представлен генотип и как будет определяться целевая функция, т. е. высчитываться значение по отдельному критерию по представленному коду хромосомы.

ТАБЛИЦА I ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ ПО КОНФИГУРАЦИЯМ САПР

№ конфигурации	Стоимость ресурсов, тыс. руб.	Общая продолжительность, мин	Время нахождения в очереди, мин
1	120	300	100
2	90	450	50
3	240	250	40
4	150	360	60
5	85	500	90
6	130	280	110
7	140	270	80
8	190	290	50
9	125	440	90
10	100	480	100

Необходимо, чтобы понятие гена играло свою роль, т. е. чтобы при скрещивании двух хромосом рождалась не просто случайная новая хромосома, а особь, перенявшая часть генетической информации своих родителей. Решением может служить составной код каждой особи, в котором каждая равная часть будет означать координату особи в многомерном пространстве. Каждая ось будет отображать множество позиций конфигурации в списке, отсортированном по выбранному критерию. Для наглядности составим 3 списка из упомянутых конфигураций, каждый список будет отсортирован по значению (по оптимальности) по одному из критериев. Списки представлены в табл. 2.

Теперь для каждой конфигурации можно сформировать хромосому, состоящую из её позиций по каждому приоритету. Например, для конфигурации №4 это будет 2-6-3, в двоичном виде: 0010-0110-0011. Для обратного перевода любого двоичного кода из 12 разрядов будем пользоваться следующим правилом: приводим 3 составляющие к десятичному виду и представляем получившиеся числа как координаты в многомерном пространстве, после чего вычисляем, какая из изначальных конфигураций находится в этом многомерном (в данном случае трёхмерном) пространстве ближе всего к получившейся точке.

ТАБЛИЦА II ОТСОРТИРОВАННЫЕ КОНФИГУРАЦИИ САПР

Позиция	Ст-ть ресурсов	Общая прод-ть	Время в очереди
1	5	3	3
2	2	7	2
3	10	6	4
4	1	8	8
5	9	1	7
6	6	4	9
7	7	9	5
8	4	2	1
9	8	10	10
10	3	5	6

Т. к. кол-во конфигураций может быть очень большим, вычисление Евклидова расстояния до каждой из точек может быть очень затратной по времени операцией, поэтому рекомендуется воспользоваться одним из алгоритмов поиска ближайшего соседа в многомерном пространстве (например, KD-деревьями). Т. к. статья посвящена применению генетического алгоритма в контексте решаемой задачи, то подробно останавливаться на поиске ближайших точек не будем.

Определившись с правилом работы с генотипом (сопоставлением имеющихся конфигураций и двоичного-кода), продемонстрируем работу алгоритма.

1 этап. Инициализируем исходную популяцию размером n = 9. Сформируем её случайным образом: 001110100110, 110101101100, 000001101001, 011110010110, 000111101001, 011001100110, 100110011001, 000111101000, 000000001111. Разбиваем исходную популяцию на 3 подпопуляции одинаковой численности особей (по количеству критериев). Значение целевой функции будет высчитываться согласно ранее приведённом алгоритму с поиском ближайшее конфигурации в трёхмерном пространстве. В качестве значения для каждой подпопуляции будет браться значение по каждому соответствующему критерию (т. к. расчёты будут для каждой популяции будут происходит независимо друг от друга, в нормализации значений, т. е. привидении их к единой единице измерения, нет необходимости).

Получившиеся подпопуляции представлены в табл. 3–6.

ТАБЛИЦА III ПОДПОПУЛЯЦИЯ №1 (ПО КРИТЕРИЮ «СТОИМОСТЬ РЕСУРСОВ»)

№ особи	Код (хромосома)	Значение, тыс. руб.
1	001110100110	240
2	110101101100	130
3	000001101001	120

ТАБЛИЦА IV ПОДПОПУЛЯЦИЯ №2 (ПО КРИТЕРИЮ «ОБЩАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ»)

№ особи	Код (хромосома)	Значение, мин
1	011110010110	480
2	000111101001	500
3	011001100110	300

ТАБЛИЦА V ПОДПОПУЛЯЦИЯ №3 (ПО КРИТЕРИЮ «ВРЕМЯ В ОЧЕРЕДИ»)

№ особи	Код (хромосома)	Значение, мин
1	100110011001	100
2	000111101000	90
3	000000001111	110

Этап 2. Селекция. Для каждой подпопуляции проведём отбор 2 родителей для создания потомства. Будем придерживаться правила, что для размножения будут выбираться наиболее «эффективные» особи в каждой подпопуляции, т.е. с наименьшим значением по соответствующему критерию. Таким образом, для создания потомства были выбраны для подпопуляции 1 особи 2 и 3, для подпопуляции 2 – особи 1 и 3, для подпопуляции 3 – 1 и 2.

Этап 3. Скрещивание. Воспользуемся алгоритмом перекрёстного скрещивания. Выбирается произвольная точка, которая делит каждую из родительских хромосом на две части, после чего хромосомы обмениваются частями, лежащими после точки разбиения. В табл. 6 представлены результаты скрещивания для 3 пар. Значение для каждого потомка представлено в единице измерения, соответствующей его подпопулции.

ТАБЛИЦА VI РЕЗУЛЬТАТЫ СКРЕЩИВАНИЯ

№ подпопуляции	Родители	Потомки	Значение потомка
1	110101101100	110101101001	190 тыс. руб.
1	000001101001	000001101100	100 тыс. руб.
2	011110010110	011111100110	480 мин
2	011001100110	011000010110	270 мин
3	100110011001	100110101000	90 мин
3	000111101000	000111011001	90 мин

Этап 4. Мутация. Предположим, что у 2 потомков из подпопуляций 2 и 3 произошла мутация и изменился один ген. Тогда потомки будут выглядеть, как в табл. 7.

Этап 5. Каждая подпопуляция расширяется за счёт добавления новых потомков. Таким образом, размер каждой подпопуляции становится равным 5.

ТАБЛИЦА VII ПОТОМКИ ПОСЛЕ МУТАЦИИ

№ подпопуляции	Потомки	Значение потомка
1	110101101001	190 тыс. руб.
1	000001101100	100 тыс. руб.
2	011111100010	450 мин
2	011000010110	270 мин
3	100110101010	100 мин
3	000111011001	90 мин

Этап 5. Каждая подпопуляция расширяется за счёт добавления новых потомков. Таким образом, размер каждой подпопуляции становится равным 5.

Этап 6. Каждая подпопуляция сокращается до изначального размера за счёт исключения из неё самых «слабых» особей. Новый состав каждой подпопуляции представлен в табл. 8–10.

ТАБЛИЦА VIII ПОДПОПУЛЯЦИЯ №1 (ПО КРИТЕРИЮ «СТОИМОСТЬ РЕСУРСОВ»)

№ особи	Код (хромосома)	Значение, тыс. руб.
1	000001101100	100
2	110101101100	130
3	000001101001	120

ТАБЛИЦА IX ПОДПОПУЛЯЦИЯ №2 (ПО КРИТЕРИЮ «ОБЩАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ»)

№ особи	Код (хромосома)	Значение, мин
1	011111100010	450
2	011000010110	270
3	011001100110	300

ТАБЛИЦА X ПОДПОПУЛЯЦИЯ №3 (ПО КРИТЕРИЮ «ВРЕМЯ В ОЧЕРЕДИ»)

№ особи	Код (хромосома)	Значение, мин
1	100110011001	100
2	000111101000	90
3	000111011001	90

Как видим, в первой подпопуляции среднее значение стоимости снизилось с 163 тыс. руб. до 116 тыс. руб. Во второй подпопуляции средняя общая продолжительность уменьшилась с 427 мин до 340 мин. В третьей подпопуляции средняя общая задержка уменьшилась со 100 мин до 93 мин. Размер общей популяции остался прежним – 9.

Этап 7. Проверка критерия остановки алгоритма. Примем в качестве критерия остановки в данном случае кол-во итераций, равное 5, т. е. после первой итерации возвращаемся на этап 1.

Этап 8. Поиск лучшей особи в конечной популяции. На этом этапе найдём лучшую особь из 9 популяций, теперь поиск «лучшей» будем осуществляться сразу по всем критериям. Т.к. значения координат каждой конфигурации по каждой из осей зависят от позиции в отсортированном списке изначальных конфигураций, логично предположить, что чем ближе точка к точке (0;0;0), тем она «лучше» по тому или иному критерию. В данном случае из оставшихся 9 особей определим ближайшую из соответствующих точек к началу координат, после чего определим ближайшую к выбранной точке конфигурацию. Эта конфигурация и будет искомой.

IV. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Ранее была разработана система, позволяющая осуществлять имитационное моделирование процессов работы с САПР. Использовались типовые проектные процедуры, характерные для САПР технологических процессов производства и описанные ранее.

Были проведены имитационные эксперименты для 30 различных конфигураций. В качестве критериев решено рассматривать следующие критерии:

- общая длительность проектирования;
- стоимость конфигурации САПР;

- длительность непредвиденных задержек (неполадки в оборудовании, «зависания» и т. п.).

В табл. 11 приведены средние данные по каждому из критериев для 30 конфигураций. Для каждой конфигураций было проведено 10 имитационных экспериментов.

Описанный ранее алгоритм был запущен на представленных данных. Было произведено по 3 запуска на каждое количество итераций: 3, 7 и 10. Результаты работы алгоритма приведены в табл. 12.

ТАБЛИЦА XI КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА

№ конфигурации	Стоимость ресурсов, тыс. руб.	Общая продолжительность, мин	Продолжительность непредвиденных задержек, мин
1	142	367	59
2	109	415	98
3	250	289	78
4	272	304	128
5	185	502	35
6	177	229	28
7	140	126	68
8	191	187	75
9	134	202	65
10	87	407	64
11	124	178	78
12	119	240	75
13	78	276	149
14	153	189	67
15	88	145	50
16	246	138	36
17	141	168	58
18	195	208	102
19	134	355	130
20	294	107	29
21	306	98	48
22	120	190	66
23	158	278	105
24	278	130	70
25	360	80	48
26	87	458	85
27	105	167	52
28	190	202	88
29	129	182	40
30	107	189	65

ТАБЛИЦА XII РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Кол-во итераций	№ запуска	3 лучшие конфигурации
3	1	11, 9, 22
3	2	7, 9, 14
3	3	17, 9, 22
7	1	11, 7, 14
7	2	11, 7, 22
7	3	9, 7, 14
10	1	27, 7, 30
10	2	27, 7, 14
10	3	27, 14, 9

Для конфигураций, участвующих в проведении имитационного моделирования, ресурсы в базу были добавлены таким образом, чтобы их «эффективность» напрямую зависела от их стоимости. Таким образом, получилось так, что чем «дороже» конфигурация, тем лучшие показатели у неё по общему продолжительности выполнения процедур и продолжительности непредвиденных задержек.

Исходя из представленных результатов, можно сделать вывод, что в целом алгоритм находит наиболее «усреднённые» по 3 критериям конфигурации. Например, у лучших конфигураций, полученных при помощи алгоритма на 10 итерациях, стоимость ресурсов равна 105, 153 и 134 тыс. руб., что не является самой низкой стоимостью среди представленных конфигураций, но точно намного ниже самых «дорогих» конфигураций. Точно также Средняя общая продолжительность у указанных конфигураций равна 167, 189 и 202 мин, что не является самыми низкими значениями по этому критерию, но куда ниже «худших» по этому показателю конфигураций.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный алгоритм корректно отрабатывает на поданных на вход данных и предлагает в целом оптимальные результаты по нескольким критериям.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был предложен подход к осуществлению выбора оптимальной организации САПР из тех конфигураций, которые получаются в результате осуществления ряда имитационных экспериментов. Предложено использование модификации генетического алгоритма VEGA для решения многокритериальной задачи поиска оптимальной конфигурации на основе множества критериев (стоимость ресурсов, продолжительность процесса и т. п.).

Продемонстрирована работа алгоритма на тестовой выборке из 30 конфигураций, найденные при помощи алгоритма конфигурации объективно являются наиболее «сбалансированным» по 3 критериям, что позволяет делать вывод о соответствии работы алгоритма ожидаемым результатам.

В перспективе возможно дальнейшее улучшение алгоритма, в частности, комбинирование использования генетического алгоритма с другими алгоритмами искусственного интеллекта, например, с нечёткой логикой или нейронными сетями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Горячев А.В., Новакова Н.Е. Моделирование процессов в САПР на основе модифицированных сетей Петри. // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям 2019, СПб. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С. 102-105.

[2] Горячев А.В., Новакова Н.Е. Модели и методы принятия проектных решений в распределенных САПР. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. 198 с.

[3] Кондаков А.И. САПР технологических процессов [Книга]. М.: Изд-во "Академия", 2007. стр. 272.

[4] Прохорова, Аверьянова. Применение генетических алгоритмов при решении многокритериальных задач // Наука ЮУрГУ: материалы 72-й научной конференции. Секции экономики, управления и права 2020. Том 1 № 1. С.112-120.

[5] Тарутин А.В., Набатов А.В. Применение методов генетических алгоритмов для построения множества Парето в задачах многокритериальной оптимизации // Инженерный вестник Дона. – [Электронный сборник]. 2015. № 4.

Исследование нейросетевых алгоритмов поиска ключевых слов для оптимизации работы СППР для службы технической поддержки

В. Н. Терещенко
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
vntereschenko@stud.etu.ru

А. С. Лопатина
Диджитал Девелопмент ЛАБС
aslopatina@stud.eltech.ru

***Аннотация*. В статье представлены характеристики рассматриваемой системы поддержки принятия решений (далее – СППР), цели и задачи СППР, которым должны соответствовать результаты исследования. Проведен общий обзор алгоритмов извлечения ключевых слов (далее – КС) и алгоритмов машинного обучения (далее – МО), предложены варианты наиболее подходящих алгоритмов для рассматриваемой СППР, реализующие выделение главных смысловых акцентов текстовых запросов, поступающих в службу технической поддержки, для их последующей классификации.**

Ключевые слова: NLP; алгоритм машинного обучения; алгоритм извлечения ключевых слов; классификация

I. Введение

В данной работе будет рассмотрен разработанный проект СППР для службы технической поддержки (далее – ТП) для компании ООО «Газпром переработка» (далее – ГПП).

В компании организована работа службы ТП с помощью двух линий: 1-ая занимается анализом всех поступающих обращений, категоризацией и перенаправлением на специалистов 2-ой линии поддержки. За последние 3 года в среднем поступает 30 000 заявок в год, при этом сотрудников 1-ой линии обычно не более 4 человек. В связи с чем возникают следующие проблемы:

- повышенная загруженность сотрудников 1-ой линии;
- медленная обработка запросов;
- ошибки маршрутизации;
- неправильное категорирование.

В связи с этим возникла потребность в автоматизации процесса обработки обращений 1-ой линией.

Таким образом, система поддержки принятия решений нужна для автоматизации процесса категоризации и маршрутизации запросов, поступающих в службу ТП ГПП, для повышения эффективности ее работы.

Для оптимизации работы СППР, а именно для повышения точности категорирования запросов, одним из возможных решений был выбран поиск алгоритма выделения КС для работы с запросами, поступающих в СППР. Предполагается, что найденный алгоритм поможет улучшить качество СППР и, как следствие, качество работы ТП.

Задачей данной исследовательской работы является поиск наиболее подходящего алгоритма для встраивания в СППР, подходящего под её характеристики и под цели и задачи проекта в целом.

II. Обзор СППР

2.1. Характеристика СППР

Для того, чтобы приступить к поиску алгоритма, необходимо сначала ознакомиться с характеристикой СППР для службы ТП.

Проект СППР для службы ТП представляет собой программу, работающую «между» пользователем ИТ-услуг ГПП и сотрудниками 1-ой линии поддержки, осуществляющую автоматизированную категоризацию поступившего запроса по отделам, которые имеют компетенцию для решения вопроса, изложенного в обращении.

Таким образом, целевой аудиторией являются пользователи ИТ-услуг ГПП и специалисты, задействованные в работе внутренней службы поддержки. Пользователи создают ИТ-запросы, которые необходимо выполнить в кратчайшие сроки. Специалисты ТП – обрабатывают данные запросы.

Далее необходимо рассмотреть ожидания целевой аудитории и выяснить основные задачи СППР.

Пользователи ИТ-услуг ГПП ждут от специалистов ТП быстрой и корректной обработки запросов.

Сотрудники 1-ой линии ТП хотят получать меньше простых заявок (с задачей категоризации и перенаправления запросов) и заниматься более высокоуровневыми задачами (например, консультированием пользователей или исполнением заявок), тем самым повысить эффективность своей работы. Также автоматизация задач категоризации и маршрутизации сводит к минимуму вероятность появления ошибок при условии работы с качественной СППР.

Сотрудники 2-ой линии ТП хотят улучшить эффективность своей работы за счет получения верно направленных задач, а не задач других отделов. Таким образом им бы не пришлось тратить время на перенаправление запросов.

2.2. Формирование требований к алгоритмам

Исходя из ожиданий целевой аудитории, видно, что основными задачами проекта является быстрота и корректность обработки обращений, а точнее их

категоризация. Зная это, можно сформулировать несколько основных требований для искомого алгоритма:

1) это алгоритм бинарной (двоичной) классификации, так как в нашей задаче предполагается только две возможные метки – слово является ключевым (нормальное состояние) или не является (ненормальное состояние);

2) это алгоритм, работающий с русским языком;

3) это алгоритм, работающий с небольшим количеством слов в тексте. Так как программа работает с обращениями пользователей, то искомый алгоритм должен уметь работать с данными, состоящими как из нескольких предложений, так и из двух-трех слов.

III. Общий обзор алгоритмов выделения ключевых слов

Алгоритмы выделения КС относятся к алгоритмам обработки естественного языка (NLP, Natural language processing). NLP представляет собой область науки, сочетающей в себе математическую лингвистику и МО. Исходным множеством объектов в NLP является текст или речь на естественном языке [1].

Алгоритмы NLP содержат два основных этапа. Предобработка является первым этапом. Она включает в себя такие операции, как перевод всех символов к одному регистру, удаление знаков пунктуации, цифр, пробелов, токенизация, удаление стоп-слов (слов без особой смысловой нагрузки, например, предлоги, местоимения, союзы и другое), стемминг (приведение слова к основной форме), лемматизация (приведение слова к начальной форме), векторизация (отображение текста в векторном пространстве). Далее следует сам процесс извлечения КС.

Существуют четыре основных подхода извлечения КС: статистический, лингвистический, графовый и подход, основанный на МО. Есть также гибридные подходы, сочетающие в себе два или более вышеупомянутых подхода.

Ниже приводится краткое описание основных подходов [2–4]:

1) статистический подход не требует обучающих данных, все расчеты производятся с опорой на статистику. Из-за этого он не всегда дает точные результаты. Преимуществами: универсальность алгоритмов извлечения КС относительно языка и отсутствие необходимости в трудоемких процедурах создания лингвистических баз знаний;

2) лингвистический подход использует лингвистическую (морфологическую, синтаксическую, семантическую) информацию о текстах и содержащихся в них словах. Для выбора КС может быть использована информация о грамматической роли в предложении или о части речи, к которой относится слово. Иногда морфологическая или синтаксическая информация может существенно увеличить точность результата, однако использование данного подхода также увеличивает и время на реализацию алгоритма;

3) графовый подход заключается в представлении текстов в виде различных графов. Это может быть ориентированный или неориентированный взвешенный граф, вершины которого изображают слова-кандидаты в термины, а ребра взвешены в соответствии со степенью близости вершин и показывают отношения между ними. Далее граф обрабатывается алгоритмами из теории графов;

4) системы, основанные на **МО,** являются самыми популярными на сегодняшний день (среди перечисленных подходов) и используются для многих задач, включая анализ и извлечение КС. Суть таких систем заключается в построении алгоритмов, имеющих способность учиться на примерах и делать прогнозы. Минусами данного подхода являются необходимость в наличии обучающих корпусов и зависимость от их тематики, из-за чего при смене темы рассматриваемого текста приходится менять (дополнять) обучающий корпус и заново обучать систему. В контексте систем МО задачи выделения КС относят к задачам классификации.

IV. Обзор алгоритмов машинного обучения

Как сказано выше, рассматриваемая задача относится к задаче классификации. Ниже приведено описание основных видов классифицирующих алгоритмов [5–7]:

1) k-ближайших соседей (K-Nearest Neighbors): алгоритм, в котором ведется поиск кратчайшей дистанции между тренировочным объектом и ближайшими к нему классифицированными объектами из обучающего набора. Применяется для поиска закономерностей, классификации объектов по нескольким параметрам. Плюсы: логичность, простота, надежность, высокая скорость работы. Минусы: плохо отличает слишком похожие объекты;

2) классификатор дерева решений (Decision Tree Classifier): данный классификатор разбивает данные на всё меньшие и меньшие подмножества на основе разных критериев, то есть у каждого подмножества есть своя сортирующая категория. Подходит для классификации и предсказания состояний, на основе имеющихся данных. Плюсы: надежность, простота применения, интуитивность. Минусы: ограниченная сфера применения (не все модели можно описывать деревьями);

3) наивный байесовский метод (Naive Bayes): с помощью теоремы условной вероятности вычисляется шанс, с которым объект попадёт в определённую категорию. Применять в задачах классификации (классическая задача – определить, относится ли письмо к спаму или нет). Плюсы: простота реализации. Минусы: вероятностный подход с трудом справляется с классификацией сложных объектов;

4) метод опорных векторов (Support Vector Machines): здесь данные классифицируются согласно их степени полярности, которая может выходить за пределы X/Y прогнозирования. Применяется для классификации объектов. Плюсы: простота реализации, работа с многомерными данными. Минусы: как и алгоритм K-средних, легко может спутать объекты, которые похожи на объекты другого класса;

5) логистическая регрессия (Logistic Regression): метод выводит прогнозы о точках в бинарном масштабе, нулевом или единичном, используется округление. Применяется для несложной классификации малого числа объектов на малое число классов. Плюсы: скорость и наглядность. Минусы: может классифицировать только относительно простые объекты. Не подходит для

разделения объектов на несколько классов, ответ этого алгоритма — по сути, двоичный сигнал типа «да – нет»;

6) линейный дискриминантный анализ (Linear Discriminant Analysis): данный метод работает путем уменьшения размерности набора данных, проецируя все точки данных на линию, затем комбинируя эти точки в классы, базируясь на их расстоянии от центральной точки. Применяется в маркетинговых исследованиях, управлении производством товара, позиционировании. Дискриминантный анализ очень похож на логистическую регрессию, но логистическая регрессия не имеет столько допущений, как дискриминантный анализ. Если допущения дискриминантного анализа выполняются, он является более мощным средством по сравнению с логистической регрессией;

7) искусственные нейронные сети: представляет собой набор связанных входных / выходных блоков, где каждое соединение имеет вес, связанный с ним. На этапе обучения сеть обучается путем корректировки весов, чтобы можно было предсказать правильную метку класса входных данных. Применяется практически везде (любой класс задач). Плюсы: универсальность, работа со сложным данными (объектами с кучей параметров, звуком, фото, видео). Минусы: часто требует высокой вычислительной мощности.

4.1. NLP в машинном обучении

Подводя итог вышесказанного, необходимо вспомнить, что алгоритмы выделения КС являются одной из задач NLP. И одним из подходов к реализации таких алгоритмов является подход, основанный на МО. А задача выделения КС в МО в свою очередь сводится к задаче классификации.

В алгоритме МО извлечение признаков является первым этапом предварительной обработки, который используется для представления текстовых документов в формате слов, словосочетаний, предложений – минимальных единиц (токенов).

Для алгоритма выделения КС часто используемым признаком является вес токена – его значимость в тексте. Часто за это значение принимают частоту встречаемости слова в тексте. Распределение частот слов является фундаментальным фенотипом каждого языка.

Далее, для выполнения самой задачи вступает в работу основная часть алгоритма.

V. Сравнение и выбор алгоритма

После изучения информации о методах и подходах для решения задачи выделения КС, необходимо провести отбор наиболее подходящих для проекта алгоритмов. Для этого, учитывая требования из п.2.2., необходимо проанализировать алгоритмы, перечисленные в п.3.1., кроме линейного дискриминантного анализа, так как он не используются для решения задач двоичной классификации.

В качестве подходящих были выбраны методы логистической регрессии и опорных векторов. Данные методы были специально разработаны для двоичной классификации и изначально не поддерживают более двух классов. Это означает, что они заточены под рассматриваемую задачу и не перегружены лишними элементами/действиями.

Наивный байесовский метод может также претендовать на звание подходящего алгоритма для рассматриваемой задачи, так как по описанию (область применения, характер данных) подходит так же, как и методы логистической регрессии и опорных векторов, и классическая задача данного метода очень сходна с задачей поиска КС.

Все три этих метода могут работать с русскоязычными текстами, так как не имеют лингвистической составляющей.

Что касается количества слов в обрабатываемом тексте, короткие тексты, такие как обращения, запросы, комментарии, имеют малое количество слов. Для таких исходных данных результат работы, например, метода логистической регрессии и метода с использованием искусственной нейронной сети будет приблизительно одним, из-за небольшого количества токенов. Однако методы с использованием искусственной нейронной сети были созданы для большого количества данных. Также они применяются для решения сложных задач и, как следствие, имеют более сложную структуру и требуют больше времени на реализацию и затрачиваемых ресурсов, чем метод логистической регрессии. С применением нейронной сети для задачи выделения КС в рассматриваемой СППР может возникнуть больше проблем, чем с другими, более простыми, методами, поэтому применение нейронного метода в рассматриваемом случае признано нецелесообразным.

Таким образом, наиболее подходящими для оптимизации работы СППР являются алгоритмы, основанные на методах логистической регрессии, опорных векторов и наивном байесовском методе.

В случае, если применение выбранных алгоритмов приведет к увеличению времени работы программы, но не приведет к существенному увеличению точности выделения КС, планируется вернуть использование обычного статистического алгоритма (TF-IDF), либо продолжить поиск оптимального среди алгоритмов без использования МО.

VI. Заключение

В ходе написания статьи была приведена характеристика СППР, исходя из целей и задач проекта, сформулированы требования, которым должен удовлетворять результат исследования, изучены различные методы и подходов к задаче выделения КС, проведен обзор методов МО касательно рассматриваемого вопроса. Алгоритмы были проанализированы с учетом удовлетворения поставленным требованиям, из них выбраны наиболее подходящие для внедрения в проект для его оптимизации. Искомыми стали методы логистической регрессии, опорных векторов и наивный байесовский метод.

Следующее исследование планируется делать на тему подбора алгоритма для итоговой классификации (распределение обращений по отделам).

Список литературы

[1] Manning C.D., Manning C.D., Schütze H. Foundations of statistical natural language processing. MIT press, 1999. 680p.

[2] Ванюшкин А.С., Гращенко Л.А. Методы и алгоритмы извлечения ключевых слов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2016. (№) 19. С. 85-93. [Электронный ресурс]. URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-algoritmy-izvlecheniya-klyuchevyh-slov/viewer (дата обращения: 10.02.2022).

[3] Лекция. Задачи Data Mining. Классификация и кластеризация // НОУ ИНТУИТ. [Электронный ресурс] URL: https://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/166 (дата обращения: 10.02.2022).

[4] Keyword Extraction: A Guide to Finding Keywords in Text // MonkeyLearn. [Электронный ресурс] URL: https://monkeylearn.com/keyword-extraction/ (дата обращения: 10.02.2022).

[5] 5 Types of Machine Learning Algorithms You Need to Know / S. A. Metwalli // Towards Data Science. [Электронный ресурс] URL: https://towardsdatascience.com/5-types-of-machine-learning-algorithms-you-need-to-know-5ac7fce8920d (дата обращения: 10.02.2022).

[6] Классификаторы машинного обучения // Машинное обучение. [Электронный ресурс] URL: https://www.machinelearningmastery.ru/machine-learning-classifiers-a5cc4e1b0623/ (дата обращения: 10.02.2022).

[7] 10 наиболее распространенных алгоритмов машинного обучения // Mail.ru Cloud Solutions. [Электронный ресурс] URL: https://mcs.mail.ru/blog/samye-populyarnye-algoritmy-mashinnogo-obucheniya (дата обращения: 10.02.2022).

Интеллектуальные технологии формирования проективного мышления и управления научными исследованиями в системе представления знаний

В. А. Харитонов[1], Д. Н. Кривогина[2], А. С. Саламатина[3], Э. Д. Гусельникова[4], В. С. Спирина[5]

Пермский научный исследовательский политехнический университет

[1] cems@pstu.ru, [2] darya.krivogina@gmail.com, [3]salamatina@cems.pstu.ru, [4]edguselnikova@gmail.com, [5]spirina@cems.pstu.ru

В. Д. Марквирер

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Филиал Пермь

vdmarkvirer@hse.ru

Аннотация. **Для повышения эффективности институтов высшей квалификации предлагается устранить в образовательном процессе существующие проблемы методологического характера за счет развития интеллектуальных технологий и ввода систем представления знаний. Данные технологии позволят соискателям оперативно ознакомиться с известными научными результатами и послужат выбором отправной точки нового исследования. Обоснована востребованность соискательской практики в решении задачи обновления методологии проективного мышления и управления процессом научных исследований. В основе обновления лежит разработка интеллектуальных технологий системы представления знаний в виде реляционной базы знаний. В исследовании обращается внимание на существующие параллели между понятиями технических и гуманитарных наук в рамках их конвергенции. Используются концепты бытия (экономического блага и экономической полезности) и концепты сознания (гуманитарные экономические блага и гуманитарные экономические полезности), формирующие проективное мышление. Они образуют прямые и обратные соответствия технологии и гуманитарной практики в техно-гуманитарном математическом пространстве. В данном пространстве предлагается размещать обработанную информацию из авторефератов, представленную на языке контекстно-свободной формальной грамматики. Принцип манипулирования данными на основе формальных языков с контекстно-свободной грамматикой позволяет создавать новые структуры предметных областей с учетом предпочтений соискателей.**

Полагается, что успешность соискательской деятельности напрямую зависит от когнитивной подготовки соискателей, которая нуждается в психологической практике. Данная практика базируется на углублении качеств объективности и адекватности получения информации на основе эвристических методов, требует повышенного внимания и развития интеллекта. Принимается во внимание, что использование соискателями эвристических методов для поиска новых направлений научных исследований приводит к нескольким перспективным результатам. Данные результаты могут восприниматься как потенциально возможные варианты новых будущих исследований. Что способствует повышению уровня остепенённости специалистов высшей квалификации.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии; проективное мышление и управление; системы представления знаний; конвергенция; модели предметных областей; система управления базой данных; модель данных; эвристические методы

I. Введение

Конкурировать в ближайшем будущем, с результатами стремительно развивающейся отрасли робототехники в части трудоустройства Человек сможет, только предъявляя новые результаты научных исследований. Поэтому, естественно предположить, что интерес к соискательству ученых степеней будет возрастать с каждым годом. Следовательно, институты соискательства должны стать более эффективными, преодолевая определенные трудности методологического характера на основе внедрения интеллектуальных технологий [1]. В современной организации соискательства можно отметить следующие нерешенные проблемы [2]:

- отсутствие новых систем представления знаний, ориентированных на специфику научной деятельности соискателей, более эффективных, чем универсальные классификаторы типа УДК, ББК и др.;
- сложности с целеполаганием [3] научных исследований из-за разобщенности технических и гуманитарных дисциплин в прикладных вопросах;
- отсутствие систематического анализа способов и результатов использования междисциплинарных подходов, в том числе новых возможностей, связанных с проективным мышлением и управлением соискательской деятельностью [4];
- отсутствие мотивации соискателей к получению нескольких достаточно перспективных научных результатов. Речь идет о мультипликативном эффекте, подразумевающим получение нескольких результатов, перспективных для дальнейшего исследования другими специалистами [5].

Первичной и важнейшей задачей соискателя является установление соответствия между множествами благ (объектов исследования) и множеством полезностей (предметов исследования), обладающих свойством удовлетворять потребности человека и соотносящихся с определенными техническими и естественнонаучными дисциплинами [6]. Явление междисциплинарности путем дивергенции знаний предметных областей приводит к результатам, находящимся на стыке нескольких дисциплин [7]. При этом возникает проблема изучения и моделирования прямых и обратных проекций этих дисциплин в математическом пространстве, например, в форме операций над множествами. С этой целью необходимо разработать системы обозначения концептов дисциплин, взаимно-однозначных с их семантиками в специально вводимом математическом пространстве.

Центральным мировоззренческим вопросом настоящих исследований является установление дуализма между техническими и гуманитарными дисциплинами (материальными и духовными объектами познания). Это необходимо для организации научных исследований при примате духовного, мыслительного, ведущего к изучению и использованию обоснованного целеполагания и соответствующей мотивации, которая становится «материальной силой» (В. Вернадский). Напрашиваются всегда существующие параллели между понятиями технических и гуманитарных наук в рамках их конвергенций. Бытие – это экономические блага и предметные полезности, и сознание – это гуманитарные экономические блага и гуманитарные абстрактные ценности, формирующие проективное мышление [8], обеспечивающее соответствие проекции экономических полезностей и гуманитарных ценностей. Оно формирует прямые и обратные соответствия техники и гуманитарной практики теперь уже в техно-гуманитарном математическом пространстве [9].

Таким образом, востребована существенно обновленная методология формирования проективного мышления и управления процессом научных исследований [10] на основе интеллектуальных технологий системы представления знаний в математическом пространстве, включая системы управления базой знаний.

II. Организация системы представления знаний

Данную задачу предлагается решать на основе следующих принципов.

1. В качестве математического техно-гуманитарного пространства принимается логически мыслимая структура, являющаяся средой размещения других структур или данных о защищенных диссертациях, например, авторефератах. Это необходимо для ознакомления соискателей с известными научными результатами и выбора отправной точки для нового исследования [11].

2. Для формирования новой предметной области на логическом уровне создаются языки манипулирования данными с контекстно-свободными грамматиками. Это необходимо для ввода и обновления информации в техно-гуманитарном пространстве в соответствии с замыслом соискателя. Для упрощения задачи формализации данных предметных областей производится перечисление их квалификационных признаков с возможными вариантами дополнения информации, вплоть до символов в структурах моделях предметных областей.

3. Формализация [12] позволяет проводить алгебраические операции: объединение, пересечение, дополнение над подмножествами символов, представляющих структурные элементы предметных областей, и оценивать их результаты после перевода переменных в семантическую форму.

4. Используются формальные языки описания [13] и манипулирования с контекстно-свободной грамматикой типа 2 [14]. Это связано с тем, что правила вывода наряду с множеством символов предметных областей как алфавитом терминальных символов характеризуются металингвистическими переменными и связками для описания их расширений [15].

Структуры предметных областей строятся по стандартной схеме, выбранной с учетом предпочтений соискателей. Это создает удобства для манипулирования предметными областями в устанавливаемой соискателем последовательности.

Рассмотрим примерный состав этих структур, представленных векторами, где каждая компонента представляет собой множество сущностей, состоящих из атрибутов (концептов), формирующих запрос на подмножество доступа и его содержание. Для технических наук (дата защиты, шифр специальности, объект исследования (блага), предмет исследования (полезность), актуальность, цель исследования, научные задачи, новизна, практическая значимость). Для гуманитарных наук (дата защиты, шифр специальности, объект исследования (обобщенные ценности), предмет исследования (предметные гуманитарные полезности), актуальность, цель исследования, научные задачи, новизна, практическая значимость). В первую очередь формируются концепты технических наук, затем добавляются концепты гуманитарных [16].

Перед выполнением алгебраических операций синтаксические формы концептов переводятся на математический язык в виде специальных обозначений, а после преобразуются вновь в семантическую форму. Это необходимо для обнаружения новых концептов, появившихся ввиду изменения их структуры синтаксического происхождения [17]. Успешность этой процедуры зависит от когнитивной подготовки соискателей. На уровень данной подготовки влияют психологические практики, которые могут включать тренировки по улучшению навыков описания и представления информации [18, 19]. Также необходимо улучшать уровень концентрации внимания, как первую стадию когнитивной осведомленности и повышать интеллект. Эти рекомендации полезны и на завершающей стадии управления научными исследованиями соискателей в системе представления знаний.

III. Заключение

Исследование технологий формирования проективного мышления и управления научными исследованиями соискателей в условиях недостаточной информации нередко проводится с использованием эвристических методов. Спрос на более полную информацию безусловно есть, но путь к ее получению объективно затруднен недоступностью будущих знаний, скрытых за завесой времени. Приподнять этот занавес в известной мере удалось лауреату Нобелевской премии

Герберту А. Саймону. Существо решения этой проблемы кроется в вынужденном «отказе» исследователей от анализа «будущего» в пользу предпосылок решения, моделирования ожиданий будущего на основе генерации дополнительного множества альтернативных решений, иногда мало изученного происхождения. В конце концов, как правило, находится удовлетворительное решение и несколько решений похуже, но вполне допустимых, дающих шанс на мультипликативный эффект через дополнительные исследования их надежности. Необходимость проверки связана с тем, что люди полагаются на ограниченное число эвристических принципов, которое сводит сложные задачи оценки вероятностей и прогнозирования значений величин до более простых операций суждения.

Список литературы

[1] Ерошин С.Е., Козлов Г.В. Анализ системы управления научными исследованиями // Инновации. 2020. №. 6. С. 42-45.

[2] Новиков Д.А., Суханов А.Л. Модели и механизмы управления научными проектами в ВУЗах. Москва: Институт управления образованием РАО, 2005. 80 с.

[3] Егорова Ю.А. Феномен целеполагания как предмет педагогического исследования // Образование. Наука. Инновации: Южное измерение. 2013. №. 5.С. 39-45.

[4] Горшкова О. В. Проективные методы в управлении персоналом (российский опыт). // Экономика и управление. 2016. № 1.С. 58-63.

[5] Баженова И.В., Пак Н.И. Проективно-рекурсивная технология обучения в личностно-ориентированном образовании // Педагогическое образование в России. 2016. № 7.С. 7-13.

[6] Харитонов В.А., Кривогина Д.Н., Спирина В.С., Саламатина А.С. Техно-гуманитарный взгляд на проблемы проективного управления в социально-экономических системах // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 1.С. 140-158.

[7] Epstein M. PreDictionary: experiments in verbal creativity. USA: Lulu.com, 2011. 131 p.

[8] Stephen A.R. Scrivener, Zheng Su. Projective artistic design making and thinking: the artification of design research // Contemporary Aesthetics (Journal). 2016. Special Volume. P. 1-18.

[9] Jun J., Mincheva K., Rowen L. Projective systemic module // J. of Pure and Applied Algebra. 2020. Vol. 224. P. 4-27.

[10] David Rapaport Ph.D. Projective Techniques and the Theory of Thinking // Journal of Projective Techniques. 1952. P. 269-275

[11] Баженова И.В., Гринберг Г.М., Ивкина Л.М. Межвузовская кооперация субъектов образования при разработке электронных образовательных ресурсов как одно из направлений повышения качества образования // Информатика и информационные технологии: Сборник научных статей. 2013. С. 157-162.

[12] Pola G., Benedetto M.D.D. Control of Cyber-Physical-Systems with logic specifications: A formal method approach // Annual Reviews in Control. 2019. Vol. 47. P. 178-192.

[13] Преображенский Ю.П. Некоторые этапы формирования экспертных компонент в интеллектуальных системах //Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике. 2020. С. 168-170.

[14] Есин В.И., Есина М.В. Язык описания и манипулирования данными, хранящимися в БД с УМД //Научно-техническая конференция с международным участием. 2010. С. 104.

[15] Бородин Д.С., Строганов Ю.В. К задаче составления запросов к базам данных на естественном языке //Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2016. №. 19.

[16] Jun J., Mincheva K., Rowen L. Projective systemic modules // Journal of Pure and Applied Algebra. 2020. Vol. 224, iss. 5. P. 4-27.

[17] Ponsich A., Jaimes A.L., Coello C.A.C. A survey on multiobjective evolutionary algorithms for the solution of the portfolio optimization problem and other finance and economics applications // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2013. Vol. 17. P. 321-344.

[18] Баженова И.В., Гринберг Г.М., Ивкина Л.М. Развитие компетенций будущих педагогов и инженеров в условиях межвузовской кооперации // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2014. № 2.С. 62-69.

[19] Коваль Р.В., Гончарик К.В., Голиковская К.Ф., Баженова И.В. Использование инновационных образовательных технологий для повышения качества обучения // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. Т. 2. № 10. С. 368-369.

Машинное обучение как новый этап в развитии Bussiness Intelligence-систем

О. А. Цуканова, А. А. Ярская, А. А. Торосян
Университет ИТМО
zoa1999@mail.ru, aleksa.yara@yandex.ru, alisato2311@gmail.com

***Аннотация*. Интеграция BI-систем с инструментами машинного обучения и расширение за счет этого возможностей систем-бизнес аналитики – приоритетные направления работы большинства разработчиков BI-решений. Значимыми в развитии BI-систем стали 2020–2021 гг., когда лидеры на рынке BI-аналитики стали массово презентовать свои решения, основанные на взаимодействии искусственного интеллекта и бизнес-аналитики, что сделало возможным расширенную аналитику данных в режиме реального времени. Производители BI-систем стремятся учесть различные потребности пользователей, поэтому разрабатывают разные подходы к интеграции машинного обучения в Business Intelligence-системы. Цель данной работы – раскрыть продвинутые возможности применения искусственного интеллекта (AI) в Business Intelligence-системах в зависимости от подхода к интеграции алгоритмов AI в BI-систему.**

Ключевые слова: Business Intelligence; Artificial intelligence; Machine learning; Python; Auto ML; Power BI

I. Введение

Одним из главных трендов на рынке Business Intelligence – инструментов (BI) становится расширение возможностей BI-систем механизмами искусственного интеллекта (AI), прежде всего, алгоритмами машинного обучения (ML). В общем контексте под машинным обучением понимается одно из направлений искусственного интеллекта, основанное на поиске алгоритмом определенного типа паттернов в тренировочных данных и решении задачи на основе выявленных закономерностей [1]. В бизнес-аналитике под машинным обучением понимаются встроенные непосредственно в BI-систему алгоритмы машинного обучения, которые могут работать как в фоновом режиме, так и запускаться по требованию пользователя. Иными словами, это доступ к среде создания и выполнения моделей машинного обучения без необходимости импорта скриптов из внешних инструментов и программ обработки данных. Дополнение бизнес-аналитики функциями искусственного интеллекта и машинного обучения, в частности, получило общее название – расширенная или дополненная аналитика [2].

Потенциал искусственного интеллекта в совместной интеграции с системами бизнес-аналитики отмечали в своих работах Jakia Sultana [3], Aastha Jain [4], Prakhar Mehrotra [5], Shrutika Mishra [6], Scott P.J. и Yampolskiy R.V. [7], Rath [8], Waqar Ahmed Khan [9]. Обобщая вышеуказанные исследования, можно сделать вывод, что большинство авторов сходится во мнении – BI-системы получат еще большее распространение не только в бизнесе, но и станут активно использоваться государственным сектором экономики. Применение встроенных алгоритмов машинного обучения к данным, собираемым BI-системами, в том числе к потоковым данным, – это принципиально новый подход к организации аналитики данных на предприятии, который повлечет за собой изменение IT-архитектур компаний и их бизнес-моделей.

Продвинутые возможности BI-систем являются еще малоизученными, как с методологической, так и с практической точки зрения, поскольку они стали массово доступны пользователям только в 2020–2021 гг. Именно это и объясняет актуальность данной работы.

Цель исследования – раскрыть продвинутые возможности применения искусственного интеллекта (AI) в Business Intelligence-системах в зависимости от подхода к интеграции алгоритмов AI в BI-систему.

II. Варианты интеграции искусственного интеллекта в Business-Intelligence систему

Алгоритмы искусственного интеллекта могут быть встроены в архитектуру BI-системы двумя способами: через встроенные разработчиком алгоритмы AI непосредственно в код BI-платформы и посредством выполнения скриптов Python / R самим пользователем в среде BI-платформы. Как правило, в одной BI-системе сочетаются оба варианта, поскольку они решают разные задачи.

Первый вариант – встраивание алгоритмов AI непосредственно в код BI-платформы – используется для ускорения работы BI-системы (например, для автоматического определения типов данных, выявления и замены ошибок, автоматического определения связей в модели данных и др.), для более комфортной работы конечных пользователей независимо от уровня их подготовки (поддержка естественного языка, цифровые помощники, анализ запросов пользователя в фоновом режиме и система рекомендаций и др.), для автоматизации алгоритмов машинного обучения без необходимости писать код разработчикам отчета (анализ «what – if», кластеризация, классификация, анализ временных рядов). Встроенные в код программы алгоритмы и модели искусственного интеллекта представлены у большинства вендоров BI-систем, разрабатывающих продукты третьего поколения.

Второй вариант – выполнение скриптов Python / R в среде BI-платформы. При таком подходе архитектура системы предусматривает интеграцию с одним или сразу двумя языками программирования. Поддерживаются, как правило, именно языки Python и R, поскольку они чаще всего используются для анализа данных и машинного обучения. При этом в данном подходе также есть вариации – написание кода может быть доступно как на этапе предобработки и обработки данных (поиск аномалий, очистка данных и преобразование данных, классификация данных и др.), так и на этапе построения визуализаций (разработка собственных визуальных элементов через написание кода на Python или R). Стоит

отметить, что данных подход, так же, как и предыдущий, позволяет применять к данным любые модели и алгоритмы машинного обучения, но не ограничивает аналитика только несколькими классами задач, автоматизированными разработчиками BI-платформ. Data scientist – могут использовать в своих отчетах любые модели машинного обучения, реализованные библиотеками поддерживаемых языков программирования, или могут писать собственный код. Кроме того, принципиальным отличием данного варианта архитектуры от предыдущего является направленность на аналитиков данных с высоким уровнем подготовки и умением писать код. Несмотря на то что это не способствует демократизации данных, ограничение и барьеры на доступ пользователей к моделям машинного обучения, на наш взгляд, все-таки должны существовать, так как специалистам необходимо понимать математические, статистические и вероятностные особенности модели, для того чтобы она оставалась корректной и не приводила к ошибочным выводам.

Любой из двух рассмотренных вариантов реализации искусственного интеллекта в BI-системах направлен на автоматизацию процесса анализа данных. Однако это вовсе не означает, что машинное обучение – это замена аналитиков данных, или что усложнение функциональности систем приведет к тому, что обычные пользователи без подготовки в сфере анализа данных, мат. статистики и алгоритмов не смогут работать с системой и, тем самым, окажутся исключенными из этого процесса. Напротив, искусственный интеллект сделает аналитиков данных более эффективными и освободит их от рутинной работы. Как правило, аналитики данных вынуждены тратить большую часть времени, отведенного на решение задачи, на сбор, подготовку и предобработку данных. В итоге, у них остается меньше времени на глубокий анализ, подготовку выводов и рекомендаций для бизнеса. Расширенная аналитика освободит data scientist-тов от рутинной работы, так как с ее помощью можно настроить потоки данных, их автоматическое преобразование, исправление ошибок в данных (автокоррекция ошибок) и применяемые к ним алгоритмы машинного обучения. При этом аналитики смогут сосредоточиться на решение нестандартных, сложных задач.

III. Преимущества и ограничения при использовании искусственного интеллекта в Business-Intelligence системах

Что касается выгод от интеграции машинного обучения в BI-систему для бизнес-пользователей, то их взаимодействие с системой также станет более комфортным, информативным и интерактивным за счет [10]:

1) чат-ботов и цифровых помощников. Пользователи смогут задавать дополнительные вопросы по дэшборду или аналитической панели специальному чат-боту или с помощью естественного языка цифровому помощнику такому же как всем известные Siri, Alexa, Алиса и др.;

2) поддержки естественного языка. Это также расширит круг пользователей, которые смогут успешно использовать BI-систему, поскольку при таком взаимодействии не требуются продвинутые навыки работы в системе, а также нет необходимости погружаться во все дэшборды и аналитические панели, чтобы отыскать интересующую информацию. Достаточно задать вопрос на естественном языке, и система сама выберет необходимые обработанные и визуализированные данные;

3) системы рекомендаций. Алгоритмы машинного обучения на основе истории запросов пользователя автоматически предлагают направления дальнейшего анализа и уровня детализации. Это помогает пользователям проводить глубокий анализ, выявлять первопричины и видеть связанные данные независимо от уровня подготовки сотрудников и их знания предметной области.

Как и любая технология, расширенная аналитика имеет ограничения, которые должны учитывать аналитики при ее внедрении и использовании. К ним относятся [11]:

1) ограничения, накладываемые реляционными базами данных. В реляционных БД данные хранятся в виде плоских таблиц, со строго определенными связями. Машинное обучение же направлено на поиск зависимостей в данных без необходимости написания сложных SQL-запросов. Можно сказать, что при работе с реляционной БД пользователи обладают туннельным видением ситуации, поскольку уже заранее определены границы анализа в виде загруженных таблиц, их структуры и периода анализа. Машинное обучение будет работать наиболее эффективно, если источником данных являются неструктурированные или полуструктурированные источники, например, NoSQL базы данных или озера данных;

2) необходимы высокие вычислительные мощности. Модели машинного обучения хорошо работают на больших данных, так как, для того чтобы модель была адекватной и значимой, в тренировочном наборе данных должно быть достаточно наблюдений. Хранение и обработка больших данных требуют от компании соответствующей IT-инфраструктуры, что увеличивает затраты на процесс анализа данных в целом. Например, в Power BI для работы с большими данными требуется покупка лицензий уровня Premium, которые являются самыми высокими по стоимости подписки, так как предоставляют больший объем места на сервере Microsoft для работы с Big Data;

3) требуется проверка точности моделей и их адекватности. Расширенная бизнес-аналитика позволяет автоматизировать построение моделей машинного обучения, чтобы они обновлялись каждый раз, когда загружаются новые данные в BI-систему. Однако есть высокий риск того, что произойдут существенные изменения в статистических характеристиках исходных данных (например, изменится распределение, масштаб данных, появятся пропуски и новые ошибки), что приведет к тому, что модель будет генерировать шум и/или давать некорректные прогнозы и результаты. Генерируемые автоматически модели должны актуализироваться с течением времени, так как они замыкают цикл принятия решений. Поэтому вопрос о том, насколько машинное обучение снижает порог подготовленности пользователей в области анализа данных также не является однозначным;

4) автоматизированные в BI-системы алгоритмы машинного обучения не подходят для работы со сложными сценариями, требующими опыта

исследователя и его способности к творческому, нешаблонному мышлению.

IV. Алгоритмы машинного обучения в Business-Intelligence системах

В большинстве BI-систем доступны наиболее часто используемые аналитиками стандартные модели машинного обучения – кластеризация, классификация и регрессия.

Задача кластеризации – это задача машинного обучения без учителя. Необходимо разбить исходную выборку объектов на непересекающиеся множества – кластеры так, чтобы объекты одного класса обладали наиболее близкими статистическими характеристиками, а объекты других классов – максимально отличались. Алгоритм основан на вычислении расстояний от классифицируемого объекта до центроидов кластеров. Объект будет отнесен к тому кластеру, до центроида которого его расстояние наименьшее. Существует множество алгоритмов кластеризации – от простых в реализации, например алгоритм k-средних и агломеративная кластеризация, до продвинутых – DBSCAN, метод Birch, метод Ворда, спектральной кластеризации, метод гауссовых смесей и другие [12]. Выбор одного из методов отдается на откуп исследователю. Необходимо ориентироваться на распределение исходных данных, а также пробовать разные методы и оценивать точность полученной модели. В BI-системах, как правило, встроен самый простой алгоритм кластеризации – методом k-средних, поскольку он не требует больших вычислительных мощностей и может выполняться в стандартном режиме. Если же аналитики работают с выборкой, которая характеризуется сложным распределением и плохо поддается разделению на кластеры встроенным в BI-систему методом, то рекомендуется выбрать другой вариант интеграции машинного обучения в BI-систему – через прямое выполнение скриптов Python или R. При таком подходе аналитик сможет применять продвинутые алгоритмы анализа данных.

Формально задача кластеризации определяется следующим образом:

Пусть $X-$ конечное множество объектов, $Y-$ конечное множество кластеров, также задана функция расстояния $p = (x, x')$. Необходимо для каждого объекта $x_i \in X^m$, где $X^m = \{x_1, \dots, x_m\}-$обучающая выборка, в соответствии с алгоритмом a поставить в соответствие элемент $y_i \in Y$: $a: X \to Y$. При этом в одном кластере должны оказаться объекты, близкие по метрике p, а объекты разных кластеров должны отличаться по выбранной метрике как можно больше. Количество классов может быть, как известно заранее, например, из опыта аналитика или его знания предметной области, так и неизвестно. В качестве метрики p обычно используют расстояние Чебышева, евклидово расстояние или манхэттенское расстояние.

Задача классификации отличается от задачи кластеризации тем, что нам заранее известна принадлежность объектов обучающей выборки к определенному классу. Задача классификации – это классический пример задачи машинного обучения с учителем. Мы имеем конечное множество объектов с заданными признаками – тренировочные данные, для каждого из которых известна его принадлежность к определенному классу – отклик. Задача классификации заключается в том, чтобы обученная модель относила новый объект к одному из известных классов, наиболее свойственных ему по признакам [13]. Классификация может быть бинарной и множественной. Бинарная классификация подразумевает наличие только двух классов – положительного и (+1) и отрицательного (-1) и часто интерпретируется как ответ на вопрос в формате «да / нет». Например, сделает ли клиент повторный заказ, есть ли на изображении человек, является ли письмо спамом и др. Задача множественной классификации решается в случае, если число откликов (классов) более двух. Например, определение породы собаки по внешним признакам, определение принадлежности объекта на изображении (человек, животное, объект), определение категории новостей по тексту (политика, экономика, спорт, культура) и другие. Сформулируем математическую постановку задачи:

Пусть $X-$ конечное множество объектов, обучающая выборка. $Y-$ конечное множество откликов. Также известно отображение $a: X \to Y$ для элементов обучающей выборки. Необходимо определить для множества $X^m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}$ алгоритм b, который будет каждому элементу $x \in X$ ставить в соответствие элемент $y \in Y$.

Задача регрессии – это еще один пример задачи машинного обучения с учителем. Нам также известны отклики для объектов, но в отличие от задачи классификации, отклики являются непрерывными величинами. Пример задачи регрессии – определить зарплату специалиста в зависимости от его возраста, степени образования, среднего балла в вузе, опыта работы. При этом в качестве отклика мы получим вещественное число или, говоря на языке программирования, число с плавающей точкой [12]. При решении задачи классификации в качестве результата мы получаем точную оценку – принадлежность объекта к конкретному классу из заранее определенного множества.

V. Заключение

В работе был исследован функционал и особенности BI-систем третьего поколения, основным отличием которых является расширение базового функционала встроенным искусственным интеллектом и / или возможностью последующей интеграции в BI-систему необходимых инструментов машинного обучения. При этом под машинным обучением в BI-системе понимаются алгоритмы машинного обучения, которые выполняются как в фоновом режиме для более комфортной работы самих бизнес-пользователей, так и классические задачи машинного обучения, которые базируются на специфичных принципах работы самих BI-систем и благодаря этому позволяют применять возможности ML в режиме реального и / или почти реального времени.

Интеграция ML в BI-систему с одной стороны способствует процессу демократизации данных в компании, так как упрощает работу конечных бизнес-пользователей с системой и снижает порог требований к уровню их подготовки. За счет встроенных в код программы алгоритмов ML, BI-системы способны обрабатывать запросы на естественном языке, давать рекомендации относительно просмотра связанных данных, выявлять аномалии и строить выводы. С другой стороны, если компания выбирает возможность

самостоятельной интеграции языков программирования в BI-систему (как правило, Python или R), то при таком варианте использования ML требования к уровню подготовки аналитиков данных, напротив, становятся существенно выше. Специалисты должны уметь не только писать код и знать теорию алгоритмов и машинного обучения, но и иметь достаточные знания в области математической статистики, теории вероятностей, математики, для того чтобы критически оценивать построенные модели и актуализировать их с течением времени.

В работе представлены особенности внедрения Machine Learning в BI-систему в двух вариантах: через прямое выполнение скриптов Python / R в BI системе и интеграция через автоматизированную службу машинного обучения. При первом подходе аналитики могут использовать языки программирования как на этапе предобработки данных, так и на этапе создания визуализаций в отчетах. Данный подход рекомендуется использовать для подготовки больших данных с целью более производительной обработки и очистки данных. Второй подход не требует написания кода, однако класс решаемых задач ограничен. На данных момент, в автоматизированном режиме поддерживаются модели классификации, кластеризации, регрессии и некоторые виды обработки текста (анализ ключевых фраз, анализ тональности) и изображений (добавление тегов к изображениям). Данный подход обосновано применять, когда требуется использовать результаты работы модели машинного обучения непосредственно в отчете.

Список литературы

[1] Trask A. Grockay deep learning. Trask Andrew | CoderNet // SPb.: Peter. 2019. 352 p.

[2] Augmented analytics Added analytics [Electronic resource] // Tadviser. 2021. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Article: Extended_analytics_(Augmented_analytics)_Added_analytics (date accessed: 15.08.2021).

[3] Sultana J., Jimoh A. Business Intelligence // Handbook of Research on Applied AI for International Business and Marketing. 2021. P. 191–206.

[4] Jain A., Shah D., Churi P. A review on business intelligence systems using artificial intelligence // Adv. Intell. Syst. Comput. 2020. T. 1108 AISC. P. 1023–1030.

[5] Mehrotra P. Applications of Artificial Intelligence in the Realm of Business Intelligence // Res. Anthol. Artif. Intell. Appl. Secur. IGI Global, 2021. P. 358–386.

[6] Mishra S., Tripathi A.R. AI business model: an integrative business approach // J. Innov. Entrep. 2021 101. SpringerOpen, 2021. T. 10, № 1. P. 1–21.

[7] Scott P.J., Yampolskiy R.V. Classification Schemas for Artificial Intelligence Failures // Delphi - Interdiscip. Rev. Emerg. Technol. Lexxion Verlag, 2020. V. 2, № 4. P. 186–199.

[8] Rath M. Realization of Business Intelligence using Machine Learning // Internet Things Bus. Transform. John Wiley & Sons, Ltd, 2021. P. 169–184.

[9] Khan W.A. и др. Machine learning facilitated business intelligence (Part I): Neural networks learning algorithms and applications // Ind. Manag. Data Syst. Emerald Group Holdings Ltd., 2020. V. 120, № 1. P. 164–195.

[10] Beyond the Hype: How to Get Real Value from AI in Analytics - IT report - TechRepublic // Qlick View. 2020. 20 p.

[11] AI: The New BI - How Algorithms Are Transforming Business Intelligence and Analytics // IBM Research. 2018. 17 p.

[12] Muller G. An Introduction to Machine Learning with Python. A guide for data scientists. Andreas Müller, Sara Guido | CoderNet // Moscow time. 2017.393 p.

[13] Plas D.V. J. Vander Plas, Python for Complex Problems. Data Science and Machine Learning // O'Reilly. 2018.576 p.

Интеллектуальная информационная система оптимизации процесса производственного планирования

Т. Б. Чистякова[1], О. Е. Шашихина[2], И. В. Новожилова[3]

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

[1]nov@technolog.edu.ru, [2]shashikhina@mail.ru, [3]novozhilova@bk.ru

***Аннотация*. В статье представлена интеллектуальная информационная система, позволяющая на основе различных проблемно-ориентированных методов оптимизации автоматизировать процесс планирования и формировать оптимальные производственные расписания для гибких многоассортиментных производств. Ядром предлагаемой системы являются интеллектуальные интерфейсы, позволяющие эргономично настраивать систему через заполнение экспертных таблиц перенастроек агрегатов и производственных линий с одного типа продукции на другой, формализующих представление знаний о характеристиках производства, участвующих при формировании постановки задачи оптимизации и целевой функции. Описывается информационное обеспечение, включающее обновляемые и дополняемые базы данных, разработанные на основе интеллект-карт, позволяющих графически структурировать информацию об участвующих в планировании параметрах продукции, заказов и оборудования. Визуализация результатов планирования представляется в виде календарного плана – диаграммы Ганта, а также в форме объясняющего дерева решения задачи оптимизации, позволяющего проследить улучшение значения целевой функции на всех этапах оптимизации. Предлагаемая архитектура и функциональные возможности обеспечивают вариативность применения системы и её эффективное использование для различных гибких многоассортиментных производств. Внедрение системы позволяет значительно повысить эффективность процесса планирования, снизить стоимость производства и упростить процесс принятия производственных управленческих решений.**

Ключевые слова: интеллектуальная система; производственное планирование; календарное планирование; интеллект-карты; экспертные знания; производство полимерных пленок

I. Введение

Одним из ключевых этапов организации и управления современными многоассортиментными промышленными предприятиями является процесс планирования и составления производственных расписаний. От того, насколько оптимально составлен производственный план, определена загрузка оборудования и очередность выполнения заказов, напрямую зависит эффективность и результативность всего производственного процесса.

В работе описываются подсистемы и интерфейсы в составе интеллектуальной информационной системы для оптимизации процесса календарного планирования различных гибких многоассортиментных производств, позволяющей на основе адаптивной настройки и современных методов оптимизации оперативно решать задачу ресурсосберегающего и экономически эффективного производственного планирования.

В настоящее время на рынке представлено достаточно большое количество разнообразных систем автоматизации производственного планирования, активно ведутся научные исследования, связанные с математическим и программным обеспечением подобных систем [1, 2]. Тем не менее, существующие решения обладают рядом ограничений по их применению. Зачастую внедрение и применение подобных программ на практике вызывает трудности, связанные со спецификой производимой продукции и технологического процесса, поскольку системы недостаточно корректно перестраиваются с общего программного решения на конкретное производство [3, 4]. Также процесс настройки затрудняет тот факт, что ассортимент продукции и количество разнотипных производственных линий может меняться, и в случае, если базы данных не обладают эргономичным функционалом расширения и дополнения, информационное обеспечение системы планирования сложно поддерживать в актуальном состоянии. Возникает проблема недостаточного соответствия структуры пользовательских интерфейсов требованиям управленческого производственного персонала, в частности, без демонстрации процесса решения задачи пользователю может быть не очевиден способ, которым система формирует производственный план, соответственно, нет возможности проверить, действительно ли решение является оптимальным, либо просто удовлетворяет ограничениям. Дополнительно можно отметить то, что многие системы являются закрытыми, крайне дорогостоящими, и при внедрении программ требуются дополнительные затраты на обучение персонала и дальнейшее сопровождение систем.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что для промышленных инновационных производств является актуальной и востребованной разработка информационной системы и пользовательских интерфейсов для оптимального календарного планирования, функционально соответствующих требованиям производственного управленческого персонала и обладающих возможностью оперативной и эргономичной настройки на конкретное производство, ассортимент продукции и конфигурации оборудования.

II. Описание интеллектуальной системы оптимального производственного планирования

Интеллектуальная система разработана для оптимизации решения задачи планирования для различных гибких инновационных непрерывных и

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект №21-79-30029

дискретных производств, в том числе для международных корпораций, в состав которых входит большое количество территориально распределенных предприятий, производящих многоассортиментную продукцию на сложном оборудовании различных конфигураций, перенастраиваемых на изготовление разнотипных заказов.

A. *Постановка задачи оптимизации календарного производственного планирования*

Пусть дан вектор входных параметров $X= (O, E, Pd)$, $O = \{O_i, i= 1,N\}$ – вектор описывающий множество заказов, которые необходимо распределить по производственными линиям; $E = \{E_j, j= 1,Me\}$ – набор производственных линий (машин, агрегатов, рабочих центров и др.); $Pd = (\tau_o, Y_{cr})$ – вектор, описывающий параметры планирования, где $\tau_o = [\tau_b, \tau_e]$ – параметр, определяющий период планирования, τ_b – дата начала периода планирования; τ_e – дата окончания периода планирования; Y_{cr} – параметр, определяющий критерий оптимизации.

Тогда в общем виде постановка задачи оптимального планирования производств формулируется следующим образом: для заданного вектора входных параметров $X = (O, E, Pd)$, требуется найти такое оптимальное размещение Q^{opt} для N заказов на Me производственных линиях в рамках периода планирования $[\tau_b, \tau_e]$, которое обеспечит экстремум целевой функции: $F \rightarrow min\ (max)$.

Вектором варьируемых параметров является $Q = \{Q_i: Q = (j, \tau_{oi}, k, \tau_i)\ j = 1, Me, k = 1,L, L\in N, i = 1,N\}$ – вектор, описывающий распределение заказов по производственным линиям, $\tau_{oi} \in [\tau_b, \tau_e]$ – дата начала выполнения i-го заказа (включается в себя дату и время запуска заказа на производство), $k = 1,L, L\in N$ – порядковый номер выполнения i-го заказа на j–ой линии в текущем расписании Q, L – количество заказов, выполняемых на j–ой линии в расписании Q, τ_i – время выполнения i-го заказа.

На основании экспертных знаний об объекте планирования осуществляется формирование целевой функции. В случае решения задачи оптимального календарного планирования для полимерных производств, целевой функцией будет являться суммарное время выполнения заказов и перенастроек оборудования [5].

$$F\left(\tau\left(Q^{opt}\right)\right)=max_{j=1}^{Me}\left(\sum_{k=2}^{L}\tau\left(O_{j,k-1},O_{j,k}\right)\right)+\left(\sum_{i=1}^{L}\tau_i\right)\rightarrow min,$$

где $\tau\left(O_{j,k-1},O_{j,k}\right)$ – время перенастройки оборудования с предыдущего заказа на текущий, с:

$$\tau\left(O_{j,k-1},O_{j,k}\right)=T^{Th}{}_{j,k}+T^{Wd}{}_{j,k}+T^{Rf}{}_{j,k}\left(F_{fk-1},F_{tk}\right)+T^{Nz}{}_{j,k}\left(Nz_k\right)+T^{Cb}{}_{j,k}\left(Cb_k\right)+T^{Cl}{}_{j,k}\left(Cl_k\right);$$

где T^{Th} – время на перенастройку по толщине материала, с; T^{Wd} – время на перенастройку по ширине, с; Ff – исходный тип пленки; Ft – конечный тип пленки; T^{Rf} – время перенастройки по рецептуре плёнки, с; Nz – конечный диаметр насадки, DN; T^{Nz} – время перенастройки диаметра насадки, с; Cb – конечный диаметр калибрующего (формующего) зазора соэкструзионной головки:, DN; T^{Cb} – время перенастройки диаметра калибрующего (формующего) зазора соэкструзионной головки, с; Cl – конечная настройка охлаждающего кольца, DN; T^{Cl} – время перенастройки диаметра охлаждающего кольца, с.

τ_i – время выполнения i-го заказа, с:

$$\tau_i=\frac{Qrm_i}{V_j\left(O_i\right)};$$

Qrm_i – количество полимерной плёнки i-го заказа в погонных метрах, м.

$V_j(O_i)$ – скорость производства j-той производственной линии при выполнении i-го заказа (зависит от типа и толщины изготавливаемой плёнки), м/с.

B. *Формирование производственного плана с применением интеллектуальной системы*

Предлагаемая интеллектуальная система разработана в виде эргономичного десктопного приложения в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2019 с использованием языка программирования C#.

Пользовательские интерфейсы позволяют специалисту по планированию загружать в предпочтительном формате данные заказов, производственных линий и осуществлять выбор и настойку метода оптимального планирования в зависимости от размерности задачи. После получения и формализации актуальных экспертных знаний о технологических регламентах, характеристиках оборудования и правилах его перенастройки, в информационной системе осуществляется формирование вида целевой функции.

Процесс поиска и формирования оптимального производственного плана осуществляется на базе компьютерных реализаций классических методов оптимизации для задач планирования малой размерности и эвристических проблемно-ориентированных методов для NP-трудных задач большей размерности с указанием правил предпочтительности выбора каждого из методов [6].

На рис. 1 представлен алгоритм работы информационной системы. На рисунке можно видеть, что процесс работы методов оптимизации начинается после получения и проверки корректности данных и знаний об объекте планирования и выбора набора заказов, для которых будет строиться производственный план, с директивными сроками их выполнения.

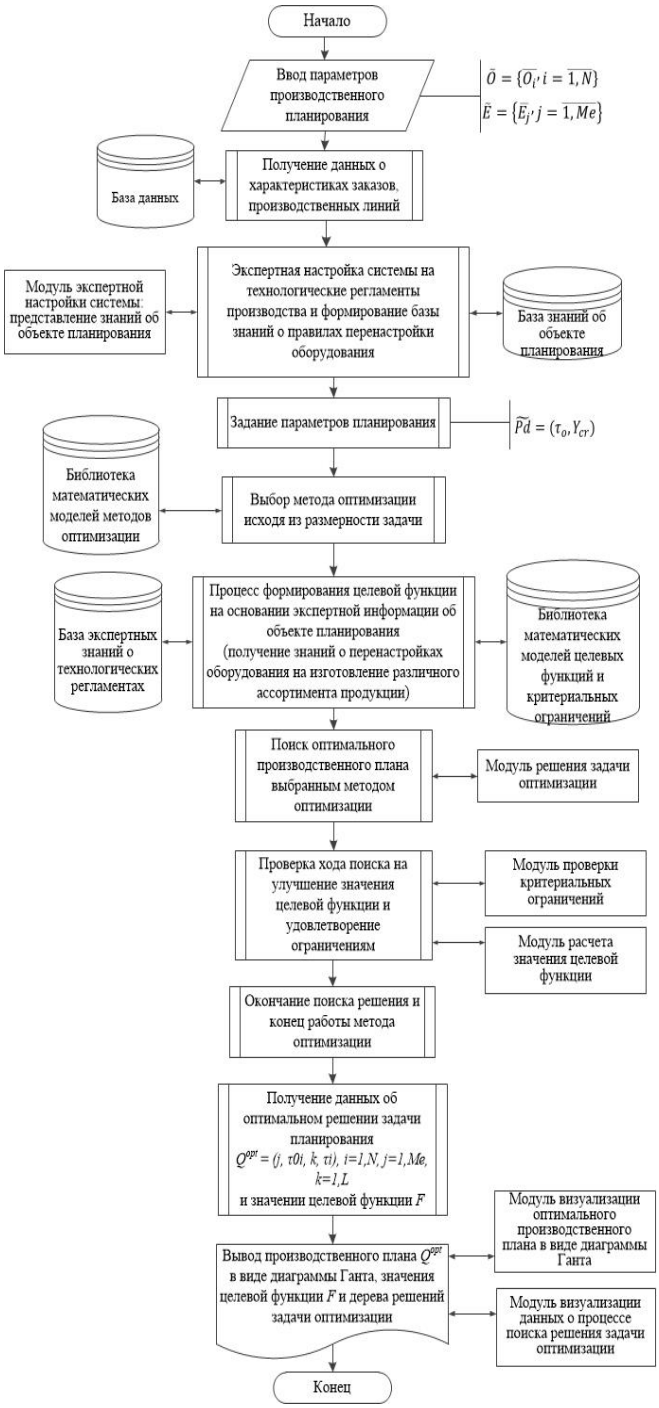


Рис. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации производственного планирования

Для эффективного функционирования интеллектуальной системы было разработано информационное обеспечение, включающее в себя дополняемую и обновляемую базу данных с информацией об ассортименте продукции, характеристиках производственных линий и заказах с требуемыми сроками их выполнения, а также знания о состоянии оборудования и правилах его перенастройки.

Для наглядного отражения иерархических связей между различными характеристиками производства, оборудования и заказов были разработаны интеллект-карты как форма представления знаний об объекте планирования [7]. Интеллект-карта демонстрирует структуру знаний об объекте планирования, какие характеристики заказов, производственных линий и параметров планирования участвуют в решении задачи оптимизации и являются основой для формирования и вычисления целевой функции.

В случае решения задачи планирования для производства полимерных плёнок, основными характеристиками заказов являются их номер, заказчик, тип продукции, рецептура, толщина, ширина и количество готового материала. Основными характеристиками производственных линий являются производительность, изготавливаемые типы плёнок, время на изменение рецептуры плёнки при переходе с изготовления одного типа на другой, диаметр насадки и время на смену насадки в зависимости от типа плёнки, диаметр калибрующего зазора соэкструзионной головки и время на смену диаметра в зависимости от типа плёнки, диаметр охлаждающего кольца и время на смену диаметра в зависимости от типа плёнки, время на перенастройку по толщине и время на перенастройку по ширине плёнки.

Визуализацией результатов работы информационной системы является удовлетворяющее технологическим требованиям и срокам выполнения производственное расписание, визуализированное в форме диаграммы Ганта, где выполнению каждого заказа на производственной линии ставится в соответствие отрезок прямой, длина которого пропорциональна его длительности, в последовательности, соответствующей расписанию. Дополнительно пользователю предоставляется объясняющий алгоритм процесса поиска оптимального производственного плана – дерево решений задачи оптимизации с возможностью демонстрации хода решения, позволяющее проследить улучшение значение целевой функции на каждой итерации работы алгоритма.

C. Модуль интеллектуальной настройки системы на различные типы производств

Для эффективной работы, обеспечения гибкости и вариативности применимости системы для различных производств в интерфейсе инженера по знаниям (производственный управленческий персонал) используется интеллектуальная подсистема формализации экспертных знаний, позволяющих учитывать специфику технологических и производственных процессов каждого предприятия. Для корректного формирования вида целевых функций и их вычисления в системе используется экспертная информация об объекте планирования, предоставленная специалистами предприятия в ходе заполнения форм и концептуальных таблиц настройки на различный ассортимент и параметры перенастройки оборудования с одного типа продукции на другой.

В качестве примера подобной формализации была разработана таблица возможных перенастроек оборудования промышленного производства полимерных плёнок, включающая правила, времена и расходы материала на перенастройки производственных линий по толщине и ширине материала, перенастройки по рецептуре плёнки, перенастройки диаметров насадки, калибрующего (формующего) зазора соэкструзионной головки, охлаждающего кольца и др. Подобная формализация позволяет исходя из параметров заказа и характеристик оборудования корректно формировать и рассчитывать значение целевой функции. Формирование данной концептуальной таблицы потребовалось,

поскольку сокращение времени перенастройки оборудования с одного заказа на другой, в значительной степени определяющее суммарное время выполнения пакета заказов, является ключевым элементом при оптимизации производственного расписания.

Данные таблицы позволяют корректно формировать вид целевой функции с возможностью её перерасчета в случае изменения состава действующего оборудования или расширения ассортимента производимой продукции.

Работа описанной информационной системы была успешно апробирована на реальных промышленных данных современных высокотехнологичных производств многоассортиментных полимерных плёнок в России и Германии («Klöckner Pentaplast Rus» и «Maria Soell Films») и данных российских металлургических предприятий (Челябинский завод металлоконструкций). Тестирование предлагаемой системы показало эффективность и целесообразность её использования для решения задачи формирования оптимального производственного плана.

III. Заключение

В работе описана интеллектуальная информационная система оптимизации процесса производственного планирования. Система включает интеллектуальные интерфейсы экспертной настройки на различные типы производств, оборудования, ассортимент продукции, позволяющие расширить гибкость и вариативность использования системы. Информационное обеспечение системы включает дополняемую и обновляемую базу данных, позволяющую поддерживать банк данных об объекте планирования в актуальном состоянии и корректно рассчитывать значение целевой функции. Программные реализации различных проблемно-ориентированных методов оптимизации позволяют получить решение задачи планирования, обеспечивающее уменьшение времени, стоимости выполнения заказов и производственных затрат. Открытая архитектура обеспечивает возможность расширения функциональности системы за счет настройки на новый тип производств и их характеристик, допускает возможность включения в систему новых методов оптимизации и подключения дополнительных программных модулей. Разработанная интеллектуальная система прошла успешную апробацию на данных различных многоассортиментных промышленных полимерных и металлургических производств. Применение предлагаемой интеллектуальной информационной системы позволяет значительно повысить эффективность процесса календарного производственного планирования.

Список литературы

[1] Данилов А.Д., Ломакин В.А. Интеллектуальная система планирования гибкого автоматизированного производства // Вестник воронежского государственного технического университета. 2019. № 1. Т. 15. С. 7-11.

[2] Носов А.Н. Современные средства и технологии обеспечения анализа и планирования производств / Носов А.Н., Бугров А.Н. // Системный анализ в науке и образовании. 2013. № 2. С. 118-132.

[3] Логунова О.С., Аркулис М.Б. Автоматизированная система оперативного календарного планирования многостадийного производства: математическая модель и программная реализация // Вестник Череповецкого государственного университета. 2021. № 3 (102). С. 18–37.

[4] Цуканов М.А. Разработка и реализация алгоритма построения расписания сталеплавильного производства на основе адаптации фрактала Кантора / М.А. Цуканов, О.А. Божкова // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 6. С. 32-37.

[5] Комягина О.Ю. Программный комплекс для оптимального планирования производства многоассортиментных полимерных пленок / О.Ю. Комягина, Т.Б. Чистякова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 1. № 2(64). С. 379-384.

[6] Chistyakova T.B., Razygrayev A.S., Makaruk R.V., and Kohlert C. Decision support system for optimal production planning polymeric materials using genetic algorithms // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements. 2016. P. 257-259. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519746.

[7] Гаврилова Т.А., Страхович Э.В. Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге // Онтология проектирования. 2020. Т. 10, №1(35). С. 87-99.

Цикл безопасной разработки при проектировании программного обеспечения информационных систем

М. В. Лившиц, М. Ю. Шестопалов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
marina.livshits24@gmail.com, shestopalov_08@mail.ru

***Аннотация*. В статье представлена методика разработки защищённого программного обеспечения, получившая название цикл безопасной разработки (ЦБР). На стадиях цикла непрерывной разработки программного обеспечения используются различные программные средства для автоматизации и исключения ошибок в рутинных процессах разработки; данные программные средства, их краткое описание и использование представлены в статье. В качестве анализа различных подходов к разработке программного обеспечения приведено описание каскадной модели, моделей RUP, RAD, SDL. На основе данного анализа сделан вывод о необходимости создания уникального цикла безопасной разработки при проектировании отечественного защищенного программного обеспечения; определены требования к процессу проектирования программного обеспечения. В качестве примера для статьи взята разработка программного обеспечения и проектной документации информационной системы передачи мультимедийных данных в открытом и защищенном сегменте.**

Ключевые слова: программное обеспечение; модель жизненного цикла; технология разработки безопасных программных продуктов; качество программного обеспечения; информационная система; автоматизация разработки программного обеспечения; создание программной документации; управление проектами

I. Анализ методических подходов к обеспечению разработки безопасного программного обеспечения

На сегодняшний день существуют различные подходы к разработке программного обеспечения (ПО) – модели жизненного цикла разработки ПО. Разнообразие таких моделей обусловлено разнообразием целей разработки ПО и в каждом конкретном случае их необходимо подгонять под особенности продукта, проекта и компании-разработчика. [1]

Дополнительные сложности при выборе подхода к проектированию ПО накладывает тот факт, что все заинтересованные стороны видят предмет разработки ПО по-разному. В связи с этим можно выделить основные принципы подходов к разработке ПО:

- инструменты автоматизации должны быть направлены на уменьшение времени разработки;
- создание минимально-жизнеспособного продукта н каждом этапе разработки;
- итерационная разработка: каждая новая версия продукта основывается на фасилитации результата работы предыдущей версии заказчиком и разработчиком;
- модульность разработки, в том числе использование готовых модулей и возможность быстрого добавления новых;
- сплоченный коллектив разработчиков, хорошо организованные и выстроенные коммуникации внутри команды;
- использование современных принципов управления проектами.

К числу наиболее распространённых моделей жизненного цикла разработки ПО относятся:

- каскадная модель («водопад»);
- RUP;
- RAD;
- SDL.

A. Каскадная модель (Waterfall Model)

— это модель процесса разработки ПО, в рамках которой процесс разработки представлен как последовательность следующих фаз разработки ПО: фазы анализа требований, проектирования, реализации, тестирования, интеграции и поддержки.

Важно подчеркнуть, что при использовании данной модели не используется обратная связь от заказчика, что является неотъемлемой частью разработки ПО.

B. RUP (Rational Unified Process)

— это методология разработки ПО, в основе которой лежат следующие принципы:

- раннее обнаружение и непрерывное (до окончания проекта) устранение основных рисков;
- основное внимание на проработке бизнес-требований заказчика и их выполнение (анализ и построение диаграммы классов, диаграммы компонентов, модели вариантов использования);
- работа с обратной связью от заказчика с целью изменения требований, проектных решений и дальнейшей реализации в процессе разработки;
- модульная архитектура построения ПО;
- постоянное обеспечение качества на всех этапах разработки проекта (продукта);
- ключевая роль в команде разработчиков отводится архитекторам проекта.

C. RAD (Rapid Application Development)

— это концепция создания средств разработки программных продуктов, уделяющая особое внимание обеспечению технологического процесса, позволяющего разработчику максимально быстро создавать программные продукты.

Принципы RAD технологии направлены на обеспечение трёх основных её преимуществ:

- высокая скорость;
- низкая стоимость;
- высокое качество.

D. Методика разработки защищённого ПО «SDL»

SDL (Security Development Lifecycle) – это методика разработки безопасных (защищённых) программных продуктов, основанная на базе модели RAD и позволяющая убедиться в обеспечении необходимого уровня безопасности. Одним из важных преимуществ SDL является выделение особого внимания на обучение и подготовку команды разработчиков. Основное отличие SDL от других методик – это подготовка отчетности и действия, связанные непосредственно с анализом безопасности разрабатываемой системы и внедрением механизмов, направленных на улучшение безопасности.

II. Разработка защищённого программного обеспечения в России

В 2016 году в России вышел ГОСТ Р 56939-2016 «Разработка безопасного программного обеспечения».

Стандарт устанавливает общие требования к содержанию и порядку выполнения работ, связанных созданием защищенного программного обеспечения и формированием (поддержанием) среды обеспечения оперативного устранения выявленных пользователями ошибок программного обеспечения и уязвимостей программы. Государственный стандарт [2] предназначен для разработчиков и производителей ПО, а также для организаций, выполняющих оценку соответствия процесса разработки ПО требованиям безопасности.

В состав основных мероприятий, направленных на обеспечение разработки защищённого ПО в соответствии с требованиями государственного стандарта [3], входят:

1) Непрерывная работа (ананлиз, тестирование на соответствие) с требованиями к разрабатываемому ПО

2) Проектирование архитектуры (в том числе моделирование угроз и разработка проекта архитектуры ПО)

3) Укрупненное рассмотрение исходного кода, в которое входит:

- описание инструментальных средств;
- оформление исходного кода;
- проведение статического анализа исходного кода.

4) Выполнении квалификационного тестирования ПО, в т.ч.:

- функционального тестировании;
- тестировании на проникновение;
- динамического анализа кода;
- фазинг тестирования.

5) Выполнение установки и сопровождения приёмки ПО, в т.ч.:

- проработка вопросов защиты целостности ПО в процессе передачи заказчику;
- описание порядка поставки заказчику эксплуатационной документации.

6) Разработка принципов решения проблем в ПО в процессе использования на объекте, в т.ч.:

- описание порядка отслеживания и исправления ошибок и уязвимостей ПО в процессе эксплуатации;
- описание порядка систематического поиска уязвимостей.

7) Менеджмент документацией и конфигурацией программы, в т.ч.:

- описание порядка уникальной маркировки каждой версии ПО;
- описание порядок управления конфигурацией ПО.

8) Менеджмент инфраструктурой среды разработки ПО:

- описание порядка защиты от фактов несанкционированного доступа к элементам конфигурации инфраструктуры среды разработки;
- описание порядка резервного копирования элементов конфигурации инфраструктуры среды разработки;
- описание порядка регистрации событий, связанных с фактами изменения элементов конфигурации инфраструктуры среды разработки.

9) Менеджмент людскими ресурсами, в т. ч.:

- периодическое обучение сотрудников разработчика ПО;
- периодический анализ программы обучения сотрудников.

III. Технология разработки ПО информационной системы передачи мультимедийных данных

В качестве примера рассмотрим процесс разработки программного обеспечения и проектной документации информационной системы передачи мультимедийных данных в открытом и защищенном сегменте. Разрабатываемое ПО планируется устанавливать на терминальные и серверные устройства на подводных лодках и надводных кораблях с целью предоставления пользователям услуг, связанных с обменом информацией, ее потреблением, обработкой, хранением и накоплением. Учитывая данный факт, необходимо обеспечить безопасность самого процесса разработки ПО.

Основываясь на проведенном анализе подходов к разработке ПО и имеющимся требованиям, был разработан цикл безопасной разработки программного обеспечения. Цикл безопасной разработки – это подход к

предоставлению гарантий безопасности разрабатываемого программного обеспечения, дополняющий все фазы процесса разработки подходами к обеспечению безопасности информации.

Цикл безопасной разработки, адаптированный под разработку информационной системы передачи мультимедийных данных в открытом и защищенном сегменте, включает в свой состав следующие основные фазы разработки программного обеспечения:

- бизнес-анализ и формирование требований заказчика, плотная работа с заказчиком на всех этапах разработки;
- анализ решений по архитектуре построения информационной системы;
- проектирование информационной системы;
- разработка информационной системы;
- тестирование информационной системы;
- эксплуатация информационной системы.

При разработке ПО используется методика разработки защищённого программного обеспечения, получившая название цикл безопасной разработки (ЦБР). ЦБР – это методика разработки безопасных (защищённых) программных продуктов, основанная на базе модели быстрой разработки приложений и позволяющая убедиться в обеспечении необходимого уровня безопасности. ЦБР базируется на основе практик направленных на автоматизацию процесса разработки, обучение команды, подготовку отчетности и непосредственные действия связанные с анализом безопасности разрабатываемой системы и имплементацией механизмов, направленных на улучшение безопасности и качества разрабатываемого ПО.

На стадиях цикла непрерывной разработки ПО используются различные программные средства для автоматизации и исключения ошибок в рутинных процессах разработки.

На начальных стадиях разработки для описания требований к программному продукту, а также для анализа решений по проектированию применяется система управления проектами Redmine. В системе управления проектами производится описание планов, постановка задач и целей проектирования, учет выполнения заданий группами разработчиков, отслеживание ошибок, а также хранение информационной базы знаний.

Разработанные коды программ централизованно хранятся в репозитории хранилища исходных кодов (система хранения дистрибутивов). Система непрерывной интеграции исходного кода автоматически собирает дистрибутивы программ, производит автоматическое интеграционное тестирование.

На этапе разработки группой разработчиков используется программное обеспечение для автоматизации развёртывания и управления приложениями в среде виртуализации на уровне операционной системы, в котором автоматизированно можно для разных операционных систем собирать и тестировать программный код на одной машине.

На этапе тестирования программного продукта группой тестировщиков применяется автоматическое создание тестов, аналитических отчетов по тестированию, разрабатывается система автоматического тестирования.

Для автоматизации настройки и развертывания программного обеспечения применяется система управления конфигурациями Ansible, так же имеющая автоматизированный доступ к системе автоматической сборки программного кода и системе версионного контроля.

При создании программной документации используется технология DocBook, дополненная разработанными скриптами преобразования документов в соответствии с ГОСТами разработки программной документации. Данный подход позволяет автоматизировать процесс разработки документации и приводит к наименьшему количеству ошибок и неточностей.

Описанный процесс разработки ПО представлен на рис. 1.

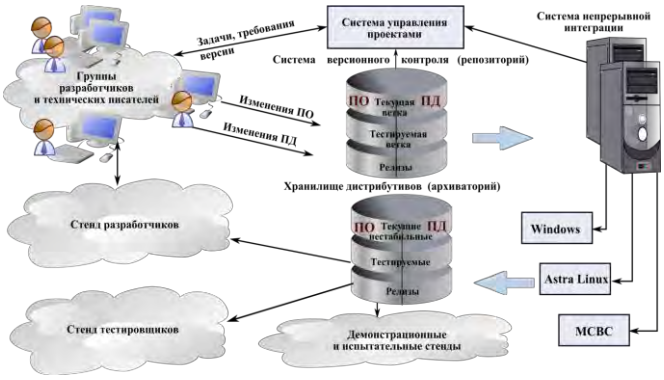


Рис. 1. Процесс разработки ПО

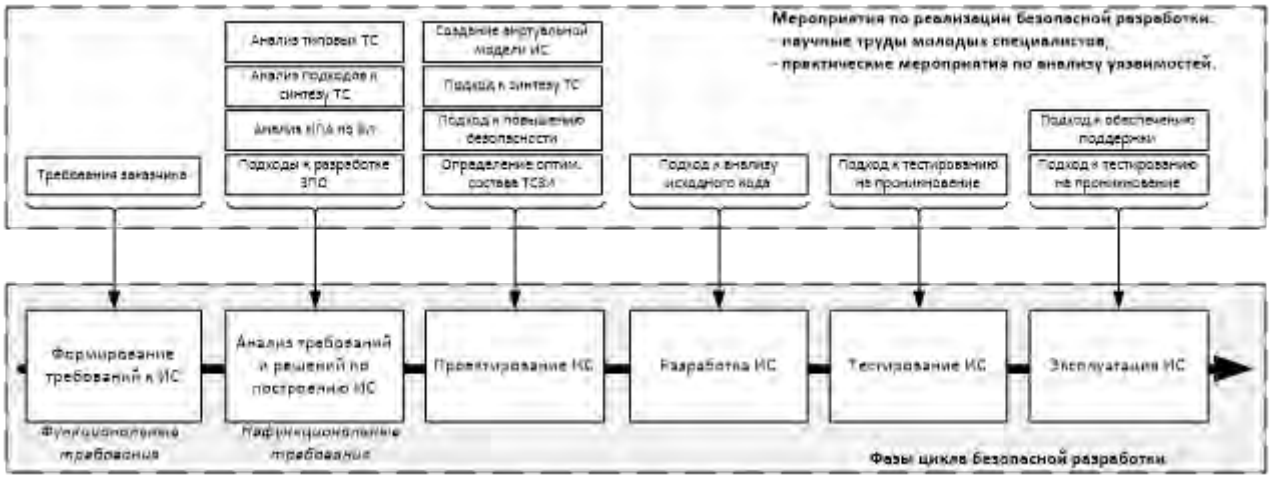


Рис. 2. Цикл безопасной разработки

При работе с новыми сотрудниками для скорейшего введения их в процесс разработки используется современная четырехступенчатая технология обучения в промышленности TWI, позволяющая сократить срок адаптации новых сотрудников до четырех месяцев.

Используемая методика разработки безопасного ПО (рис. 2) позволяет автоматизировать основные этапы создания конечного программного продукта и обеспечить его необходимым качеством при сокращении сроков разработки. Таким образом обеспечение безопасности происходит на каждом этапе разработки ПО, что гарантирует обеспечение безопасности всего подхода к разработке ПО.

IV. Заключение

В статье представлен анализ современных подходов к проектированию и разработке ПО, требования по безопасности к разрабатываемому ПО. На основе проведенного анализа был сделан вывод о необходимости создания своего подхода к обеспечению разработки безопасного программного обеспечения. В статье был представлен и описан цикл безопасной разработки, применяемый при разработке ПО информационной системы передачи мультимедийных данных. ЦБР применим как при разработке изделий гражданского назначения, так и военного и специального назначения.

Применение ЦБР позволит:

- повысить защищённость информации, для обработки которой предназначены разрабатываемые отечественными предприятиями изделия;
- повысить качество разрабатываемой предприятиями изделий за счет повышения отказоустойчивости;
- использовать факт применения безопасной разработки как конкурентное преимущество при привлечении потенциальных заказчиков.

Список литературы

[1] Таненбаум Э. Архитектура компьютера. 5-е изд. СПб.: 2007. 844 с.

[2] ГОСТ Р 51275-2006 «Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения»

[3] ГОСТ Р 56939-2016 «Разработка безопасного программного обеспечения»

Применение методов бережливого производства для управления машиностроительным предприятием

В. Ю. Плонский[1], Т. Б. Чистякова[2]
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
[1]vplonskiy@gmail.com, [2]chistb@mail.ru

***Аннотация*. Представлена функциональная структура автоматизированной информационной системы оперативного управления на основе электронных карточек «канбан» в составе бережливого производства. Выполнена программная реализация алгоритма циркуляции карточек «канбан» на примере предприятия по сборке дизелей. Программное обеспечение для управления производственным процессом разработано на платформе 1С:Предприятие.**

Ключевые слова: бережливое производство, канбан, вытягивающая система управления, визуальное управление, машиностроение

I. Введение

Машиностроение является ведущей отраслью материального производства, обеспечивая оборудованием все другие отрасли. Машиностроительный комплекс имеет самый сложный межотраслевой состав, отличается трудоемкостью, энергоемкостью и наукоемкостью продукции, для него характерны многономенклатурность, многодетальность, длительный цикл изготовления продукции. Поэтому для предприятий машиностроения актуальной задачей является внедрение методик бережливого производства [1]. Одним из важных инструментов бережливого производства является применение концепции «точно-во-время» (Just-in-time, JIT). Системы оперативного управления, построенные по этой концепции, обеспечивают регулярное поступление компонентов на производственные места точно в соответствии с возникающей потребностью (по времени и количеству с поправкой на допустимые размеры партии) [2]. Это позволит минимизировать запасы незавершенного производства (НЗП), сократить длительность производственного цикла, уменьшить потребность в складских и производственных площадях, повысить рациональность использования уникального оборудования.

При внедрении методик JIT на предприятии, оптимизация структуры производственного процесса должна сопровождается введением в эксплуатацию ИС, решающих задачу координации работ смежных участков, цехов и обеспечивающих подразделений. Одним из подходов к созданию систем JIT является реализация метода управления «канбан», который, в исходном «классическом» варианте предусматривает передачу информации о потребностях по маршруту сборки продукции в виде сигнальных карточек (канбан) [3].

Канбан, независимо от способа реализации, выполняет на производстве две командообразующие функции: производственные участки получают указания на производство и перемещение продукции [4]. Как система оперативного производственного управления канбан улучшает показатели эффективности по следующим направлениям: снижение перепроизводства; уменьшение времени реакции на спрос; координация выпуска продукции малыми партиями; упрощение процесса снабжения; интеграция производственных процессов и привязка к потребностям потребителя [5].

Так как форма карточек канбан вторична по отношению к самому принципу снабжения производственных подразделений предметами труда, возможным способом организации информационных потоков является реализация карточек в виде программных объектов. При этом могут быть сохранены классификационные и содержательные атрибуты как физических носителей (канбан), так и организационно-технических средств (накопители канбан). В программной реализации они заменяются информационными объектами с соответствующей маршрутизацией. Необходимым условием такой замены является управление процессами циркуляции карточек в системе. При этом канбаны могут находиться в нескольких состояниях, например, как представлено на диаграмме состояний на рис. 1 [6].

Рис. 1. Диаграмма состояний объекта «канбан»

II. Постановка задачи

Решаемая задача: разработать информационную систему (ИС), построенную для вытягивающей системы производства, на основе программной реализации циркуляции карточек канбан для предприятия машиностроения на примере сборки дизелей.

Одновременно решаются две сопутствующие подзадачи: расчет оптимального количества карточек (точнее их аналогов) и выравнивание нагрузки в производственной системе. Также должно быть учтено «концептуальное» ограничение исходной «классической» схемы – принцип визуального управления, обеспечивающий прозрачность производственного процесса с точностью до детали и операции [7].

III. Характеристика машиностроительного производства

Процесс сборки изделия состоит из нескольких десятков последовательных операций. Изделие в процессе своей сборки движется последовательно от одной производственной операции к другой – горизонтальное движение материального потока. В результате выполнения каждой из операции, расходуется номенклатура (узлы, детали, материалы). Запас этой номенклатуры необходимо всегда пополнять именно в том количестве, в котором она была изъята. Пополнение этого запаса может происходить как со складов предприятия – если номенклатура закупаемая, или из цехов предприятия, если эта номенклатура своего производства – вертикальное движение материального потока. В свою очередь, на производственных участках, с которых происходит изъятия номенклатуры, должны восполнить потери, именно в том количестве, в котором эту номенклатуру изъяли. Всю производственную линию запускает производственный заказ, в котором указывается, какую номенклатуру, в каком количестве и какой спецификации нужно воспроизвести, чтобы восполнить её запас. На рис. 2 схематично представлены материальные и информационные потоки на производственной линии.

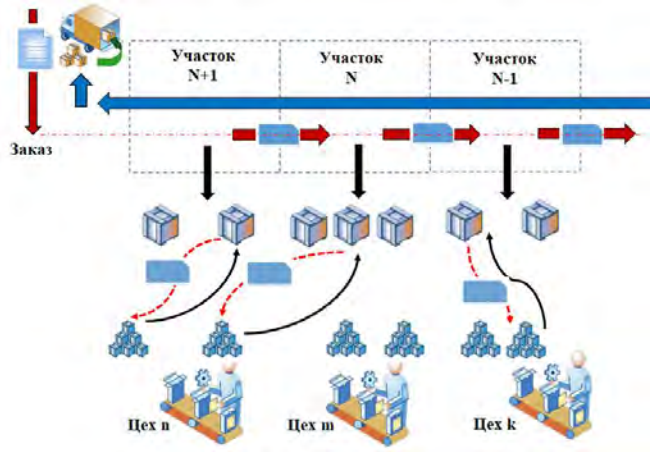


Рис. 2. Схема производственной линии

Движение карточек канбан происходит по двум направлениям – горизонтальное перемещение (непосредственно для сборочной линии) и вертикальное, для пополнения запасов израсходованной номенклатуры в результате выполнения производственной операции. В горизонтальном информационном потоке участвуют канбаны производства, а в вертикальном канбаны отбора.

IV. Функциональная структура

Информационное обеспечение представляет собой базу данных, содержащую нормативно-справочную информацию (НСИ) о номенклатуре, производственной структуре и объектах, моделирующих вытягивающий тип производства.

Информация базы данных (БД) используется алгоритмическим обеспечением четырёх подсистем: оперативного планирования, настройки, циркуляции и выравнивания (рис. 3).

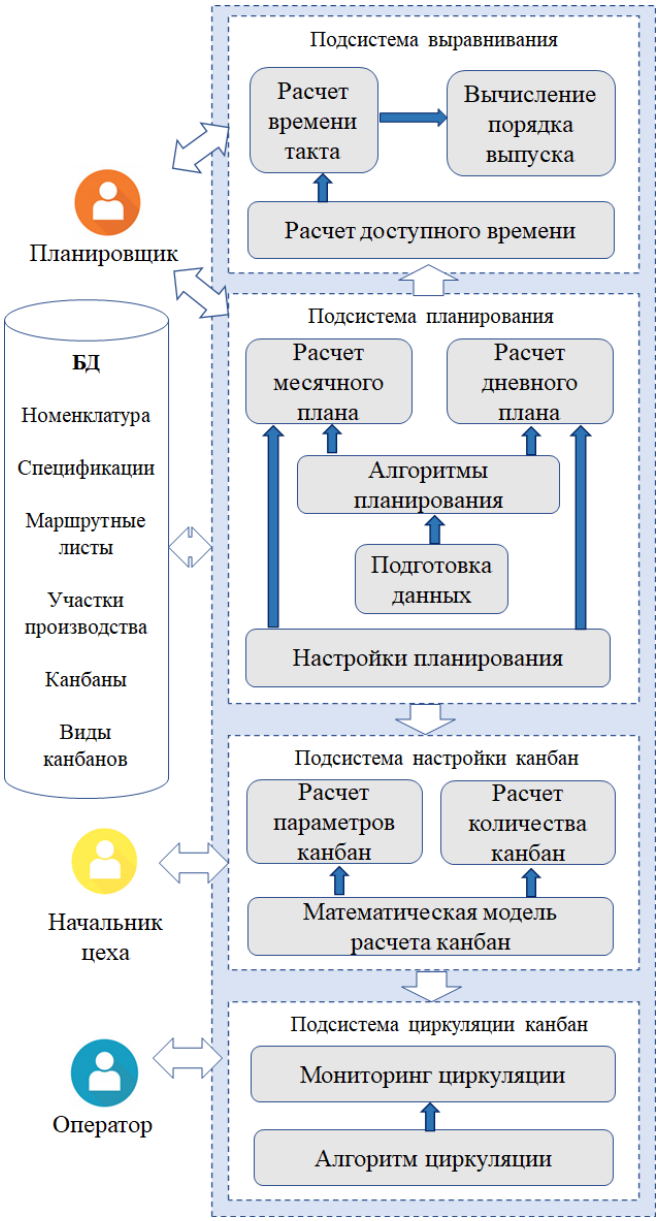


Рис. 3. Функциональная структура комплекса

Используя данные показатели планирования, система позволяет определить порядок выпуска продукции в течении дня и настроить автоматический запуск производственных заданий в определённый момент времени. Подсистема планирования оперирует двумя видами документов: дневной и месячный план.

В системе реализован алгоритм циркуляции карточек канбан, показанный в виде UML-диаграммы деятельности на рис. 4.

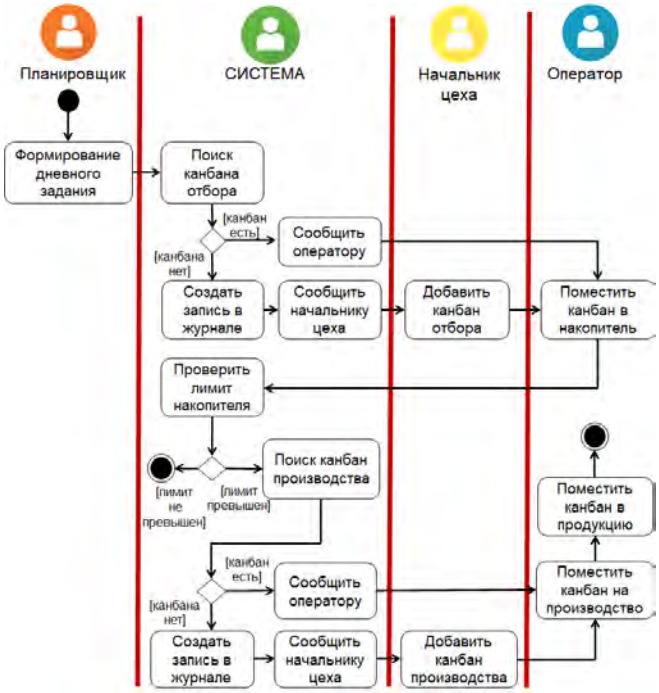


Рис. 4. Алгоритм циркуляции

Масштабы использования в российской промышленности тиражного и отраслевого программного обеспечения, построенного на платформе 1С (85 % АРМов, 1,5 миллиона предприятий, 6 миллионов пользователей), позволили выбрать её в качестве инструментальной среды для разработки.

Для управления потоком карточек канбан создан регистр накопления «Накопитель канбанов». Встроенный функционал данного вида объекта конфигурации 1С позволяет «естественным» образом моделировать физический компонент производственной системы – накопитель канбанов. Текущее положение канбан фиксируется в регистре сведений «Место положения канбан».

Механизм системы компоновки данных платформы 1С:Предприятие упрощает получение отчётной информации о расположении карточек канбан, их наличии и состоянии. Этот же механизм обеспечивает оперативную адаптацию структуры отчетов под текущие потребности пользователей.

V. Тестирование программного обеспечения

Тестирование программного комплекса проводилось на примере сборочного производства дизелей по следующем сценарию [8].

Менеджером планового отдела в конце предыдущего планового периода был введен документ «месячный план» согласно планируемой потребности в номенклатуре на текущей период. Из документа «месячный план» системой был сформирован ежедневный план-график на текущий месяц. Дневной план служит для ежедневного планирования и может неоднократно редактироваться в течении месяца. Также были получены: время такта по каждой позиции номенклатуры и общее время такта. Для оперативного управления производством создается документ «Заказ на производство». Назначение данного документа – оперативное управление процессом сборки дизелей. В соответствии с текущей производственной ситуацией менеджер планового отдела может внести коррективы в этот документ.

После формирования документа «Заказ на производство» он проводится с получением предложений подсистемы выравнивания производства (модель «ящик хейдзунка»).

Важной особенностью «бережливого производства» является выравнивание нагрузки. Уравнивание объёмов и видов продукции, выпускаемой на линии, позволяет распределить выполнение заказов так, чтобы смягчить колебания спроса и в тоже время выполнить заказ к сроку, избежав перепроизводства. Выравнивание производства проходит в 4 этапа (на примере сборки дизелей марок: «А», «В» и «С»):

1) Анализ производственного плана. График отображает готовые изделия по периоду времени и количеству. Он составляется из текущих и прогнозируемых заказов в пределах ограниченной мощности. Например, по производственному план-графику было запланировано произвести 80 штук дизелей «А», 60 штук дизелей «В» и 40 дизелей «С».

2) Сглаживание нагрузки – это метод обработки ежедневного производственного графика, сглаживающего пики в общем количестве конечной продукции, которая должна выпускаться каждый день.

В табл. 1 показан сбалансированный график на каждый день, исходя из составленного производственного плана-графика.

ТАБЛИЦА I Планируемые выпуски

Марка дизеля	Показатели планирования		
	Планируемое количество в месяц, шт	*Количество дней в месяце,*	*Количество изделий ежедневно, шт*
«А»	80	20	4
«В»	60	20	3
«С»	40	20	2

3) Планирование последовательности выпуска продукции – метод усовершенствования ежедневного графика производства путём установления порядка, в котором продукция будет выпускаться. Цель – получение линейного циклического характера спроса в течение каждого дня. Создание упорядоченного графика состоит из четырёх шагов: определение доступного производственного времени, расчет времени такта, определение наименьшего общего знаменателя для времени такта по каждому виду продукции, установка порядка выпуска продукции, например:

Доступное производственное время – 480 минут. Время такта – скорость, с которой предприятие должно выпускать продукцию для удовлетворения спроса. Определяется время такта для каждой марки дизелей и время такта для всех марок дизелей (общее время такта). В табл. 2 приведены время такта для текущего производственного плана. Общее время такта составляет 53.3 мин.

ТАБЛИЦА II Время такта

Марка дизеля	Показатели планирования		
	Рабочий день, мин	*Количество изделий в день, шт*	*Время такта по изделию, мин*
«А»	480	4	120
«В»	480	3	160
«С»	480	2	240

Установка порядка выпуска дизелей за 480-минутный интервал наиболее ритмичным способом, не превышая: 4 штуки для «А», 3 штуки для «В» и 2 штуки для «С».

Порядок выпуска изделий: А-В-А-С-А-В-А-С-В.

4) Заполнение «ящика хейдзунка». «Ящик хейдзунка» позволяет инициировать выпуск конечной продукции, используя карточки конечной сборки, в соответствии с графиком очерёдности выпуска.

В соответствии с данными регистра «Ящик хейдзунка» происходит автоматический запуск производственных заданий, по которым необходимо производить дизели указанных спецификаций в необходимом количестве. Эти задания выдаются в виде канбана отбора, а затем в виде канбана производства на соответствующих маршруту складских и производственных участках с формированием сопутствующих канбанов подходящего вида на комплектующие согласно спецификациям.

VI. Заключение

Бережливое производство содержит как концептуальную, так и прикладную составляющие. Первая направлена на сокращение потерь и совершенствование бизнес-процессов предприятия, вторая – на решение ежедневных задач цехового управления. ИТ-инструменты позволяют связать эти два направления. Тестирование разработанного информационного и программного обеспечения подтвердило возможность использования программной реализации системы канбан для предприятия машиностроительного комплекса. Внедрение такой системы позволяет повысить оперативность передачи информации между производственными подразделениями, увеличить резерв времени на переналадку оборудования, повысить адаптируемость к изменению спроса за счет коррекции количества канбан в системе.

Список литературы

[1] Реймонд Л. Система Канбан. Практические советы по разработке в условиях вашей компании. М.: Изд-во «Стандарты и качество», 2008. 216 с.

[2] Марчвински Ч., Шука Д. Иллюстрированный глоссарий по бережливому производству. М.: Альпина Бизнес Букс, 2016. 128 с.

[3] Попеско И. Канбан для рабочих. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2016. 136 с.

[4] Монден Я. «Тоёта»: Методы эффективного управления. М.: Экономика, 2015. 288 с.

[5] Хоббс Д. Внедрение бережливого производства. Практическое руководство по оптимизации бизнеса. М.: Химия, 2018. 352 с.

[6] Пестерева Е. Канбан и «точно вовремя» на Toyota: Менеджмент начинается на рабочем месте. М.: Альпина Бизнес Букс, 2017. 136 с.

[7] Вумек Джеймс П., Джонс Д. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина паблишерз, 2021. 476 с.

[8] Плонский В.Ю., Шарамонов Е.В., Чистякова Т. Б. Программный комплекс для управления бережливым сборочным производством на машиностроительном предприятии. Сборник научных трудов по материалам XI МНПК «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» (МНПК «ЛЭРЭП–11–17»), Тула: 2017, С. 110–118.

Проблемы формирования компетентностных моделей на основе ФГОС для интеллектуальных агентов в средах обучения

К. Атто

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

kareematto90@gmail.com

***Аннотация*. Переход в онлайн-среду и увеличение количества обучающихся повышают нагрузку на преподавателя, поэтому важно обеспечить автоматизацию части его функций. С точки зрения мониторинга результатов студента и выдачи рекомендаций опцией является внедрение персональных интеллектуальных агентов в систему управления обучением. Для контроля траектории обучения необходимы целевые значение, которые могут быть получены из профиля компетенций. В данном исследовании предполагается рассмотреть процесс формирования таких профилей с учетом действующих положений и структуры федеральных государственных образовательных стандартов.**

Ключевые слова: интеллектуальный агент; системы управления обучением; среда обучения, образовательные стандарты

I. Компетентностный подход в образовании

В современной отечественной педагогике высшего профессионального образования используется большое число различных подходов, лежащих в основе подготовки специалиста. Среди них как уже устоявшиеся и известные:

- знание-центристский,
- личностно ориентированный,
- системный;

так и развивающиеся, практикуемые сравнительно недавно:

- компетентностный,
- ситуационный/контекстный,
- информационный,
- эргономический.

Современное высшее образование характеризуется смещением вектора с ориентированного на знания к компетентностному подходу. Это диктуется требованиями рынка труда, когда работодатели хотят получить начинающего специалиста, которые обучен к работе на практике, соответственно в образовательный процесс закладывается идея составления его содержания, формируемого «от результата».

Компетентностный подход, конечно, не отменяет базовой теоретической подготовки, но большее внимание обращается на развитие способностей самостоятельного решения проблем в разных сферах и видах деятельности на основе использования социального опыта, элементом которого является, в том числе, и собственный опыт учащихся. Очевидно, что наиболее продуктивна будет система, в которой работодатели имеют возможность высказывать свое мнение относительно ожидаемого уровня и содержания подготовки специалиста. Это достигается как за счет партнерств предприятий и образовательных организаций, так и в ходе привлечения специалистов в качестве преподавателей.

Определимся с основными понятиями, которые определяют компетентностный подход [1]:

- *Компетенция* – сочетание знаний и способностей, которыми должен обладать специалист для получения требуемых результатов работы.
- *Компетентность* – владение знаниями и умениями, которые позволяют решать поставленные задачи профессионально грамотно, получать необходимые результаты работы.

Иными словами, компетенция – это требуемый для осуществления деятельности стандарт, а компетентность – уровень владения этим стандартом. *Ключевыми* называют компетенции, которые позволяют работнику выполнять свои профессиональные и должностные обязанности с максимальной эффективностью.

Далее компетенции могут быть объединены в единый смысловой блок, который называется кластером компетенций. Кластеры соединяются в модель компетенций – структурированный набор необходимых, идентифицируемых и измеряемых компетенций с индикаторами поведения. Индикатором поведения называют стандарты поведения, описывающие эффективные действия специалиста, обладающего конкретной компетенцией. На рис. 1 приведена схема форматно-кластерной модели компетенций.

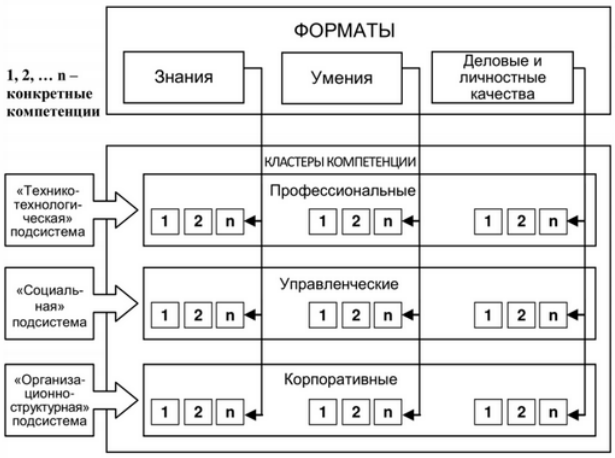


Рис. 1. Форматно-кластерная модель компетенций

С точки зрения образовательного процесса важно иметь возможность оценить компетентность специалиста, чтобы понимать степень его подготовленности к работе в реальных условиях. Это приводит к необходимости делать компетенции измеряемыми. Если мы вводим эталонные компетенции, то нужно уметь оценивать их, для того, чтобы измерить приближение рассматриваемого специалиста к ожидаемому стандарту.

Об измеряемости упомянуто, т. к. часто люди ориентируются на качества социального характера в моделях компетенций, потом это находит отражение в резюме соискателей. Например, «ответственность». Ее измерение сложно, поскольку в нем не будет объективности: можно говорить об ответственности, на примере соблюдения сроков сдачи задания. Первый специалист представляет свои разработки до обозначенного срока, но может пренебречь качеством содержания, для него важно только время сдачи, в то время как второй предоставит результат точно ко сроку, но предоставит результат работы, который будет более полон и, возможно, устроит его нанимателей в большей степени. В этой ситуации две противоположные модели поведения могут быть расценены положительно, поэтому фокус на измерении качеств характера человека не является правильным подходом с точки зрения оценки его компетентности.

II. Подходы к построению образовательных моделей и формированию требований к образовательным организациям

Исследования, в том числе на фоне пандемии COVID-19, выявили запрос к академическим программам на переориентацию представлений о целях высшего образования сосредоточиться на формировании у людей навыков для работы и жизни в том числе предложить им лучшие подходы, чтобы продемонстрировать, что они знают и умеют.

В рамках одного из таких исследований[2] произведена попытка создания комплексной глобальной модели компетенций для высших учебных заведений, основанной на текущих потребностях работодателей во всем мире. Модель должна соответствовать культурным контекстам, дисциплинам и языковым особенностям, чтобы быть применимой в разных странах. Структурированность компетенций позволила бы каждому из учебных заведений включать определенные компетенции в учебную программу, а затем оценивать и улучшать готовность своих студентов к работе до того, как они закончат учебу и станут профессиональной рабочей силой. Кроме того, результаты оценки данных, основанные на этой структуре, могут быть использованы для изменения учебной программы, чтобы гарантировать, что результаты обучения учащихся соответствуют потребностям работодателей. В ходе опросов было отмечено, что работодатели все чаще «относятся к дипломам и степеням со скептицизмом» и хотят иметь инструменты, чтобы при приеме на работу использовались иные измерения подготовки сотрудников; компетенции могут предложить подходящую альтернативу.

Исследование было проведено компанией Laureate Education, которая занимается управлением университетов в странах Европы, Северной и Южной Америки, с общим количеством студентов около 1 миллиона человек, и направлено на выявление основных общих компетенций и специфичных отраслевых, с целью адаптации образовательных программ к требованиям рынка.

Информация об исследуемых компетенциях была объединена в опросник, в котором перечислены все компетенции, а также каналы, с помощью которых каждая из компетенций может быть получена. Всего было выделено 23 компетенция, для которых были разработаны названия, определения и уровни квалификации, важность каждой из них оценивалась по шкале от 1 до 5. В рамках исследования был проведен опрос около 25 тысяч работников, по итогам которого 20 компетенций были оценены по востребованности с точки зрения работодателя в зависимости от региона, индустрии и позиции соискателя.

Результаты исследования позволили вузам, входящим в Laureate Education, опробовать механизм оценки компетенций, оценки соответствия образовательных программ ожиданиям и привёл к началу процесса их актуализации. Метод прямого опроса предприятий-партнёров позволил в сжатые сроки (около 6 месяцев) выстроить сам процесс, поэтому актуализация и повторные опросы должны занять меньше времени. При этом нужно понимать, что результаты, полученные в ходе исследования будут наиболее актуальны именно в тех регионах, работодатели из которых принимали участие и для адаптации результатов потребуется провести сходное исследование в целевой среде.

III. Компетентностный подход в российском образовании

Структуру[3] и содержание программ высшего образования в РФ определяют федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) – это совокупность требований, обязательных при реализации основных образовательных программ начального общего, основного общего, среднего (полного) общего, начального профессионального, среднего профессионального и высшего профессионального образования образовательными учреждениями, имеющими государственную аккредитацию. Федеральные государственные образовательные стандарты обеспечивают:

- единство образовательного пространства Российской Федерации;
- преемственность основных образовательных программ начального общего, основного общего, среднего (полного) общего, начального профессионального, среднего профессионального и высшего профессионального образования.

Каждый стандарт включает 3 вида требований:

- требования к структуре основных образовательных программ, в том числе требования к соотношению частей основной образовательной программы и их объёму, а также к соотношению обязательной части основной образовательной программы и части, формируемой участниками образовательного процесса;
- требования к условиям реализации основных образовательных программ, в том числе кадровым, финансовым, материально-техническим и иным условиям;

- требования к результатам освоения основных образовательных программ.

Рассмотрим процесс формирования профиля компетенции на примере условного стандарта, состоящего из 3х компетенций (К1, К2, К3). Предположим, что компетенции и изучаемые дисциплины связаны следующим образом:

ТАБЛИЦА I ЗАВИСИМОСТЬ АКАДЕМИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН И СВЯЗАННЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

Дисциплина	*Связанная компетенция*	*Количество зачетных единиц*
Д1	К1	3 з.е
Д2	К2	5 з.е.
Д2	К3	3 з.е.
Д3	К3	5 з.е.

Далее вводится шкала соответствия оценки и компетентности (освоенности учебного плана).

ТАБЛИЦА II СООТВЕТСТВИЕ ОЦЕНКИ И УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ

Итоговая оценка	*Уровень компетентности*
удовлитворительно	50%
хорошо	75%
отлично	100%

На основании показателей таблиц 1 и 2 и оценок обучающегося строится профиль компетентности по каждой дисциплине:

ТАБЛИЦА III ПРОФИЛЬ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНАМ

Дисципл ина	*Связанная компетенция*	*Кол-во зачетных единиц*	*Оценка*	*Компетентнос ть (в пересчете на з.е.)*
Д1	К1	3 з.е	отл.	3
Д2	К2	5 з.е.	хор	3,75
Д2	К3	3 з.е.		2,25
Д3	К3	5 з.е.	уд.	2,5

Профили компетентности по дисциплинам объединяются в итоговый:

ТАБЛИЦА IV ИТОГОВЫЙ ПРОФИЛЬ КОМПЕТЕНТНОСТИ

Компетенция	*Максимальн ое кол-во з.е.*	*Полученное кол-во з.е.*	*Компетентность*
К1	3 з.е	3.	1
К2	5 з.е.	3,75	0,75
К3	8 з.е.	4,75	0,594

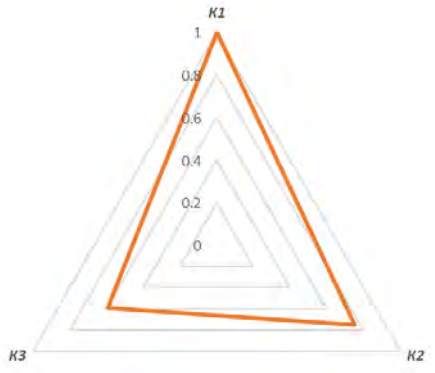


Рис. 2. Визуализация профиля компетентности

Стоит отметить, что показатели таблицы 2 могут быть индивидуальны по каждой дисциплине или конкретной компетенции.

Получаемый профиль позволяет оценивать студента, как специалиста и сравнивать обучающихся между собой. В процессе расчетов могут накладываться дополнительные условия (например минимальные уровни компетентности, требуемые для завершения программы обучения), кроме того, большей проработанности требует перечень профессиональных стандартов, соответствующих профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу по направлению подготовки, который содержится в каждом ФГОС: специальности только перечислены, не хватает измеримых показателей соответствия, т. к. очевидно, что специалист с более высоким уровнем обученности специализированной профессиональной компетенции будет больше подходить требованиям этих стандартов. При этом профиль компетенции не должен восприниматься как абсолютный показатель, но может учитываться в процессе подбора персонала для более точного подбора кадров благодаря своей измеряемости и структурированности.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно отметить, что возможности компетентностного подхода показывают его гибким инструментом для оценивания способностей учащихся, также немаловажно, что при этом сохраняется измеряемость знаний. В ближайшем будущем такой принцип будет являться основным в высшем образовании, потому что, в первую очередь, целью ВПО является воспитание кадров для трудовой деятельности. На основе профилей компетентности легко строить логику интеллектуальных агентов, которые позволяют отслеживать успеваемость обучающегося и корректировать траекторию обучения путём выдачи рекомендаций в системе управления обучением.

Российская система высшего образования уже несколько лет ориентирована на компетентностный подход. Федеральные стандарты высшего образования закрепляют набор компетенций, свойственных для специалиста, кроме того обозначен круг дисциплин, которые могут быть использованы для её получения. Это значительно облегчает построение компетентностной модели, т. к. конечный профиль основывается на ФГОС, а каждая образовательная организация ответственна за формирование зависимости между тем, какие академические дисциплины участвуют в формировании этого профиля.

Вместе с тем, высокие требования к составу образовательных программ влияют на гибкость и скорость отклика на запросы работодателей – поскольку образовательная организация должна соответствовать требованиям ФГОС, корректирование модели компетенций должно быть подкреплено соответствующими изменениями в самом стандарте и наборе академических дисциплин. С учетом аккредитаций учебных заведений раз в 3–5 лет может возникнуть ситуация, что профиль компетенций актуален несколько лет, но когда его содержание перестает соответствовать ожиданиям, то на актуализацию может потребоваться срок до двух лет, с учетом времени на овладевание специалистами соответствующей компетенцией.

В связи с этим можно говорить, что главной задачей в российском образовании для успешного обучения кадров для рынка труда является обнаружение новых тенденций на раннем этапе, чтобы вопросы внедрения их изучения

в рамках образовательного процесса решались как можно раньше. Для этого должны быть налажены тесные связи между работодателями и вузами: работодатели имеют возможность внести свои предложения относительно компетенций кандидатов, в образовательный процесс вовлекаются действующие специалисты, кроме того создаваемые ассоциации, такие как инновационные территориальные кластеры должны давать возможность взаимодействия для как можно большего числа образовательных организаций для актуализации общего уровня вузов.

Список литературы

[1] Сыманюк Э.Э., Шемятихина Л.Ю., Синякова М.Г., Компетентностный подход в подготовке отраслевых специалистов // Фундаментальные исследования. 2009. № 5. С. 141-146

[2] Strong M., Burkholder G., Solberg E., Stellmack A., Presson W., Seitz J.B. Development and Validation of a Global Competency Framework for Preparing New Graduates for Early Career Professional Roles // Higher Learning Research Communications, 2020, Volume 10, Issue 2, C. 67–115. DOI: 10.18870/hlrc.v10i2.1205

[3] Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 30.12.2021) «Об образовании в Российской Федерации» (URL: https://base.garant.ru/10164235/e88847e78ccd9fdb54482c7fa15982bf/, дата обращения: 25.01.2022)

Междисциплинарная интеграция в проектном компоненте образовательного процесса на основе VR-технологий

Е. В. Гунина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
e.v.gunina@yandex.ru

А. В. Федорова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
fav111@yandex.ru

В. Л. Литвинов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
vlad.litvinov61@gmail.com

Я. В. Федоров
ООО «Сберобразование»
yarfed@yandex.ru

А. А. Шиян
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
1001digit@gmail.com

Аннотация. **Включение междисциплинарной интеграции в процесс создания проекта способствует формированию профессиональных компетенций. Главными преимуществами проектной деятельности обучающихся в вузе является ее исследовательский и межпредметный характер, а также приближенность к специфике будущей профессиональной деятельности. Благодаря новым информационным технологиям, и в первую очередь, технологиям VR (виртуальной реальности), упрощается процесс представления самого проекта или исследования и их результатов. Технологии виртуальной реальности помогают в решении задачи максимального приближения к реальным условиям. Они обеспечивают эффект полного или частичного присутствия в альтернативном пространстве. Используя данные современные технологии при разработке проектов в образовательной среде, студенты смогут продемонстрировать свои достижения в ситуациях, которые максимально приближены к выполнению реальных рабочих задач. Кроме того, предлагаемая инновационная методика, обеспечит возможность качественного тестирования и применения результатов исследования в образовательных процессах.**

Ключевые слова: проектная деятельность, практико-ориентированная направленность в работе, результаты исследований, реальные условия, альтернативное пространство, технологии виртуальной реальности

I. Введение

В современном мире все больше требований предъявляется к результатам образования. Мониторинг рынка труда позволяет сделать выводы, что при приеме на работу решающими будут навыки профессиональной деятельности, а не диплом выпускника [1]. Современные стандарты высшего образования направлены на качественно новое содержание образования и, главное, образовательный результат. В итоге освоения программы выпускники должны быть способны анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями; применять на практике новые научные принципы и методы исследований. Следует отметить, что обучающиеся должны уметь управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла; организовывать и руководить работой команды, разрабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели. Такое направление в образовании на всех уровнях предполагает поиск новых инновационных подходов к педагогической деятельности.

II. Междисциплинарная интеграция в проектном компоненте

Среди предлагаемых педагогических подходов продолжает лидировать проектная деятельность, которая усиливает практико-ориентированную и исследовательскую направленность в работе. Актуализировать и использовать на практике полученные знания, максимально приблизить к реальным условиям выполняемые задания – это основная цель проектной деятельности. Процесс внедрения инновационных технологий отражает полный цикл профессиональной деятельности в учебном процессе [2].

С учетом современных требований к образованию в высшей школе, и в первую очередь, к магистерским программам, их направленность на получение реального практического результата, дает понимание, что создание проекта в рамках одной дисциплины является не достаточным. Следовательно, происходит интеграция дисциплин в проекты, что развивает междисциплинарное сотрудничество. Для повышения эффективности проектной деятельности в вузе многие авторы считают необходимым привлечение работодателей к разработке тематики проектов в качестве заказчиков или консультантов [3]. Такой проект помогает формировать профессиональные компетенции, обеспечивая повышение качества профессиональной подготовки и

уровня конкурентоспособности будущих специалистов [4]. Междисциплинарная интеграция основана на взаимопроникновении содержания разных учебных дисциплин и создании единого образовательного пространства, обладающего целостным потенциалом развития с помощью использования инновационных педагогических и дидактических методов и организационных форм обучения и формирования компетенций [5].

Однако, на практике обучающиеся сталкиваются с определенными трудностями, связанными с техническими и материальными ограничениями, которые препятствуют проведению полноценного эксперимента [6]. Решением задачи максимального приближения к реальным условиям могут стать технологии виртуальной реальности. Они обеспечивают эффект полного или частичного присутствия в альтернативном пространстве и тем самым изменяют пользовательский опыт в абсолютно разных сферах.

Следует отметить, что внедрение в образовательный процесс технологий виртуальной реальности позволяет применить аутентичное оценивание результатов проекта. Магистранты демонстрируют образовательные результаты в ситуациях, которые максимально приближены к выполнению профессиональной работы.

III. Технологии виртуальной реальности в образовательном процессе

Поиск новых инновационных технологий обусловлен общей тенденцией развития высшего образования в России. В 2016 году начал действовать проект «Вузы как центры пространства создания инноваций», который был утвержден президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам [7].

Анализ официальных сайтов ВУЗов и других источников, показал активное участие российских университетов в проекте инноваций и высокую степень актуальности и востребованности в сфере высшего образования применения новейших технологий дополненной и виртуальной реальности. Одной из первых в России открылась магистерская программа по виртуальной и дополненной реальности «Game development & VR» в Дальневосточном федеральном университете (Владивосток). Основная цель программы направлена на обучение студентов разработке и внедрению программного обеспечения AR/VR технологий. В Южном федеральном университете (Ростов-на-Дону) открылась лаборатория виртуальной реальности, занимающаяся нанодиагностикой, фотоникой и квантовыми компьютерами [8]. В Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого реализуется программа «Технологии виртуального прототипирования в машиностроении». Программа Московского политехнического университета «Технологии дополненной и виртуальной реальности в печатной продукции» знакомит студентов с системами разработки приложений дополненной и виртуальной реальности. Школа дизайна НИУ ВШЭ разработала и реализует программу бакалавриата «Гейм-дизайн и виртуальная реальность». Программа готовит специалистов, способных создавать игры в виртуальной реальности. В Российском государственном профессионально-педагогическом университете (Екатеринбург) открыта программа бакалавриата «Фотоискусство и дизайн виртуальной среды».

В 2018 году были открыты еще четыре программы магистратуры, посвященные виртуальной реальности:

- технология виртуального инжиниринга, СПбПУ Петра Великого;
- информационные системы на основе технологий дополненной и виртуальной реальности, ЮФУ, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности;
- технологии виртуальной и дополненной реальности VR/AR, ДВФУ, Школа цифровой экономики;
- виртуальная/дополненная реальность и машинное обучение, ДВФУ, Школа естественных наук [9].

Кроме того, сегодня предлагают широкий выбор курсов по созданию приложений VR, с возможностью знакомства с физическими принципами виртуальной реальности и применения полученных знаний для создания удобного высокопроизводительного приложения виртуальной реальности с использованием Unity.

Исследования научных статей российских и зарубежных авторов по теме VR технологий в образовании показали разнообразие взглядов на проблему внедрения данных технологий в процесс образования. Иванько А.Ф. и др. предлагают использование виртуальных технологий в качестве дополнения к обычному лекционному материалу с 5–7 минутным погружением в виртуальный мир [10]. Авторы статьи «Анализ перспектив использования технологий виртуальной реальности в дистанционном обучении» обращаются к теме использования компьютеров и человеко-машинного интерфейса для создания эффекта трехмерного окружения, в котором пользователь в интерактивном режиме взаимодействует с виртуальными объектами, и при этом, создается ощущение трехмерного присутствия [11]. Корнилов Ю.В. в своей статье проводит серьезный анализ литературы, посвященной теме иммерсивных технологий и особенности использования виртуальной реальности, на основе которого делает вывод, что иммерсивные технологии в образовании усиливают значение наглядных средств в процессе усвоения знаний за счет глубокого погружения в виртуальную среду [12]. Предлагается использование виртуальных технологий в качестве дополнения к обычному лекционному материалу, что модернизирует процесс обучения, при этом лекция не теряет своей функции структурообразующего элемента [13].

Ряд авторов предлагают использовать VR технологии при выполнении лабораторных работ, когда студентам необходимо или воспроизвести эксперимент с настройками определенных параметров, или внести изменения в модель для решения поставленных задач [14]. Варианты использования иммерсивных технологий в обучении рассмотрены в трудах зарубежных авторов [15, 16]. В своих исследованиях авторы приводят пример кейса «Обучение дизайну» с использованием дополненной реальности в изобразительном искусстве [17]. Многие авторы в своих трудах отмечают, что использование иммерсивных технологий обогащает процесс обучения и улучшает качество образования [18]. Широкое применение технологии виртуальной реальности получили в различных видах спорта при

проведении онлайн-тренировок [19]. Зарубежные авторы представляют исследование различных уровней виртуального погружения и их влияние на процесс выполнения технических задач [20].

Для работы в сфере дизайна, а именно планирования пространства и просмотра проектов в реальном режиме, предлагается работа с новейшим устройством смешанной реальности HoloLens, которое сочетается с программным обеспечением Unity [21]. Unity3D позволяет создавать приложения, работающие с более чем двадцатью различными операционными системами, которые включают персональные компьютеры, игровые консоли, мобильные устройства, интернет-приложения и другие [22].

IV. Организация проектной деятельности

Благодаря новым компьютерным технологиям, и в первую очередь технологиям VR, представление проекта или исследования становиться более легкой задачей. Важно отметить, что в процессе создания проекта в виртуальной реальности обучающийся может не бояться совершения ошибок, поскольку существует возможность корректировка полученного результата, что позволяет избежать ограничений, связанных с доступностью оборудования, высокой стоимостью выполнения работ и другое. Организация проектной деятельности с обязательным включением основных компонентов VR технологий, предусматривающих их использование для представления конечного результата проекта в реальной среде, создает новый подход в образовательном процессе. VR технологии рассматриваются не как интерактивный элемент обучения на занятиях, а как некая виртуальная среда для представления исследовательских работ в реальном пространстве. Такое видение предполагает наличие эффективных организационно-педагогических условий в проектном компоненте образовательного процесса (рис. 1).

Организационные условия предъявляют требования к среде и ее компонентам, в которой будет реализована проектная деятельность. К организационным условиям относится технологическая готовность образовательного учреждения и субъектов образовательного процесса (преподавателей и магистрантов) к разработке и выполнению проекта.

Следовательно, для обеспечения мотивации обучающихся, активизации их деятельности и осознанного понимания конечного результата требуется решить следующие задачи:

- использовать проектную деятельность, как инновационную технологию в образовании;
- создать условия для взаимопроникновения содержания разных учебных дисциплин в реализацию проекта;
- приобрести навыки работы с использованием различных инструментов VR технологий для разработки 3D-пространства;
- применить VR технологии, позволяющие максимально приблизить выполняемые задания к реальным условиям.

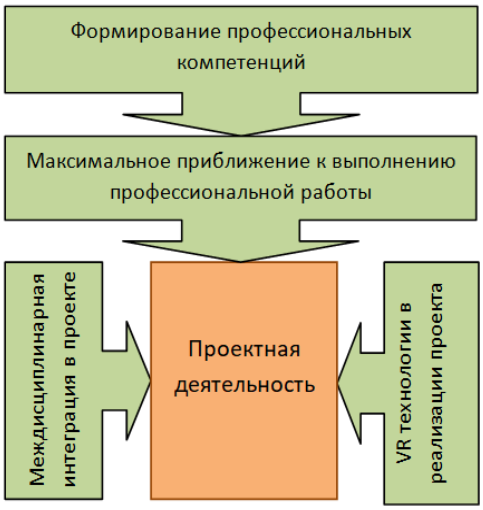


Рис. 1. Схема процессов в проектной деятельности

Особенностью эффективных организационно-педагогических условий является их междисциплинарная интеграция, что определяет основные этапы проектного компонента. Подготовительный этап включает формирование команды участников проекта; знакомство с целью и задачами проекта и его основными этапами; создание группы в социальной сети ВКонтакте, информирующей о ходе проекта; выдача технического задания проекта. В качестве объекта для проектной деятельности было выбрано задание по созданию социального плаката.

Далее проект можно поделить на четыре основных этапа (рис. 2).

На первом этапе проводятся исследовательские работы в рамках дисциплины «Методология оценки цветовых характеристик в дизайне»:

- маркетинговые исследования рынка социальных плакатов;
- исследования популярных трендов в решении плаката;
- исследования цветовых характеристик и особенностей восприятия цвета в пространстве.

На втором этапе выполняется творческое задание – создание плаката на заданную тему. Завершением этого этапа является подведение итогов в виде отчета по результатам конкурса-выставки в соответствии с установленными критериями и публикация лучших плакатов в университетской газете.

На третьем этапе в рамках дисциплины «Информационные технологии визуализации данных» изучаются особенности сопряжения системы VR с высокопроизводительным компьютером и принципов формирования виртуального пространства; проводятся теоретические исследования о правилах и приемах организации пространства и размещения объектов. Для выполнения заданий используется система VR с эффектом полного погружения, который подразумевает наличие четырех факторов:

- правдоподобная симуляция мира с высокой степенью детализации;

- высокопроизводительный компьютер, способный распознавать действия пользователя и реагировать на них в режиме реального времени;
- специальное оборудование, соединенное с компьютером, которое обеспечивает эффект погружения в процессе исследования среды;
- специальное программное обеспечение для выполнения разработки 3D-приложений (Vive Port – библиотека приложений для виртуальной реальности; SteamVR – среда выполнения, обеспечивающая работу приложений виртуальной реальности и Unity 3D – среда разработки 3D-приложений для создания 3D-пространства).

Завершающий четвертый этап предполагает работу в мини-группах по созданию 3D-пространства и далее загрузку и настройку макетов (рекламной продукции) в созданном виртуальном пространстве. Задача данной части проекта предполагает использование виртуального пространства для размещения созданных плакатов в определенной среде, например, в интерьер торгового центра, на станциях метро. Далее проводится просмотр результатов работ мини-групп, обсуждение, анализ и корректировка выполненного задания. Завершением является проведение конкурсного отбора по критериям оценки проекта: оценка результатов работы мини групп и роли каждого студента, а также демонстрация лучших виртуальных проектов на научной студенческой конференции и публикация на сайте приемной комиссии лучших проектов, представленных в виртуальной реальности.

V. Заключение

Итогом проектной деятельности являются:

- формирование профессиональных компетенций и опыт выполнения исследовательских заданий;
- получение опыта участия в команде;
- умение использовать современные и актуальные приложения виртуальной реальности для создания виртуальной среды;
- использование технологий виртуальной реальности для демонстрации результатов проекта;
- понимание завершенности процесса;
- удовлетворенность процессом обучения.

Таким образом, проведение междисциплинарной интеграции в проектной деятельности с использованием VR технологий направлено на решение задач формирования профессиональных компетенций у магистрантов и их готовности к дальнейшей научно-исследовательской деятельности, что отвечает стратегическим задачам ВУЗа, направленным на формирование профессиональных компетенций.

Рис. 2. Схема этапов проектной деятельности

Список литературы

1. Бондаренко Н.В., Бородина Д.Р., Гохберг Л.М. и др. Индикаторы образования: 2020: статистический сборник / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2020. 496 с. 250 экз. ISBN 978-5-7598-2156-4.
2. Панина В.З. Инновационные методы и технологии опережающего обучения в высшей школе // Вестн. Казан.технол. ун-та. 2014. № 16. С. 316–320.
3. Кудинова О.С., Скульмовская Л.Г. Проектная деятельность в вузе как основа инноваций // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 4.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=27928 (дата обращения: 16.01.2022).
4. Бреднева Н.А. Междисциплинарная интеграция в проектной деятельности студентов // Известия Волгоградского государственного педагогического университета, 2020 с. 26-29.
5. Шестакова Л.А. Теоретические основания междисциплинарной интеграции в образовательном процессе вузов // Вестн. Моск. ун-та им. С.Ю. Витте. Сер. 3: Педагогика. Психология. Образовательные ресурсы и технологии. 2013. № 1(2). с. 47–51.
6. Андрушко Д.Ю. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе: проблемы и перспективы // Научное обозрение. Педагогические науки. 2018. № 6. с. 5-10; URL: https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1779 (дата обращения:13.02.2021).
7. Официальный сайт Министерства образования и науки РФ: приоритетный проект «Вузы как центры пространства создания инноваций» [Электронный ресурс]. URL: https://минобрнауки.рф/проекты/вузы-центры-инноваций (дата обращения 01.02.2021).
8. Набокова Л. С., Загидуллина Ф. Р. Перспективы внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в сферу образовательного процесса высшей школы Профессиональное образование в современном мире. 2019. Т. 9, №2, с. 2710–2719.
9. Поступи онлайн / Сайт Яндекс Дзен URL: https://zen.yandex.ru/media/postupi.online/v-rossiiskih-vuzah-poiavilis-programmy-obrazovaniia-po-virtualnoi-realnosti-5c54c04f989f6500ad82a8b6.
10. Иванько А.Ф., Иванько М.А., Романчук Е.Е. Виртуальная реальность в образовании // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 3-1. с. 20-25. URL: https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1911 (дата обращения: 13.02.2021).
11. Подкосова Я.Г., Варламов О.О., Остроух А.В., Краснянский М.Н. Анализ перспектив использования технологий виртуальной реальности в дистанционном обучении // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2011, № 2(33). с. 104-111.

12. Корнилов Ю.В. Иммерсивный подход в образовании //Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2019. Т. 8. № 1(26), с. 112-118.
13. Фещенко А.В., Бахарева В.А., Захарова У.С., Сербин В.А. Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательной среде вуза // Открытое и дистанционное образование. 2015. № 4(60). с.12-20.
14. Шевченко Г.И., Рыбакова А.А., Кочкин Д.А. Особенности организации образовательного процесса в вузе с использованием средств виртуальной реальности // Проблемы современного педагогического образования. 2018, с.398-402.
15. Каммингс Джеймс Дж. Насколько иммерсивного достаточно? Мета-анализ влияния иммерсивных технологий на присутствие пользователей //Психология СМИ. 2015, № 19 (2).
16. Велько Потконяк, Майкл Гарднер, Виктор Каллаган Виртуальные лаборатории для образования в области науки, технологий и инженерии: обзор. // Компьютеры и образование, 2016 URL: https://www.researchgate.net/publication/294423099_Virtual_Laboratories_for_Education_in_Science_Technology_and_Engineering_a_Review (дата обращения 14.02.2021).
17. Bower M., Howe C., McCredie N., Robinson A., Grover D. Augmented Reality in education places and potentials // Educational Media International. 2014. Vol. 51, Issue 1. P. 1–15. DOI: 10.1080/09523987.2014.889400.
18. Бакин М.В. Иммерсивные технологии в развитии социальной эмпатии и образования // Международный научно-исследовательский журнал, 2020, №10 URL: https://research-journal.org/pedagogy/immersivnye-texnologii-v-razvitii-socialnoj-empatii-i-obrazovaniya/ (дата обращения 14.02.2021).
19. Virtual Training of Endurance Cycling – A Summary of Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. Sports Act. Living, 04 March 2021 | https://doi.org/10.3389/fspor.2021.631101 (дата обращения: 11.01.2022).
20. Effects of Level of Immersion on Virtual Training Transfer of Bimanual Assembly Tasks. Virtual Real., 20 May 2021 | https://doi.org/10.3389/frvir.2021.597487 (дата обращения: 13.02.2021).
21. Bardeen L. Mixed reality momentum continues in the modern workplace. 2017. – URL: https:// blogs.windows.com/devices/2017/11/01/ mixed-reality-momentum-continues-modernworkplace-microsoft-hololens-expands-29- new-markets/#9AcxwjUFmsmLSrhv.97 (дата обращения: 13.02.2021).
22. Руководство «Unity3D» [Электронный ресурс]. URL: unity3d.com/ru/current/Manual/UnityManual.

Автоматизированная система анализа когнитивной нагрузки в среде обучения Blended Learning

Е. Е. Котова[1], И. А. Писарев[2]
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
[1]eekotova@gmail.com, [2]pisarevivan@yandex.ru

Аннотация. **Задача определения когнитивной нагрузки в смешанной среде обучения (традиционная среда плюс электронная) в создавшихся условиях вынужденного перехода процесса обучения в комбинированный режим является актуальной по ряду причин, основными из которых является избыточность информационных ресурсов, различия в подготовке обучающихся и виды неопределенности, которые ранее не учитывались в учебном процессе. В автоматизированной системе решается три блока вопросов: 1 – диагностика когнитивно-стилевого потенциала, 2 – оценивание когнитивной нагрузки информационного контента, 3 – осуществление рекомендаций для построения индивидуальной программы обучения. Решения основываются на применении интеллектуальных агентов, методов Text Mining и методов анализа данных.**

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, Blended Learning, анализ данных

I. Введение

В настоящем исследовании рассматриваются текущие организационные и педагогические тенденции, которые обозначены в публикациях и на которые ориентируются образовательные учреждения в условиях существенных изменений процесса обучения, вызванных влиянием глобальной пандемии на процессы, касающиеся высшего образования.

Первая часть касается выявления актуальных вопросов на основе проведенного обзора литературы.

Во второй части приводятся примеры исследований на основе анализа когнитивной нагрузки (КН) информационного учебного контента.

С применением методов анализа текстов публикаций, выявлены следующие тенденции, сгруппированные в пять пунктов.

1. Смешанные, или комбинированные методы обучения, Blended Learning (BL) являются тенденцией, обусловленной как цифровыми навыками учащихся и педагогов, так и расширением возможностей, и снижением стоимости самих технологий [1]. При этом электронная составляющая процесса обучения рекомендуется для дополнения, а не замены существующих традиционных/аудиторных методов.

2. В образовательную среду технологии внедряются медленнее, чем ожидается. Выбор наиболее подходящих инструментов представляет собой трудоемкий процесс [2]. Зачастую не предоставляется возможность выбора среди предлагаемых инструментов и ограничений, учитывающих специфику инфраструктуры образовательной среды. Академический персонал должен приобрести соответствующий уровень цифровых и технологических компетенций [1].

3. Простого перевода традиционных методов обучения в онлайн-среду недостаточно для обеспечения стабильного качества образования [3]. Технологии обеспечивают поддержку моделей, которые адаптируются к образовательным, социальным и экономическим потребностям по мере их возникновения.

4. Особая роль влияния технологий на педагогику отводится методам аналитики обучения, активно развивающимся в последние годы и основывающимся на сборе и анализе данных [4, 5]. Разнообразные данные и средства их оперативной обработки необходимы для своевременных изменений в динамике учебного процесса и оперативного вмешательства в процесс обучения [6]. Подчеркивается, что технологические тенденции включают достижения в области искусственного интеллекта (ИИ), а также вопросы аналитики [1]. Как аналитика обучения, так и ИИ сталкиваются с проблемами из-за отсутствия теоретической базы и бизнес-моделей, основанных на фактических данных, способствующих их использованию [7]. Несмотря на развитие исследований ИИ для обучения за последние 30 лет, как отмечается, машинам оказалось трудно справиться с необычайно разнообразными способами, которыми учащиеся учатся.

5. Исследованиям когнитивной нагрузки, как перспективному направлению, уделяется недостаточно внимания, хотя основы теории когнитивной нагрузки разработаны более 20 лет назад [8, 9]. Как отдельное направление отмечается вычислительная психолингвистика в виду того, что исследование вопросов когнитивной обработки информации, понимания языка и смысла текста становится особенно важным при самостоятельном изучении студентами новых учебных материалов в вынужденных условиях дистанционного обучения [10].

II. Метод анализа когнитивной нагрузки

Многие исследования отмечают важность концептуального понимания при изучении нового материала [11].

Предложенный авторами метод анализа текстов (на примере текстов лекций или теоретических материалов) по дисциплинам применяется в электронной среде обучения.

Для анализа текстов разработан инструмент, позволяющий последовательно в соответствии с заданным **алгоритмом** анализировать загружаемые тексты в автоматизированной среде анализа и оценивать КН.

Алгоритм включает: 1. Оценку факторов КН учебного материала, влияющих на производительность обработки контента. 2. Оценку параметров модели когнитивно-стилевого потенциала студентов. 3. Разработку контрольных тестов и оценку полноты покрытия области знаний. 4. Анализ результатов выполнения контрольных тестов. Оценку параметров выполнения теста.

1. Оценка факторов когнитивной нагрузки учебного материала, влияющих на производительность обработки контента

В качестве показателя когнитивной нагрузки применяется количество собственной информации слов, для которой подтверждается существование корреляции с временем чтения и когнитивной обработки [12].

В среде LMS Moodle теоретический материал (например, тексты и другая информация) структурированы модулями/разделами. Необходимо оценить КН каждого модуля с целью определения времени, затрачиваемого студентами на его изучение. Предварительно предъявляется список базовых терминов, которыми необходимо владеть для понимания основного содержания дисциплины в контексте изучаемой области знаний с расчетом на самостоятельное освоение.

Предварительно формируется понятийная база знаний, из которой составляется словарь контрольного теста.

На примере одного из разделов учебной дисциплины с помощью автоматизированного инструмента анализа текстов автоматически сформирован словарь базовых терминов. Словарь включает приблизительно 700 понятий, которые встречаются в тексте с разной частотой. Раздел, взятый для примера, включает приблизительно 16 тысяч слов корпуса учебных текстов. В частотном словаре термины перечислены в порядке убывания частоты встречаемости в тексте. В табл. 1 представлен фрагмент наиболее частотных терминов: ранг, частота встречаемости/использования в разделе и информационное содержание терминов частотного словаря *Hs (w)*, вычисленное по формуле

$$Hs(w_i) = -\log_2 \mathrm{p}(w_i)\,,$$

где Hs – собственная информация (self-information, surprisal) или информационное содержание слова, оцениваемое в контексте текста; w_i – обозначение термина; $\mathrm{p}(w_i)$ – оценка частоты слова, приведенного к нормальной форме (лемме), встречающегося в корпусе текстов.

ТАБЛИЦА I ТЕРМИНЫ ЧАСТОТНОГО СЛОВАРЯ

Ранг	**Термин, *w***	**Частота встречаемости, *N***	**Частота,** $\mathrm{p}(w_i)$	***Hs* (*w*), бит**
1	онтология	346	0.093	3.42
2	язык	110	0.030	5.08
3	данные	105	0.028	5.14
4	класс	90	0.0245	5.37
5	знание	83	0.022	5.48
6	система	76	0.021	5.61
7	область	67	0.018	5.79
8	свойство	58	0.016	6.00
9	модель	56	0.016	6.04
10	информация	53	0.014	6.13
…	…….	….	….	...

Визуализация автоматически представлена в виде облака тегов (рис. 1). Облако тегов отражает терминологическое покрытие понятийной области знаний.

Рис. 1. Облако тегов наиболее часто встречающихся терминов в корпусе первого раздела

Когнитивная нагрузка Hs, содержащаяся в N терминах частотного словаря учебного материала по дисциплине, оценивается на основе теоретико-информационного подхода по формуле:

$$Hs = -\sum_{i=1}^{N} \log_2 \mathrm{p}(w_i)\ . \qquad (1)$$

Формула (1) может применяется при расчете когнитивной нагрузки всего корпуса учебных материалов, если использовать общее число всех словоформ, в виде которых термины встречаются в тексте.

В результате для всего корпуса текстов с учетом информации всех слов получено значение $Hs = 6.5$ Кб. Учитывая только базовую терминологию $Hs = 3.5$ Кб.

На основе данного подхода аналогично производятся расчеты по двухсловным терминам (в настоящей статье не представлено из-за ограничения объема).

2. Оценка параметров модели когнитивно-стилевого потенциала студентов.

С целью определения возможностей учащихся по восприятию информации сформирована модель когнитивно-стилевого потенциала (КСП). Осуществляется диагностика параметров модели в системе экспресс-диагностики. Параметры модели включают основные показатели продуктивности

интеллектуальной деятельности: время и точность работы с информацией.

Модель основана на факторах алгоритмической энтропии изображений, индекса сложности движения выбора ID и поиска ответа из предметной области знаний.

$$T = mH_K + b\,ID + zH_S\,, \qquad (2)$$

где m, b, z – коэффициенты регрессии.

В формуле (2) общая КН подразделяется на три типа в зависимости от когнитивных процессов: H_K – КН перцептивно-когнитивных процессов обработки визуальной информации; ID – КН активных (моторных) процессов и H_S – КН процессов обработки текстовой информации.

В соответствии с разработанной методикой [13] оцениваются значения факторов H_K, ID, H_S модели (2).

Тестирование модели на области знаний по дисциплине Инженерия знаний показало, что студенты различаются по параметрам КСП-модели в скорости и точности работы с информацией [14]. Для различных групп студентов требуется персональная настройка учебного контента с учетом когнитивной нагрузки, с которой студент может успешно справляться.

3. Разработка контрольных тестов и оценка полноты покрытия области знаний

Разработка контрольных тестов представляет отдельную задачу. Базовый контрольный тест полностью покрывает базовую терминологию теоретического раздела. Раздел, который взят для примера в настоящем исследовании, содержит 13000 слов и предполагает 4 академических часа для самостоятельного изучения в свободном режиме (ознакомительного чтения). Поскольку данный раздел перенесен в электронный вид из традиционной (аудиторной среды), то исследование когнитивной нагрузки восприятия информации в самостоятельном режиме требует отдельного внимания. На рис. 2 изображено облако тегов базового контрольного теста.

Рис. 2. Облако тегов базового контрольного теста

На рис. 3 изображен график, отражающий покрытие тестом терминологической области. Из графика видно, что что для понимания 75 % учебного материала необходимо знание 20 % наиболее частотных базовых терминов, что соответствует 15 % объема когнитивной нагрузки словаря терминов учебного материала (рис. 4).

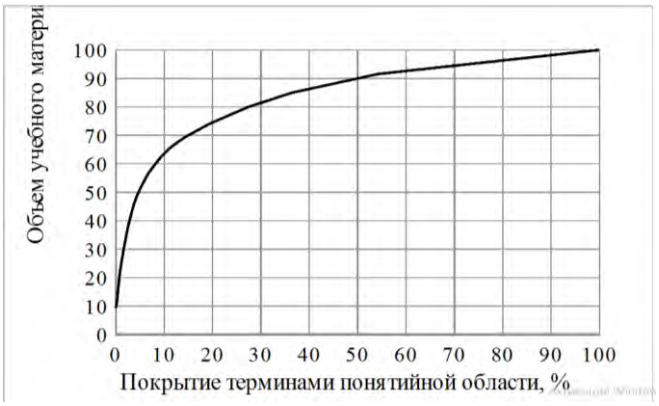


Рис. 3. Покрытие тестом терминологической области знаний

Время выполнения теста занимает в среднем 12 минут. Анализ когнитивной нагрузки контрольного текста показал, что он покрывает 14 % терминологии учебного материала. Когнитивная нагрузка словаря теста $Hs = 203$ б. Когнитивная нагрузка словаря учебного материала $Hs = 915$ б. Словарь теста включает 22 % базового словаря учебного материала. Для полного покрытия (100 %) всей терминологии области знаний потребуется увеличение числа контрольных тестов или увеличение числа вопросов в тестировании.

Для разработки более полного теста с покрытием большей тематической области требуется учесть и время на его выполнение (отдельная задача).

На рис. 4 изображена степенная зависимость когнитивной нагрузки, выраженной количеством информации Hs от числа терминов N в словаре: $Hs = 3.6\,N^{1.17}$, коэффициент детерминации $R^2 = 1$.

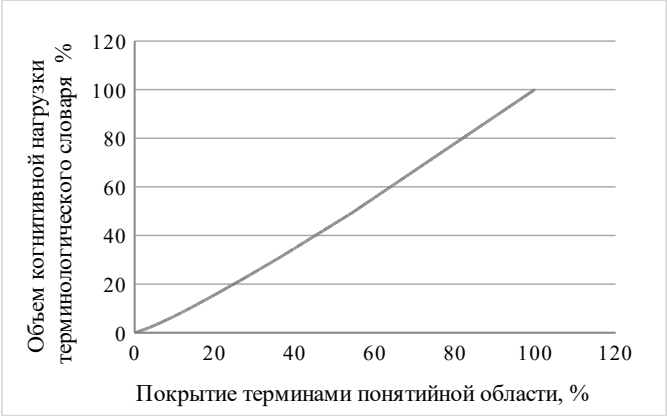


Рис. 4. Степенная зависимость когнитивной нагрузки, выраженной количеством информации ( ) от числа терминов ( ) в словаре

При выяснении превышения когнитивной нагрузки экспертами по онлайн-обучению рекомендуется сокращение онлайн-лекции до 20 минут или разбивка на 15-минутные самостоятельные части с заданиями для студентов сразу после каждой части [2].

4. Анализ результатов выполнения контрольных тестов. Оценка параметров выполнения теста

Задания теста представлены в виде вопросов с множественным выбором. Каждый вопрос имеет четыре варианта ответов, из которых выбирается один или несколько верных.

По результатам предыдущих исследований [13–15] среднее время принятия решения (ответа) по одному заданию теста составило *T*ср.= 30.2 с. Время zH_S, относящееся к когнитивным процессам обработки текста определяется на основе модели (2) и равно 23.7 с.

Среднее по группе значение параметра, характеризующего темп обработки информации z=3.6 с/байт.

Оценка среднего значения параметра z может иметь меньшее значение, если предположить наличие дополнительного случайного фактора, который объясняет увеличение использования времени при подготовке ответа на вопрос задачи.

Приблизительная оценка скорости обработки текста в условии задачи теста равна 1 слово/с или 60 слов в минуту.

Предлагаемый способ применения когнитивной нагрузки при оценке требуемого времени на выполнение теста позволяет получить более точные результаты на основе модели (2).

III. Выводы и заключение

Интегрированная модель производительности когнитивной деятельности обучающихся характеризуется показателями средней скорости и числом ошибок. В интегрированной модели время решения когнитивных задач выбора линейно зависит от факторов когнитивной нагрузки: фактора алгоритмической энтропии визуального контента, фактора сложности моторных процессов обучающихся, фактора количества информации понятийной области знаний.

Предложенный способ оценки алгоритмической энтропии визуального контента позволяет характеризовать контент с точки зрения оценки когнитивной нагрузки и применить линейную модель к сложным задачам выбора.

Разработанный метод построения частотных терминологических словарей показал наличие степенной зависимости когнитивной нагрузки, выраженной количеством информации от числа слов в словаре терминов, что говорит о том, что для успешного понимания 70–75 % материала предметной области достаточно изучить базовую (около 20 %) терминологию. Первоначально можно рекомендовать изучение базовой терминологии для повышения уровня понимания учебного материала.

Метод реализован в автоматизированной электронной среде «E-LEARNING-4E» [16], может быть применен для регулирования когнитивной нагрузки учебного контента с целью адаптации как объема материала, так и времени для его изучения в онлайн-среде обучения.

Список литературы

[1] Guàrdia L., Clougher D., Anderson T., Maina M. IDEAS for transforming higher education: an overview of ongoing trends and challenges // International Review of Research in Open and Distributed Learning. 2021. Vol 22. No. 2. Pp. 166-184.

[2] Bates A.W. (2019). *Teaching in a Digital Age – Second Edition*. Vancouver, B.C.: Tony Bates Associates Ltd. Retrieved from https://pressbooks.bccampus.ca/teachinginadigitalagev2/

[3] Gasevic D. COVID-19: The steep learning curve for online education. LENS. Retrieved from https://lens.monash.edu/@education/2020/04/26/1380195/covid-19-the-steep-learning-curve-for-online-education

[4] Siemens G. Learning Analytics: The Emergence of a Discipline. // American Behavioral Scientist. 2013. Vol. 57. No. 10. Pp. 1380–1400.

[5] Corrin L., Scheffel M., Gašević D. Learning Analytics: Pathways to Impact. // Australasian Journal of Educational Technology. 2020. Vol. 36. No. 6. Pp. 1-6.

[6] Viberg O., Hatakka M., Bälter O., Mavroudi A. The current landscape of learning analytics in higher education. // Computers in Human Behavior. 2018. No. 89. Pp. 98-110.

[7] Renz A., Hilbig R. Prerequisites for artificial intelligence in further education: identification of drivers, barriers, and business models of educational technology companies. // International Journal of Educational Technology in Higher Education. 2020. Vol. 17. No. 1. Pp. 1-21.

[8] Van Merrienboer JJ., Sweller J. Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. // Educational psychology review. 2005. Vol. 17. No. 2. Pp. 147-177.

[9] Sweller J. Cognitive load theory. In Psychology of learning and motivation. Academic Press. 2011. Vol. 55. Pp. 37-76.

[10] Kuperberg G.R., Jaeger T.F. What do we mean by prediction in language comprehension? // Language, cognition and neuroscience. 2016. vol. 31. no. 1. Pp. 32-59

[11] Bälter O, Zimmaro D, Thille C. Estimating the minimum number of opportunities needed for all students to achieve predicted mastery. Smart Learning Environments. 2018. 5(1). Pp:1-9.

[12] Hale J. A probabilistic Earley parser as a psycholinguistic model. Paper presented at the Proceedings of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics on Language technologies (NAACL '01). 2001. Pp.1-42

[13] Kotova E., Pisarev I. Researching Cognitive Tasks Solving Taking into Account Visual Uncertainty // 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Published in: 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Pp. 127-130.

[14] Котова Е.Е., Писарев А.С. Анализ производительности решения когнитивных задач студентами в электронной среде обучения. В сборнике: Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании // Материалы V Международной научной конференции. В 2-х частях. Под общей редакцией М.В. Носкова. Красноярск. 2021. С. 250-256.

[15] Kotova E. Management of Cognitive Load in Integrated Educational Environment taking into account the Factor of Visual Uncertainty. 2021 IV International Conference on Control in Technical Systems (CTS) // Published in: 2021 IV International Conference on Control in Technical Systems (CTS). Date of Conference: 21-23 Sept. 2021.

[16] Котова Е.Е., Писарев А.С., Писарев И.А. Программа оценки и анализа групповых результатов решения серий перцептивно-когнитивных задач в электронной среде «E-LEARNING-4E». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021669274. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25 ноября 2021.

Методы анализа и оценки сложности тестовых заданий фондов оценочных средств дисциплины

А. Н. Губин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
gan50_60@mail.ru

В. Л. Литвинов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
vlad.litvinov61@gmail.com

Ф. В. Филиппов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
9000096@mail.ru

Аннотация. **Современное электронное обучение характеризуется высокими темпами появления новых образовательных ресурсов и большим объемом образовательных данных. При этом проверка способности обучаемых к обобщению и заданию проблемных вопросов, а также проверка наличия целостного представления о предмете обучения составляет известную проблему. Контроль и закрепление изученных материалов, как правило, связаны с выполнением примеров, либо с перечислением свойств некоторого изученного ранее понятия. Очевидно, что степень отличия предлагаемых в тесте материалов от представляемых на учебных занятиях существенно влияет на возможность обнаружения сходства предъявляемых примеров с ранее изученными. В работе предлагается подход к оценке тестовых заданий, который позволяет в значительной степени формализовать эти процессы, получить оценки сложности и определить требования к тестовым заданиям.**

Ключевые слова: образование, дистанционные образовательные технологии, компьютерное тестирование, качество теста, сложность теста

I. Введение

Современное электронное обучение характеризуется высокими темпами появления новых образовательных ресурсов и большим объемом образовательных данных. При этом проверка способности обучаемых к обобщению и заданию проблемных вопросов, а также проверка наличия целостного представления о предмете обучения составляет известную проблему.

Основными инструментами повышения качества образовательного процесса в вузе являются инновационные технологии обучения, в том числе на основе онтологического подхода к процессам и системам обучения и образования [1].

Образовательная технология состоит из комплекса методов и образовательных инструментов: различные виды учебных занятий, инструменты диагностики, текущего и итогового контроля – посредством которых достигаются образовательные цели.

Основой преподавания студентам материалов определенной дисциплины служит рабочая программа дисциплины (РПД). Одной из важнейших структурных компонент, составляющих РПД, является раздел – содержание дисциплины, который определяет как объем, так и тематику материалов дисциплины.

Общее понятийное содержание дисциплины, как правило, подразделяется на отдельные темы, охватывающие логически завершенный материал преподаваемого курса.

II. Постановка задачи

Обычно для отображения системы понятий используют различные графы [2]: семантические сети, диаграммы сущность-отношение, онтологии и др., представляющие сети (деревья) понятий с различными связями (рис. 1).

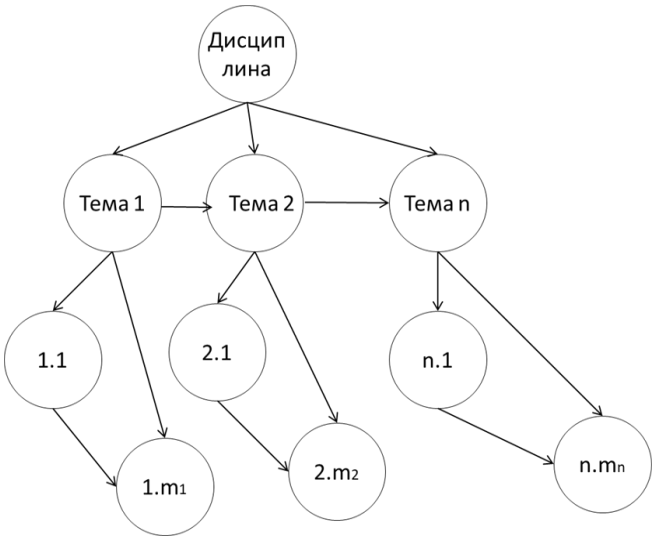


Рис. 1. Общий граф содержания дисциплины

В процессе освоения материалов курса современные технологии обучения широко используют тестирование студентов. Процедуры прохождения контрольных тестов могут рассматриваться и как этап обучения, а именно, отработки навыков узнавания изучаемых правил, принципов, законов и др. в процессе решения задач, связанных с содержанием последующей профессиональной деятельности обучаемых.

Контроль и закрепление изученных материалов, как правило связаны, либо с выполнением примеров, подобных рассмотренным на этапе обучения, либо с перечислением свойств некоторого изученного ранее понятия. Очевидно, что степень отличия предлагаемых в тесте материалов от представляемых на учебных занятиях существенно влияет на возможность

обнаружения сходства предъявляемых примеров с ранее изученными.

Рассмотрим в качестве меры такого отличия параметр «понятийное (концептуальное) расстояние» d_c [3].

Понятийное расстояние d_c представляет собой кратчайший путь на графе, отображающем систему изучаемых понятий, от представляемого в тесте вопроса до общего родительского класса понятий, к которому относятся изучаемые ранее материалы (рис. 2).

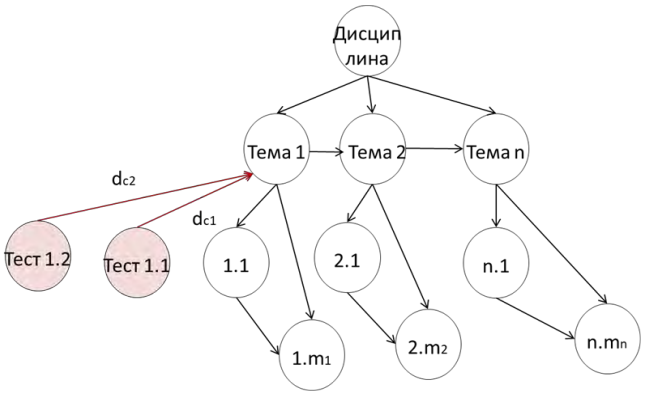


Рис. 2. Общий граф связей вопросов теста с родительским классом «Тема1»

Понятийное расстояние для двух вопросов зависит от того, в какой класс они входят. Так введение, например, дополнительной определенности на пути от нового вопроса теста к родительскому классу увеличивает d_c, образуя промежуточный родительский класс (рис. 3). Возможны и более сложные случаи представления оценки d_c при множественном наследовании классов. В этих случаях необходимо увеличивать значение d_c в соответствии с количеством появляющихся родительских классов.

Таким образом, задача формирования тестовых материалов оказывается связанной с сетью понятий, описывающей предметную область изучаемой дисциплины, а сложность комплекса тестовых материалов может быть количественно оценена суммой понятийных расстояний различных вариантов ответов на тестовые вопросы.

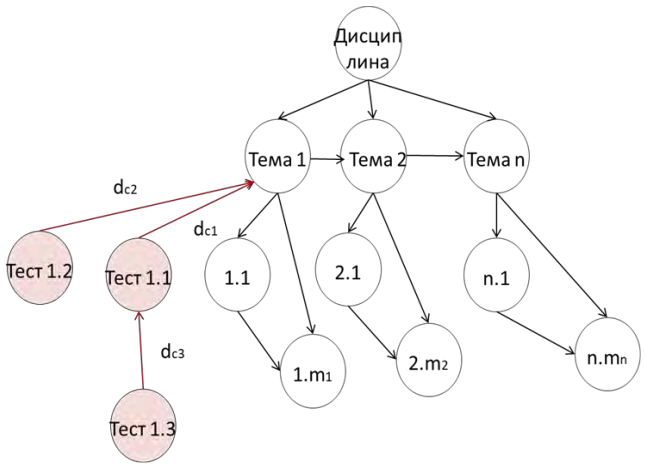


Рис. 3. Общий граф связей вопросов теста с родительским классом «Тема1», где Тест1.1 рассматривается как дополнительный родительский класс для вопроса Тест 1.3

III. Оценка сложности тестового задания

Рассматривая вопросы оценки сложности конкретного тестового задания необходимо учитывать форму представления тестового задания.

В общем случае, сложность тестовой единицы S_t можно оценить, как

$$S_t = -N \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i(\log p_i),$$

где N – общее количество ответов, предлагаемых в рассматриваемой тестовой единице, n – количество классов понятий, к которым относятся варианты предлагаемых ответов.

При этом вероятность p_i можно оценить, как отношение

$$p_{\mathrm{i}} = \frac{n_0}{N_i},$$

где n_0 – количество правильных ответов, N_i – количество предлагаемых ответов, относящихся к i-ому классу понятий, используемых в тесовой единице.

Предлагаемая форма оценки сложности тестовых единиц может быть использована практически для всех форм представления тестовых заданий.

Пример 1. Тест с формой ответа «верно – неверно»

Пусть тестовая единица состоит из предложения-вопроса: «Предикат может быть литералом» и двух вариантов ответа: «ВЕРНО», «НЕВЕРНО».

В этом случае сложность тестовой единицы S_t можно оценить, как

$$S_t = -2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \log\left(\frac{1}{2}\right)\right) = 1.$$

Пример 2. Тест типа «множественный выбор» с одним правильным ответом

Пусть тестовая единица состоит из предложения-вопроса: «Предикат может быть …» и четырех вариантов ответа: «РЕСУРСОМ (URI), RDF-ЛИТЕРАЛОМ, УТВЕРЖДЕНИЕМ, ЗАМЕЧАНИЕМ», один из предложенных вариантов ответа является верным.

Анализ вариантов ответа показывает, что три варианта относятся к родительскому классу понятий «ЯЗЫК ЗАПРОСОВ SPARQL», а один вариант не относится к этому классу понятий.

Оценка сложности в данном случае определяется следующим образом:

$$S_t = -4 \cdot (\frac{1}{3} \cdot \log\left(\frac{1}{3}\right) + 1 \cdot \log(1)) = 2{,}11.$$

Пример 3. Тест типа «множественный выбор» с двумя правильными ответами

Пусть тестовая единица состоит из предложения-вопроса: «Какое ключевое слово обеспечивает ограничение количества решений в ответе на SPARQL запрос» и четырех вариантов ответа: «LIMIT, FILTER, OPTIONAL, UNIT», из которых два варианта ответа являются верными.

Анализ вариантов ответа показывает, что все варианты ответов относятся к родительскому классу понятий «ЯЗЫК ЗАПРОСОВ SPARQL».

Оценку сложности в данном случае определяет следующий результат:

$$S_t = 4 \cdot (-\frac{2}{4} \cdot \log\left(\frac{2}{4}\right)) = 2{,}0.$$

Пример 4. Тест типа «определить последовательность» с одним правильным ответом

Пусть тестовая единица состоит из предложения-вопроса: «Расположите в хронологическом порядке указанные ниже этапы проектирования информационной системы: А – проектирование интерфейсов; Б – архитектурное проектирование; В – проектирование спецификаций; Г – проектирование алгоритмов; Д – компонентное проектирование; Е – проектирование структур данных».

В данном случае необходимо учесть, что количество возможных ответов составит 6! = 720. Оценка сложности в данном случае определяется следующим образом:

$$S_t = -6! \cdot \left(\frac{1}{6!} \cdot \log\left(\frac{1}{6!}\right)\right) = 9{,}49.$$

IV. Определение уровня подготовки

Вероятность правильного ответа при тестировании обычно моделируется логистической функцией от разницы значений параметров уровня подготовки тестируемого и сложностью тестовой единицы.

В качестве такой модели можно использовать модель Раша [4], которая является психометрической моделью для анализа категориальных данных, таких как ответы на вопросы, в зависимости от компромисса между способностями, установками респондента или черты личности и сложность задания. Математическая форма модели в данном случае имеет следующий вид:

$$P\{x_i = 1\} = \frac{e^{\theta_i - \delta_j}}{1 + e^{\theta_i - \delta_j}},$$

где $P\{x_i = 1\}$ – вероятность правильного ответа (функция успеха) на вопрос тестовой единицы, θ_i – уровень подготовки i-го студента, δ_j – сложность j-ой тестовой единицы.

При использовании модели Раша и полученных ранее результатов оценки сложностей отдельных тестовых единиц можно получить обычно латентное значение уровня подготовки студента при решении j-ого тестового задания для любого заданного значения вероятности правильного ответа.

Пример 5

Для тестирования используется тестовая единица с оценкой сложности δ_j =1. Необходимо определить уровень подготовки студента, если значение вероятности правильного ответа составляет $P\{x_i = 1\} = 0{,}9$.

Из последнего выражения следует

$$0{,}9 = \frac{e^{\theta_i - 1}}{1 + e^{\theta_i - 1}}$$

и, далее, θ_i=1,197.

Аналогично, для $P\{x_i = 1\} = 0{,}1$ можно получить оценку θ_i = –1,197.

Кроме того, указанный метод оценки сложности тестовых единиц может быть использован при организации процедур адаптивного тестирования [5], когда сложность следующего тестового задания для тестируемого определяется результатом ответа на текущий тест.

Если тестируемый не справился с заданием, то следующий тест выбирается из пула тестов с меньшими показателями сложности, в противном случае сложность следующего может быть больше сложности текущего теста.

V. Заключение

Предложенный подход к разработке и оценке тестовых заданий позволяет в значительной степени формализовать эти процессы, получить оценки сложности и определить требования к тестовым заданиям, которые не связаны с результатами тестирования различных групп студентов.

Использование модели определения уровня сложности на основе динамического вычисления уровня подготовки обучающегося позволит изменять стратегию тестирования и получать более адекватные результаты проверки знаний.

Список литературы

[1] Долятовский В.А., Гамалей Я.В. Онтологический подход к процессам и системам обучения и образования // Образовательные технологии. 2018, №3. С. 76–106.

[2] Козлов Ф.А. Методы агрегирования и анализа данных в системах электронного обучения с использованием семантических технологий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / НИУ ИТМО. СПб., 2015. 16 с.

[3] Шумова Е.О., Копейкин М.В., Спиридонов В.В. Метрика понятий, как основа разработки и оценки тестов. // Перспективы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 28 сентября 2012 г. Часть 7 / Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2012. С.161–162.

[4] Wright B.D. Solving Measurement Problems with the Rasch Model // Journal of Pedagogical Measurements. 1977, №14 (2). pp. 97–116.

[5] Мазорчук М.С., Добряк В.С., Емельянов П.С. Методы и модели анализа качества тестовых заданий и моделирование компьютерного адаптивного тестирования в системах дистанционного обучения. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2016, № 73. С. 103–115.

Интеллектуальный программный агент для решения задач выбора в условиях неопределенности

А. С. Писарев, Е. Е. Котова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
a_pisarev@mail.ru

Аннотация. **Интеллектуальный программный агент предназначен для решения мультиномиальных задач выбора с визуальной неопределенностью в автоматизированных информационных системах, в которых требуется осуществлять выбор правильных решений, соответствующих условиям поиска. Разработан алгоритм принятия решений мультиномиального выбора на основе интеллектуальных методов анализа данных. В автоматическом режиме получено точное решение серии перцептивно-когнитивных задач. Программа CAPTCHA-E применяется в области проведения научных исследований и сфере обучения при моделировании, анализе результатов решения серий тестовых задач, а также при разработке и анализе новых методик, основанных на визуальной форме представления информации, в которых основное внимание уделяется интеграции сенсорных и когнитивных способностей человека в киберфизических системах.**

Ключевые слова: когнитивная деятельность, принятие решений, мультиномиальный выбор, перцептивно-когнитивный агент

I. Введение

В соответствии с реализацией инновационных технологических инициатив Industry 4.0, Learning 4.0 возрастает роль исследования процессов интеграции взаимодействия человека и машины в рамках современных киберфизических систем [1]. Одним из активно развивающихся направлений исследований является разработка интеллектуальных программных агентов, способных воспринимать мультимодальные (зрительные, аудиальные) сигналы, производить их обработку, принимать решения выбора и реализовывать реакцию в виде действий [2, 3, 4]. Задачи восприятия зрительной информации, обнаружения объектов, интеллектуального анализа имеют длительную историю публикаций, например, [5, 6, 7]. При этом часто рассматриваются задачи обнаружения объектов в изображениях на основе алгоритмов машинного обучения с учителем (supervised). Однако, вопросы автоматизации процессов мультиномиального выбора объектов в изображениях на основе методов «без учителя» (unsupervised) [8, 9, 10] при отсутствии больших наборов априорных данных, исследованы еще недостаточно.

Рассматривается постановка задачи поиска фигуры из эталонного изображения в изображениях вариантов ответов. Фигуры в эталонных изображениях являются уникальными и не повторяются в других задачах.

В качестве прототипа задач используется серия из 49 задач с 4 вариантами ответов в модифицированной компьютерной методике «Скрытые фигуры» Л. Терстоуна (Thurstone L.L., 1944) [11, 12].

Комплексные изображения вариантов ответов могут содержать фигуру эталона полностью или с различной степенью неполноты. Эталонная фигура одновременно может содержаться в нескольких изображениях: от одного до четырех, в среднем в двух в каждой задаче. При этом фигура не должна быть масштабирована или повернута, но может быть смещена и встречаться несколько раз в одном изображении. После окончания решения задачи рассчитывается число допущенных ошибок путем сравнения списка выбранных вариантов ответов с таблицей правильных ответов. При этом, если не выбрано изображение верного ответа или выбрано изображение неверного ответа, то засчитывается ошибка первого или второго рода. За ограниченное время тестирования (10 минут) необходимо как можно точнее решить наибольшее число задач.

В статье представлены результаты разработки и апробации метода решения перцептивно-когнитивных задач мультиномиального выбора в условиях визуальной неопределенности. Метод реализован в программе интеллектуального агента CAPTCHA-E [13].

II. Метод

Метод автоматического решения перцептивно-когнитивных задач выбора в условиях визуальной неопределенности предусматривает последовательную реализацию процессов, характерных для человека: восприятие зрительной информации, когнитивную обработку и выбор решений, осуществление моторных действий по реализации выбора.

Адаптация к условиям задачи осуществляется путем настройки сценария автоматического решения перцептивно-когнитивных задач выбора с использованием различных алгоритмов.

Процессы восприятия визуальной информации. Компьютерная реализация процессов восприятия основывается на алгоритмах компьютерного зрения, поиска объектов в изображениях и измерения метрик подобия объектов и паттернов в изображениях. При наличии априорной информации об объектах в виде больших наборов изображений, примеряются алгоритмы машинного обучения с учителем (supervised) [5, 6, 7].

В данной статье рассматривается сценарий, в котором по условиям задачи Л. Терстоуна отсутствуют априорные данные об объектах и рассматриваются алгоритмы поиска и локализации нескольких экземпляров объекта в изображениях вариантов ответов на основе методов «без учителя» (unsupervised) [8, 9, 10].

Для оценки влияния степени полноты изображений на точность алгоритмов предусмотрены несколько

модификаций вариантов задач, отличающихся степенью полноты [14, 15]. Неполные изображения формируются путем добавления Гауссова шума, изменяющего цвет контура на цвет фона в модификациях от 10 % до 90 % пикселей изображения.

На рис. 1 представлен пример неполных (10 %, 50 %, 70 %) изображений фигуры эталона и трех вариантов ответа (A, B, C) в тренировочной задаче модифицированного компьютерного теста Л. Терстоуна.

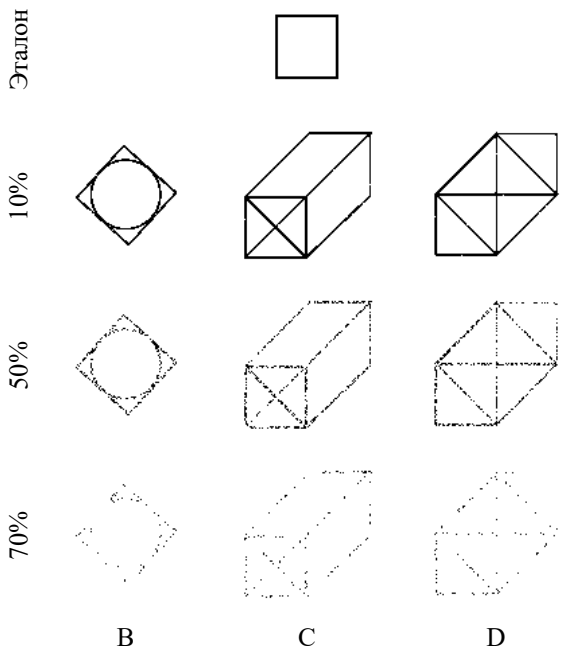


Рис. 1. Эталонное изображение и неполные изображения вариантов ответа в тренировочной задаче модифицированного компьютерного теста Л. Терстоуна

Процессы когнитивной обработки и мультиномиального выбора.

Алгоритмы мультиномиального выбора исследуются в течение длительного времени, включая мультиномиальную логит-регрессию (multinomial logit model) и мультиномиальную пробит-модель (multinomial probit model), при построении которых используются статистические методы анализа массивов априорных данных [16]. Вопросы мультиномиального выбора нескольких вариантов ответов в задачах с визуальной неопределенностью и при отсутствии априорных данных, исследованы еще недостаточно.

В статье разработаны алгоритмы решения задачи мультиномиального выбора, отличающиеся последовательным ранжированием и масштабированием показателей подобия изображений эталона и вариантов ответа с использованием трех шкал: 1 – шкалы показателей степеней подобия; 2 – нормированной шкалы показателей степеней подобия; 3 – шкалы приоритетов вариантов ответов по методам Я. Коэна [17, 18] и парных сравнений Т. Саати [19, 20].

Полученные в результате обработки изображений показатели подобия эталона и вариантов ответов (первая шкала) нормируются (вторая шкала).

Производится попарное сравнение показателей и определяется степень их различий по методу Я. Коэна. Результаты оценки по методу Я. Коэна используются в алгоритме парных сравнений по методу Т. Саати для определения приоритетов вариантов ответов (третья шкала).

В качестве индикатора различий применяется параметр Коэна d [17]:

$$d = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{s} \tag{1}$$

где $\overline{x_1}$ и $\overline{x_2}$ – средние значения показателей подобия изображений; s – объединенное стандартное отклонение (pooled standard deviation).

В зависимости от рассчитанных значений параметра d (1), каждой паре показателей присваивается номер одного из шести классов (табл. 1) [18].

ТАБЛИЦА I КЛАССЫ

№ п/п	Класс отличий	d
1	Equals or Very small (равенство или очень малое отличие)	0.01
2	Small (малое отличие)	0.20
3	Medium (среднее отличие)	0.50
4	Large (большие отличия)	0.80
5	Very large (очень большие отличия)	1.20
6	Huge (гигантское отличие)	2.0

Номера классов парных различий Я. Коэна преобразуются в номера классов относительной важности Т. Саати.

В методе парных сравнений Т. Саати применяется девятиуровневая шкала относительной важности. Первый уровень совпадает в обеих шкалах: равная важность или очень малое различие. Максимальному девятому уровню «очень сильное превосходство» соответствует шестой уровень по третьей шкале Я. Коэна.

По методу парных сравнений вычисляются приоритеты вариантов ответов (третья шкала).

Полученные значения приоритетов группируются в два кластера с использованием алгоритма кластерного анализа по методу K-средних [21] и производится выбор вариантов из кластера с наибольшими значениями приоритетов. Второй алгоритм позволяет произвести непосредственный мультиномиальный выбор вариантов ответов, приоритеты которых превышают значение порога равновероятного выбора. Для задач теста Л. Терстоуна с 4 вариантами выбора порог принимает значение 1/4.

В модификации варианта алгоритма выбора предусматривается возможность использования в качестве входных данных логарифмов показателей подобия эталонов и вариантов ответов. Модифицированный алгоритм предназначен для анализа влияния на результаты мультиномиального выбора нелинейной зависимости уровня восприятия изображений человеком от силы видеосигнала (S) в соответствии с законом Вебера–Фехнера (Weber–Fechner law):

$$p = c + k \ln S \tag{2}$$

c, k – коэффициенты.

III. Реализация

Разработанный метод решения перцептивно-когнитивных задач выбора в условиях визуальной неопределенности реализован на языке *java* в программе интеллектуального когнитивного агента *CAPTCHA-E* [13]. Программа отличается способностью к сетевому взаимодействию и адаптации в рамках архитектуры открытых информационных систем с возможностью функционального наращивания и настройки сценариев решения различных задач.

В составе программного агента предусмотрены следующие подсистемы:

- сопряжение с интерфейсом программы тестирования, предоставляющей среду для выполнения серии задач выбора;
- восприятие визуальной информации из интерфейса программы тестирования;
- обнаружение эталонного изображения в изображениях вариантов ответов, регистрация координат найденных паттернов и значений степеней подобия по выбранным критериям;
- принятие решения мультиномиального выбора ответов;
- осуществление моторных действий по реализации принятого решения выбора в интерфейсе программы тестирования;
- анализ результатов моторных действий в интерфейсе программы тестирования и реализация обратной связи (в тех типах задач, в которых предусмотрено повторение операции выбора в случае получения неправильного ответа).

IV. Результаты

Результаты расчета нормированных значений показателей приоритетов по 3-й шкале для тренировочной задачи теста Л. Терстоуна (рис. 1) представлены в табл. 2.

Применение алгоритмов кластерного анализа и непосредственного сравнения с пороговым значением (1/4) показало одинаковые результаты.

Для всех вариантов задачи с изображениями при уровне Гауссова шума менее 80 % получены верные решения (ответы C и D). При уровне шума 80 % осуществлен один верный выбор и одна ошибка первого рода.

Таким образом, на тренировочной задаче подтверждается точность разработанного метода в условиях присутствия ограниченного аддитивного Гауссова шума.

ТАБЛИЦА II Значения показателей приоритетов вариантов ответов по третьей шкале, соответствующие изображениям с Гауссовым шумом

N	**Уровень шума**, %									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
A1	0.12	0.11	0.11	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16	0.22	0.11
B	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.11	0.35
C	0.57	0.57	0.57	0.54	0.55	0.48	0.49	0.29	0.45	0.19
D	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.31	0.28	0.46	0.22	0.35

Сравнение сценариев мультиномиального выбора с использованием трех шкал приоритетов представлено на рис. 2. В рассматриваемом примере задачи существует одно верное решение, но тестируемому заранее не известно общее число правильных ответов в конкретной задаче.

Значения измеренных приоритетов выбора вариантов ответов представлены в трех шкалах. Для осуществления выбора по шкале показателей степени подобия изображений (1 – штрих-пунктирная линия) необходимо предварительное определение значения границы порога верных решений, которое заранее не известно и при различном уровне шума в изображениях представляет отдельную задачу.

При использовании в примере нормированной шкалы показателей степеней подобия (2 – пунктирная линия) и значения порога равновероятных ответов (1/4) сразу три варианта рассматриваются как решение задачи, два из которых по условию является неверными и классифицируется как ошибки второго рода.

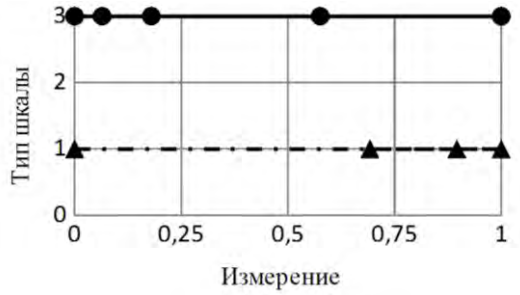


Рис. 2. Измерения приоритетов выбора по трем шкалам: шкале показателей степени подобия изображений (штрих-пунктирная линия 1), нормированной шкале степеней подобия (пунктирная линия 2) и шкале Коэна-Саати (линия 3).

По шкале приоритетов в результате применения метода парных сравнений (линия 3) найдено одно верное решение, соответствующие условиям в примере задачи (рис. 1).

Алгоритмы мультиномиального выбора реализованы в библиотеке программного агента. Шкалы второго и третьего типов применены при решении серии из 49 перцептивно-когнитивных задач модифицированного компьютерного теста Л. Терстоуна. При использовании второй шкалы получено 96 % верных решений в 87 % задач. Применение шкалы третьего типа при решении задачи множественного выбор показало 100 % точности.

Произведена проверка влияния нелинейной зависимости от уровня сигнала на точность решения задач множественного выбора. В соответствии с моделью уровня восприятия (2) модифицированы алгоритмы множественного выбора по второму и третьему типам шкал. Полученные результаты тестирования не показали наличия влияния на точность выбора, поскольку полностью совпали с уже представленными выше результатами.

Применение разработанного программного агента для решения серии перцептивно-когнитивных задач в компьютерной модификации методики Л. Терстоуна показало точное соответствие полученных результатов верными ответам.

Сравнение точности решений студентов и программного агента при выполнении модифицированного компьютерного теста Л. Терстоуна

Группе студентов (50 человек, возраст от 18 до 20 лет) было предложено выполнить модифицированный компьютерный тест Л. Терстоуна.

Среднее значение числа ошибок (*Pe*), совершенных студентами при выполнении серии из 49 задач (рис. 3) с 4 вариантами ответов составляет 0.52, минимальное значение 0.02 (в задаче №17), максимальное значение 1.33 (в задаче №43).

На основе числа допущенных ошибок и решенных студентами задач, по показателю когнитивно-стилевого потенциала полезависимость-поленезависимость (ПЗ-ПНЗ, Field Dependence-Independence, FDI) диагностированы студенты: с очень высоким уровнем ПНЗ (9.8 %); высоким уровнем ПНЗ (15.6 %); средним уровнем ПНЗ (21.6 %); средним уровнем ПЗ (27.5 %); высоким уровнем ПЗ (25.5 %).

Показатель ПЗ-ПНЗ характеризует индивидуальные различия студентов в учебном процессе. Быстрое и правильное обнаружение детали в изображениях характеризуется поленезависимостью, медленное и ошибочное – полезависимостью [22, 23].

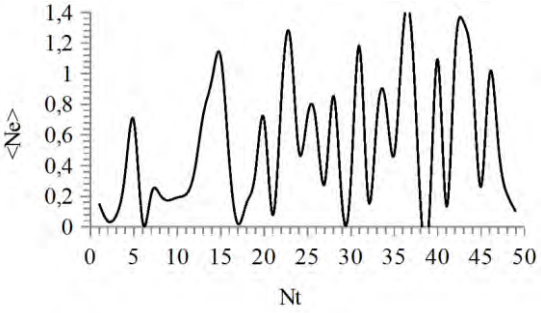


Рис. 3. Среднее число ошибок, совершенных студентами группы А при выполнении серии задач компьютерной модификации теста Л.Терстоуна.

По показателю когнитивно-стилевого потенциала ПЗ-ПНЗ программный агент может быть охарактеризован как обладающий «очень высоким уровнем ПНЗ», поскольку продемонстрировал способность безошибочно решать перцептивно-когнитивные задачи мультиномиального выбора в автоматическом режиме.

V. Заключение

Разработан метод решения перцептивно-когнитивных задач мультиномиального выбора в условиях визуальной неопределенности. Метод реализован в программе интеллектуального агента, который отличается открытой адаптивной архитектурой с подсистемами восприятия визуальной информации, принятия решений мультиномиального выбора и моторных действий по реализации выбора. Программа CAPTCHA-E зарегистрирована в государственном реестре [13].

Впервые в автоматическом режиме получено точное решение серии перцептивно-когнитивных задач модифицированного компьютерного теста «Скрытые фигуры» Л. Терстоуна с применением интеллектуального программного агента CAPTCHA-E.

Метод продемонстрировал способность точного решения задач мультиномиального выбора в условиях неполных изображений с аддитивным Гауссовым шумом, изменяющем до 80 % пикселей изображений.

Программный агент может быть использован при верификации компьютерных версий других тестов с когнитивно-перцептивными задачами, например, теста MFFT Дж. Кагана [24].

Планируется продолжить применение разработанного метода в области научных исследований и сфере обучения: при моделировании, анализе результатов решения серий тестовых задач, а также при разработке новых методик представления информации в визуальной форме, интеграции сенсорных и когнитивных способностей человека и программных агентов в киберфизических системах для развития технологий Industry 4.0.

Список литературы

[1] Romero D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund A. The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. // IFIP international conference on advances in production management systems. Springer. Cham. 2016. Pp. 677-686.

[2] Russell S., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. Pearson. 2020. 1166 p.

[3] Sreedevi A.G., Harshitha T.N., Sugumaran V., Shankar P. Application of cognitive computing in healthcare, cybersecurity, big data and IoT: A literature review. // Information Processing & Management. 2022. vol. 59. no. 2. Pp. 102888.

[4] Dang A.H., Kameyama W. SvgAI–Training Methods Analysis of Artificial Intelligent Agent to use SVG Editor. // 2019 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). IEEE. 2019. Pp. 1-8.

[5] Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection. // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. Pp. 779-788.

[6] Anderson P., He X., Buehler C., Teney D., Johnson M., Gould S., Zhang L. Bottom-up and top-down attention for image captioning and visual question answering. // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2018. Pp. 6077-6086

[7] Goyal Y., Khot T., Summers-Stay D., Batra D., Parikh D. Making the v in vqa matter: Elevating the role of image understanding in visual question answering. // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017. Pp. 6904-6913

[8] Sleit A., Saadeh H., Al-Dhamari I., Tareef A. An enhanced sub image matching algorithm for binary images. // American Conf. on Applied Mathematics. 2010. Pp. 565-569.

[9] Weinhaus F. Accelerated template matching using local statistics and fourier transforms. 2014.

[10] Thibeault C., Herve J. Y. Object Detection in Emulated Console Games. // 8th Annual International Conference on Computer Games, Multimedia and Allied Technology (CGAT 2015). 2015. vol. 1.

[11] Thurstone L. L. A factorial study of perception. University of Chicago Press.1944

[12] Котова Е.Е., Падерно П.И. Экспресс-диагностика когнитивно-стилевого потенциала обучающихся в интегрированной образовательной среде. // Образовательные технологии и общество. 2015. Т. 18. № 1. С. 561-576.

[13] Писарев И.А., Котова Е.Е., Писарев А.С. Программа решения перцептивно-когнитивных задач выбора в условиях визуальной неопределенности «Перцептивно-когнитивный агент CAPTCHA-E». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021669054, 23.11.2021. Заявка № 2021668335 от 18.11.2021.

[14] Gollin E.S. Developmental studies of visual recognition of incomplete objects. // Perceptual and Motor Skills. 1960. vol. 11. no. 3. Pp. 289-298.

[15] Шелепин Ю.Е., Шелепин Ю.Е. Инвариантность зрительного восприятия. // Экспериментальная психология. 2008. Том. 1, № 1. С. 7–33.

[16] Feng Q., Shanthikumar J.G., Xue M. Consumer choice models and estimation: A review and extension. Production and Operations Management. 2021.

[17] Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences New York. NY: Academic. 1988. P. 54.

[18] Sawilowsky S.S. New effect size rules of thumb. // Journal of modern applied statistical methods. 2009. Vol. 8. No. 2. Pp. 26.

[19] Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. // International journal of services sciences. 2008. vol. 1. no. 1. Pp. 83-98.

[20] David H.A. The method of paired comparisons. London. 1963. vol. 12. 120 P.

[21] Forgy E.W. Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications // Biometrics. 1965. vol. 21. Pp. 768-769.

[22] Ponte F.E., Costa-Lobo C. Field dependence-independence (FDI) cognitive style: The influence in memory tasks. 2018.

[23] Kotova E.E., Pisarev I.A. Researching Cognitive Tasks Solving Taking into Account Visual Uncertainty. // 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). IEEE. 2021. Pp. 127-130.

[24] Kagan J. Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo. // Journal of abnormal psychology. 1966. Vol. 71. No. 1. Pp. 17-24.

Блокчейн-платформы для токенизации репутационного капитала университета

Н. Н. Покровская [1, 2, 3], О. Я. Гелих[3]
[1]Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина);
[2]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
[3]Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена
[1]nnp@spbstu.ru, [2]nnp@herzen.spb.ru, [3]ogelich@ya.ru

М. Г. Гильдингерш[3], Э. Б. Молодькова[4], О. А. Попазова[5]
Санкт-Петербургский государственный экономический университет
[3]mgild@mail.ru, [4]eleonor036@yandex.ru, [5]ol-po@inbox.ru

***Аннотация*. Знание и репутация представляют собой предмет интереса, начиная с древнейших времен, но стали объектом для измерительных методик с середины XX века. Веберовский анализ рационализации и расколдовывания мира отражал задачи индустриального общества XX в., пост-модернизация второй половины прошлого века выразилась, как принято думать, в возвратном ходе маятника к пост-индустриализации (потребность в чуде позволяет маркетологам успешно продавать магию цвета, магию вкуса и проч. таинства) и одновременно в ре-индустриализации, но уже в форме роботизации (релокализации производств с увольнением сотен тысяч неквалифицированных сотрудников и наймом нескольких десятков высококвалифицированных профессионалов для обслуживания роботизированных линий и кибер-физических систем). Университет как социальный институт оказался одновременно и промышленным предприятием по массовому выпуску стандартных работников (что предполагает возможность биржевой торговли знаниями и компетенциями), и табуированным институтом, формирующим закрытый круг соратников и сподвижников («социальный капитал») на основе совместно прожитых эмоций восторга от процесса познания (культура вдохновения, в концепции конвенциональной экономики). В этой ситуации, применение блокчейна для цифровизации бренда университета может опираться на два разнородных фундамента – стандарт компетенций выпускников и невзаимозаменяемый социокультурный актив. В статье на основе теоретического социологического и институционального экономического анализа рассмотрены указанные две крайности для токенизации репутационного капитала университета и проведено сравнение наиболее широко распространённых блокчейн-платформ, формирующих глобальные сетевые сообщества университетов на основе выбора блокчейн-стандартов.**

Ключевые слова: блокчейн, токен, токенизация, интеллектуальный капитал, репутационный капитал

I. Введение

Блокчейн-технологии получили стремительный рост в начале второго десятилетия III тысячелетия. Публикация идей биткойна в октябре 2008 и ввод его в оборот в феврале 2009 г. привели к постепенному формированию доверия к данному инструменту и к расширению его применения как в финансовой сфере (начиная с 2012 г. можно говорить о росте и объемов, и разнообразия инструментов децентрализованных финансов), так и в цифровизации всего интернета вещей (Internet of Things, IoT) и интернета ценностей (Internet of Values, IoV).

Токены представляют собой отвлечённую ценность, воспринимаемую людьми, они являются абстрактными единицами измерения ресурсов, необходимых для обработки транзакции и записи ее в распределенный реестр. При этом объект такой транзакции, по сути, может быть любым. Культурные, интеллектуальные ценности в традиционном обществе имели форму очевидных и никогда не подвергавшихся критике фундаментальных основ сделанных выборов и принятых решений.

Социологический анализ ценностей, семантическая диагностика смыслов и значений, маркетинговые исследования приоритетов целевой аудитории и моделей выбора и критериев отражают один и тот же центральный научный вопрос – исследование причин деятельности, факторов, определяющих выбор и направляющих эволюцию человека и общества.

Социокультурные установления, представленные в шкале ценностей как принцип структурирования традиционного общества (в т.ч. инструменты доверия и репутации), сегодня обретают новую артикулированную форму Интернета Ценностей (IoV), невзаимозаменяемых токенов (NFT) и обмениваемых криптовалют (например, стабильные монеты, stable coins, равные объему ресурсов для удовлетворения вполне реальных потребностей, такие как криптомонета 1 Grid, равная праву на потребление 1 КВт/час в любой временной интервал).

Токенизация представляет собой механизм рационализации и расколдовывания мира, измеряемый в определенных валютах и показателях. Цифровые технологии помогают людям согласовывать представления и договариваться [1] о значимости и оценке различных элементов повседневной жизни, в т. ч. и институтов.

II. Репутационный капитал в глобальном Интернете Ценностей (IoV)

Университеты представляют собой основные субъекты в экономике знаний [2]. Высшие учебные заведения занимают ведущее место в обществе, где значимость компетенций и знаний определяет социальное положение человека [3]. Репутация отражает ключевые составляющие субъективно воспринимаемой перспективы эффективности навыков и знаний, полученных в конкретном вузе.

Явление репутации отражает, с одной стороны, распределенное восприятие в сознании людей, с другой,

усилия, предпринимаемые вузом для производства знаний, необходимых для достижения успешных результатов выпускниками конкретного образовательного учреждения. Баланс между деятельностью Университета и восприятием населения определяет репутацию, привлечение наиболее талантливых кадров и студентов (потребителей) находит отражение в понятии «капитал» – репутация является капиталом, если может создавать добавленную стоимость.

A. Блокчейн как технология постмодернистского децентрализованного мира

Блокчейн – это общедоступный журнал в цифровом формате, защищенный от несанкционированного доступа и хранящий записи транзакций в общедоступной или закрытой одноранговой сети (peer-to-peer, человек человеку). Реестр, распределенный между всеми узлами сети, непрерывно фиксирует историю транзакций активов между одноранговыми (одного порядка) узлами сети в виде блоков информации. Одобренные блоки транзакций связаны в цепочку от начального блока до последнего добавленного. Блокчейн выступает единым источником достоверных данных, и участники сети видят только те транзакции, которые относятся конкретно к ним [4].

Вместо обращения к посредникам при проведении транзакций узлы сети блокчейн используют специальный протокол консенсуса для согласования содержимого реестра и алгоритмы криптографического хеширования, а также цифровые подписи для обеспечения целостности транзакции и передачи ее параметры.

Каждый может размещать информацию в Интернете, любой может получить доступ к этой информации из любой точки мира (любое значение в любой точке мира, где будет доступен блокчейн и доступ в Интернет). Блокчейн-технологии позволяют глобальной социально-экономической системе согласовать в масштабе планеты понимание того, что важно и приемлемо обществом, а что отвергается. Пользователь должен иметь закрытый ключ, сгенерированный криптографическим алгоритмом, чтобы разрешить ему доступ только к тем блокам, которыми он владеет («владелец» блоков). Предоставляя кому-то свой закрытый ключ, пользователь передает этому человеку значение, которое хранится в определенном разделе цепочки блоков (например, право передачи актива). Новое доверие в обезличенном мире основано на проверке личности – никто не может изменить цепочку блоков без ключей, которые снабжены временными метками и хэшами (суммарными строками) во всех узлах.

Распределенные реестры – это копии на тысячах и миллионах вычислительных устройств (компьютеры, смартфоны и т. д.), которые снижают риск мошеннических транзакций. Алгоритмы криптографического хеширования гарантируют, что любое изменение входных данных транзакции приведет к другому значению хеш-функции в результатах вычислений, что указывает на то, что входные данные транзакции могут быть скомпрометированы. Электронные цифровые подписи гарантируют, что транзакции будут выполняться законными отправителями (подпись закрытыми ключами), а не злоумышленниками.

Децентрализованная одноранговая блокчейн-сеть лишает отдельных участников или группы участников возможности контролировать базовую инфраструктуру или дестабилизирует всю систему. Фактически система записывает хронологический порядок транзакций со всеми узлами сети, которые признали валидность транзакций посредством выбранной модели консенсуса. Результатом являются необратимые транзакции, согласованные всеми участниками сети децентрализованным образом.

B. Репутация как капитал и ее роль в цепочке создания стоимости на примере университетов

В обществе, где знания, образование и компетентность определяют успех, университеты являются действующими лицами, производящими главный фактор социальной результативности личности – использование изобилия данных для создания редкого дефицитного ресурса знаний, понимания, помогающих принимать решения.

В то же время быстрый инновационный рост определяет иллюзорность идей об «образовательном продукте» (или образовательной услуге). Если компания продает курсы обучения с практико-ориентированным результатом (навыки, умения), то понятие «услуга» может быть применимо для описания такого объекта рыночного обмена. Уже на следующее утро после окончания курсов сертифицированный специалист способен найти работу и реализовать усвоенные навыки в своей деятельности [5].

Но университеты предназначены для выработки мета-когнитивных навыков мышления, рассуждений, анализа и выводов. Этот «продукт» требует времени. Ум ученика может приобрести привычку анализировать и делать выводы лишь по прошествии нескольких месяцев и лет [6]. Репутация как рыночное явление помогает построить долгосрочную оценку влияния вуза на успех выпускников в условиях быстрой инновационной среды, его роли в обществе как социального института создания не столько знания и компетенций, сколько способности производить знания и компетенции. Репутация может создавать дополнительную ценность, поскольку покрывает разрыв между краткосрочными потребностями рынка труда (бизнеса) и долгосрочными потребностями общества (гражданственность, развитие личности, ответственность, чувство целостности, разнообразие, этика и т. д.).

Измерение репутации основано на следующих элементах ценностей, создаваемых университетами:

- социальная успешность выпускников, включающая трудоустройство, ренту и заработную плату, которую выпускник будет получать от работодателя за приобретенные навыки и знания;
- социальная интеграция студентов, когда человек с первого курса обучения входит в инклюзивную среду, располагающую к инициативе и самореализации, приглашающую к участию в любых общих мероприятиях университета (или факультета), в жизнь сообщества;
- социокультурное и гражданское достоинство, эстетика и этика жизни студентов, реализующих в своей повседневной деятельности систему ценностных приоритетов, лояльно и активно

продвигающих ценности, характерные для студенческого сообщества университета [7];

- научная результативность вуза отражает место вуза как лидера в области знаний на ментальной карте;
- экосистема университета отражает направленность на поддержку творчества и долгосрочную интеграцию инновационного поведения.

Репутация, понимаемая как фактор создания дополнительной стоимости, может рассматриваться как капитал. В данном случае представляется целесообразным оценивать его как особую Ценность в рамках глобального Интернета Ценностей.

III. Токенизация уникальных ценностей и нематериальных активов

Интеллектуальный капитал традиционно включает способности производить интеллектуальный результат, который в финансово-экономическом анализе отражается как нематериальные активы [5]. Восприятие возможной будущей ренты от инвестиций отражает идеалы вовлеченных лиц, и в то же время, когда люди верят в реальность, они строят эту реальность своими собственными повседневными решениями и действиями. «Нематериальный» характер и характер этих активов не означает нереальной стоимости такого рода активов.

Капитал отношений с клиентами и бренд – компоненты репутации, которые эфемерны, но представляют вполне явную стоимость акций организации на фондовой бирже. Токенизация репутации, в этом смысле, – следующий шаг от предпочтения брокеров покупать или продавать ценные бумаги игрока на рынке.

A. Незаменимые токены как документы нематериальных ценностей.

Ритейлеры сегодня открывают «рекомендационные машины», реализующие принцип клубной фильтрации признания системности в предпочтениях категорий людей. Вопрос сосредоточен на скорректированном механизме распределения людей по группам в соответствии с их запросами, интересами и потребительским поведением [8].

Университетские списки выпускников представляют собой, в определенном смысле, «механизм рекомендаций» или список влиятельных лиц, которые являются «эталонами», примерами для подражания. Их жизненные и профессиональные траектории привлекают молодых студентов к выбору вуза для копирования пути личностного развития личности. Жетоны репутации университета могли отражать и репутацию этих лиц [9].

Маркетинговые инструменты анализа используют оценку влияния в виде количества подписчиков в социальных сетях. Механизм рекомендаций для университета может быть построен на аналогичном принципе персонализированной оценки влияния действий человека на выбор населения.

B. Экосистемы и метавселенные: киберпространство для виртуальных соглашений

Построение пространства для накопления оценок и согласования общей итоговой оценки репутационного капитала может принимать форму конкретной экосистемы знаний. Оно могло бы учитывать количество вакансий (с компетенциями, необходимыми для работодателей) и заработную плату, выплачиваемую за какую-либо работу; но это «финансово-экономическое» значение будет иметь пробелы, такие как желание молодых людей принадлежать к сообществу, которое описывается личностным выбором.

Таким образом, финансовых механизмов недостаточно для оценки репутационного капитала университета. Необходимо построение конкретных площадок, которые будут учитывать комплексную оценку критериев оценки репутации вуза. Интересный и полезный пример создала Всемирная организация здравоохранения, которая в марте 2020 г. объединила медицинские карты людей во всем мире, чтобы помочь в анализе распространения пандемии. Медицинские записи отражают несколько требований, которым хорошо соответствуют технологии блокчейна: необратимая история фиксации фактов, высокий уровень достоверности, защищенности и конфиденциальности, децентрализованный принцип хранения и доступа.

Технология блокчейн уже используется в клинических испытаниях и успешно внедряется в цепочке поставок фармацевтической продукции. По ряду направлений необходимо подождать, пока нормативные требования станут более определенными, но тенденции говорят о скором разрешении всех разногласий за счет цифровой трансформации и построения киберфизических систем Интернета вещей [10] и Интернет ценностей.

В 2020 г. Ernst & Young Canada совместно с неправительственной организацией Canadian Blood Services протестировали концепцию использования токенизации для оптимизации цепочек поставок крови. Сам процесс поставки предполагает сбор большого количества данных, в том числе сведений о доноре, месте и условиях сдачи крови, получении плазмы и антител. Все они должны отслеживаться в мельчайших деталях, чтобы предотвратить потерю или нехватку материала. Чтобы решить эти проблемы, Ernst & Young Canada использовала частную сеть на основе блокчейна Ethereum для отслеживания данных из Canadian Blood Services и создала улучшенный контрольный журнал для крови и связанных с ней материалов.

Некоторые примеры потенциальных блокчейн-платформ перечислены в следующей таблице.

ТАБЛИЦА I БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕПУТАЦИИОННОГО КАПИТАЛА СОЦИАЛЬНОГО ИНСТИТУТА СОЗДАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАНИЙ

Плат-форма	**Основные функции платформы для оценки репутации**		
	Варианты адаптации	***Сфера***	***Примеры применения***
Ethereum	Открытый код	Социум, широкие области	Smart Fuel (в сочетании с Hyperledger)
Hyper-ledger	Закрытый код и кооперация с Ethereum	Корпоративное управление	Корпоративные системы (Hyperledger Fabric)
IBM	Условно закрытый код	Management	Logistics, Управление цепочками поставок
Ripple	Закрытый код	Finance	DeFi (децентрализованные финансы)

Составлено авторами.

2020 год дал ИТ-сектору несколько важных ориентиров, по инициативе Microsoft, IBM и Hyperledger была создана НПО Interwork Alliance (IWA), основной задачей которой является разработка стандартов для токенизированных экосистем. IWA фокусируется на вариантах использования токенов для устойчивого развития и торгового финансирования, а также на анализе многосторонних контрактов с использованием искусственного интеллекта.

Два гиганта, IBM и Maersk TradeLens, разработали и внедрили платформу технологий распределенного реестра в логистику и цепочку поставок грузов. Контейнерные перевозчики используют электронные накладные для обмена информацией внутри сети, данные о перевозках стали более прозрачными для управленческой системы, что повышает уровень доверия между участниками цепочки.

Например, некоммерческая организация OASIS Open отвечает за разработку стандартов для проектов с открытым исходным кодом в блокчейн-проектах, которые позволят в будущем активно продвигать корпоративные протоколы с открытым исходным кодом и будут способствовать развитию экосистемы блокчейна.

Платформы могут быть реализованы для построения обмена мнениями и оценками репутации учреждения на децентрализованной основе. Платформы токенизации репутации будут использовать преимущества публичных блокчейнов. Например, Ethereum предлагает пользователям решения для обеспечения безопасности и конфиденциальности. Гарантия прозрачности и в то же время сохранности информации может стать очень выгодным предложением для ряда компаний. На его основе можно строить бизнес-сценарии, такие как базовый протокол, криптография с нулевым разглашением, координация сложных и конфиденциальных рабочих процессов.

IV. Заключение

Блокчейн представляет собой проверенный временем математический алгоритм, основанный на принципах децентрализации хранения данных. Децентрализация представляет как преимущество снижения рисков, так и доступ к широкому кругу участников, которые могут внести свой вклад в оценку репутации социального института, такого как университет.

Список литературы

[1] United Nations. Economic and Social Council Harnessing blockchain for sustainable development : prospects and challenges. Geneva, 2021, March. Vol. 03052.

[2] Pokrovskaia N.N. Tax, financial and social regulatory mechanisms within the knowledge-driven economy. Blockchain algorithms and fog computing for the efficient regulation // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. 2017.

[3] Spivak V.A., Snisarenko S.O., Pokrovskaia N.N. Developing Global Qualification-Competencies Ledger on Blockchain Platform // Proceedings of 2018 17th Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region, PTES 2018. 2019.

[4] Trujillo J.L., Fromhart S., Srinivas V. Evolution of blockchain technology Insights from the GitHub platform // Deloitte Insights. 2017. P. 24.

[5] Cappelli L., Fedorov D.A., Korableva O.N., Pokrovskaia N.N. Digital Regulation of Intellectual Capital for Open Innovation: Industries' Expert Assessments of Tacit Knowledge for Controlling and Networking Outcome // Future Internet 2021, 13 (2), 44. https://doi.org/10.3390/fi13020044.

[6] Brusakova I. Cognitive Technologies Of Information Managements Of Business Processes Of The Digital Enterprises // Int. J. Adv. Inf. Sci. Technol. 2016. Vol. 5, № 1. P. 73–76.

[7] Scheffler I. Conditions of Knowledge: An Introduction to Epistemology and Education. Chicago: University of Chicago Press, 1978.

[8] Ababkova M.Y., Cappelli, L. D'Ascenzo F., Leontyeva V.L., Pokrovskaia N.N. Digital Communication Tools and Knowledge Creation Processes for Enriched Intellectual Outcome – Experience of Short-Term E-Learning Courses during Pandemic // Future Internet. 2021, Vol. 13 (2), 43. https://doi.org/10.3390/fi13020043

[9] Ababkova M.Yu., Leontyeva V.L., Pokrovskaia N.N. Intellectual Networking in Digital Education – Improving Testing for Enhanced Transfer of Knowledge // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 184.

[10] Brusakova I. Cognitive Technologies Of Information Managements Of Business Processes Of The Digital Enterprises // Int. J. Adv. Inf. Sci. Technol. 2016. Vol. 5, № 1. P. 73–76.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Методы и технологии проектирования и применения информационных систем

Магистрально-модульный принцип построения программного обеспечения информационных систем с микросервисной архитектурой
Верхова Г. В., Акимов С. В. 3

Модели и методы интеллектуального анализа данных в управлении проектами
Васильев А. А., Горячев А. В. 7

Структурное проектирование односкачковых ДКМВ радиосетей
Дорогов А. Ю. 13

Информационное сопровождение инновационных процессов в условиях цифровизации
Красовский Д. Л., Туккель И. Л. 17

Методы и технологии проектирования цифровых информационных моделей процессов вторичной переработки нефти
Чистякова Т. Б., Фураев Д. Н. 21

Интеллектуальные технологии управления структурами организационных систем массового обслуживания при нестационарном потоке заявок
Харитонов В. А., Кривогина Д. Н., Саламатина А. С., Ларионова Р. А., Саламатин А. А., Гусельникова Э. Д. 25

Подготовительный этап проекта внедрения ERP-системы: отличительные черты
Лончина А. Е., Лосева Д. М., Кораблев Ю. А. 29

Исследование процесса охлаждения масла в системе маслоснабжения газотурбинного двигателя
Мальцев П. А., Шатилова Н. А., Абрамкин С. Е. 33

Разработка информационной системы мониторинга электромагнитных полей электролизера Содерберга
Новожилов И. М., Беляевский О. А. 37

Разработка информационной системы мониторинга тепловых полей распределенной системы управления
Новожилов И. М., Михайлова Е. М., Ильюшина А. Н. 40

Построение информационно-аналитических средств киберфизических систем
Плахотников Д. П. 45

Анализ и разработка информационной системы идентификации пластового давления в газовой залежи при газовом режиме
Плотников А. В., Фёдоров М. С. 50

Определение типа наводок в принимающей антенне с применением машинного обучения в туманных вычислительных средах
Субботин А.Н. 54

Разработка комплексных алгоритмов для автоматизированных технологических комплексов
Абрамкин С. Е., Душин С. Е. 58

2. Технологии и системы управления инновационной деятельностью

Концептуальное моделирование организации
Прокофьев Г. И., Самохвалов Д. В., Шубин Р. В. 62

Повышение точности детектирования навигационного ориентира на основе методов компьютерного зрения в условиях недостаточной видимости
Беляев П. Ю., Неверов Е. А., Викснин И. И., Зикратов И. А. 66

Цифровые двойники измерительных процедур
Брусакова И. А. 70

Когнитивная визуализация многомерных распределений для выявления аномального поведения киберфизических систем
Горохов В. Л., Брусакова И. А. 73
Методы контроля подземного трубопроводного транспорта на основе дистанционных измерений
Вавилов Р. Е. 76
Организация безопасной посадки беспилотного летательного аппарата посредством компьютерного зрения в условиях потенциального искажения входной визуальной информации
Ким Ю. В., Викснин И. И., Гатауллин Р. И., Неверов Е. А., Кайсина И. А. 79
Применение интеллектуальных технологий для рыночного позиционирования драгоценных камней
Покровская Н. Н., Голохвастов Д. В. 83

3. Проектирование и обеспечение качества процессов и систем

Подсистема управления знаниями интеллектуального ситуационного центра
Симанков В. С., Бучацкий П. Ю., Бучацкая В. В., Теплоухов С. В. 87
Исследование влияния предобработки текстовых запросов на качество результата в СППР для службы технической поддержки
Лопатина А. С., Терещенко В. Н. 91
Детектирование аномалий в технологических процессах газотранспортной системы с использованием сетей с долгой краткосрочной памятью (LSTM)
Петрова А. К. 95
Анализ применения машинного обучения и нейросетей в управлении человеческими ресурсами на примере кейсов внедрения ботов
Покровская Н. Н., Спивак В. А., Петров М. А., Снисаренко С. О. 99
Расширение интеллектуальных технологий мягких архитектур интегрированных биометрических систем
Птицына Л. К., Жаранова А. О., Птицын Н. А., Белов М. П. 104
Применение генетического алгоритма для выбора оптимальной конфигурации САПР технологических процессов производства
Севастьянов М. С., Новакова Н. Е. 108
Исследование нейросетевых алгоритмов поиска ключевых слов для оптимизации работы СППР для службы технической поддержки
Терещенко В. Н., Лопатина А. С. 113
Интеллектуальные технологии формирования проективного мышления и управления научными исследованиями в системе представления знаний
Харитонов В. А., Кривогина Д. Н., Саламатина А. С., Гусельникова Э. Д., Спирина В. С., Марквирер В. Д. 117
Машинное обучение как новый этап в развитии Bussiness Intelligence-систем
Цуканова О. А., Ярская А. А., Торосян А. А. 120
Интеллектуальная информационная система оптимизации процесса производственного планирования
Чистякова Т. Б., Шашихина О. Е., Новожилова И. В. 124
Цикл безопасной разработки при проектировании программного обеспечения информационных систем
Лившиц М. В., Шестопалов М. Ю. 128
Применение методов бережливого производства для управления машиностроительным предприятием
Плонский В. Ю., Чистякова Т. Б. 132

4. Информационные технологии в образовании

Проблемы формирования компетентностных моделей на основе ФГОС для интеллектуальных агентов в средах обучения
Атто Карим 136
Междисциплинарная интеграция в проектном компоненте образовательного процесса на основе VR-технологий
Гунина Е. В., Литвинов В. Л., Федорова А. В., Федоров Я. В., Шиян А. А. 140

Автоматизированная система анализа когнитивной нагрузки в среде обучения Blended Learning
Котова Е. Е., Писарев И. А. 145
Методы анализа и оценки сложности тестовых заданий фондов оценочных средств дисциплины
Губин А. Н., Литвинов В. Л., Филиппов Ф. В. 149
Интеллектуальный программный агент для решения задач выбора в условиях неопределенности
Писарев А. С., Котова Е. Е. 152
Блокчейн-платформы для токенизации репутационного капитала университета
Покровская Н. Н., Гелих О. Я., Гильдингерш М. Г., Молодькова Э. Б., Попазова О. А. 157

Международная конференция

Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем

15 – 17 марта 2022

Подписано в печать 14.03.2022. Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 20,375
Тираж 50 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

IPSDQA.ETU.RU

197022, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5, литера Ф,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»