
Ontology of Designing

ISSN 2223-9537 (P)

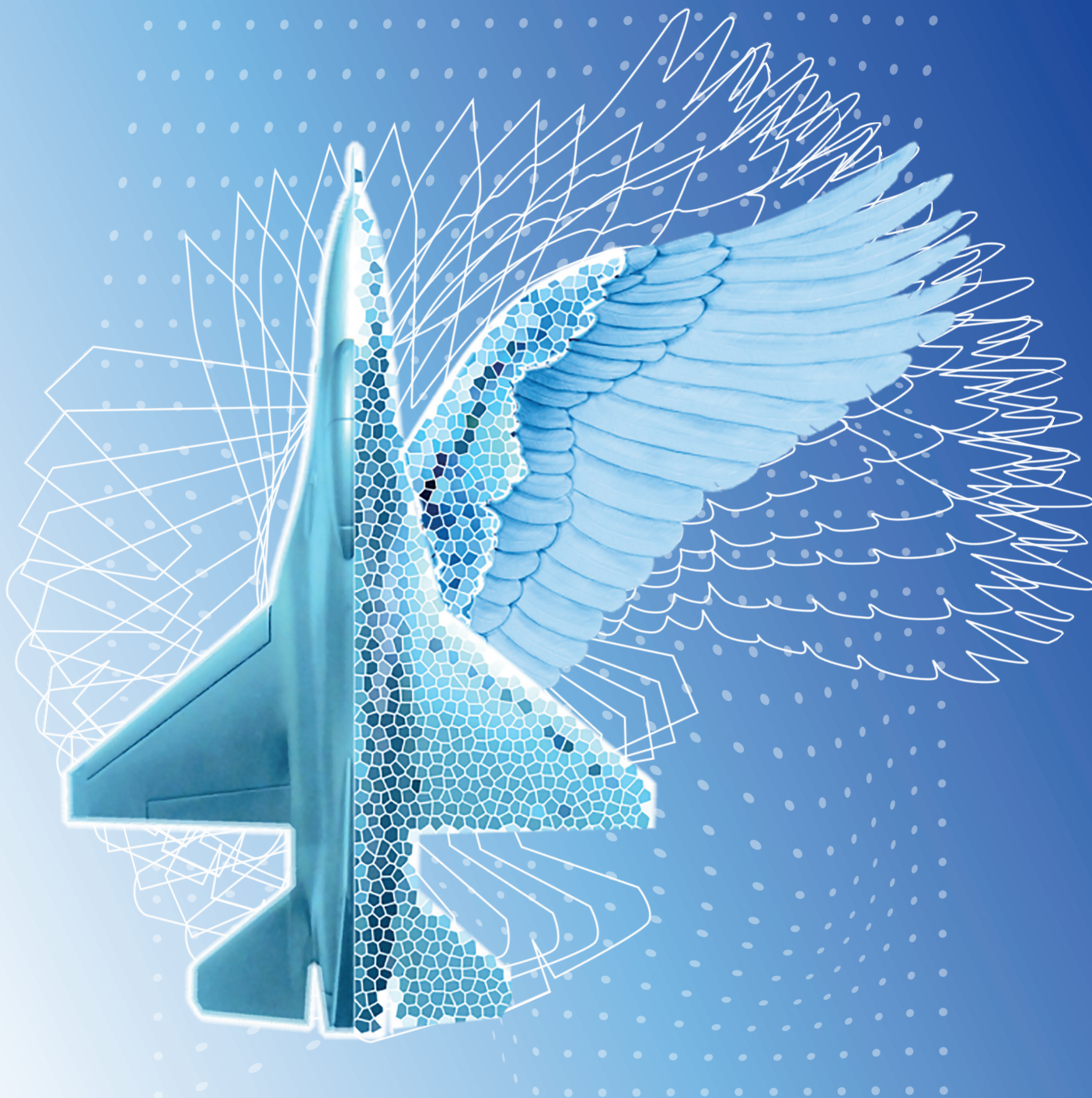
ISSN 2313-1039 (E)

ОНТОЛОГИЯ

Vol 13
2023
№3

Научный журнал -
Scientific journal

ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Передовые
инженерные
школы

Scientific journal

Volume 13

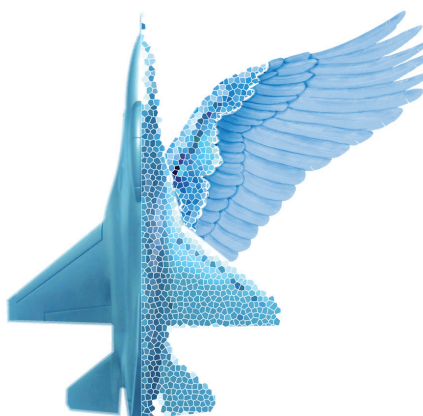
N 3

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 13

№ 3



2023

Editorial Board - Редакционная коллегия

Nikolay M. **Borgest***, Ph.D., Associate Professor, Samara University, Member of IAOA, AAAI. Samara, Russia
Stanislav N. **Vasiliev***, Doctor of Phys. and Math. Sciences, Professor, Academician of RAS, ICS RAS, Moscow, Russia
Tatiana A. **Gavrilova***, Doctor of Technical Sciences, Professor, GSOM SPbU, St.-Petersburg, Russia
Vladimir G. **Gainutdinov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, KNITU-KAI, Kazan, Russia
Vladimir V. **Golenkov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, BSUIR, Minsk, Belarus
Vladimir I. **Gorodetsky***, Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC «EVRIKA», St. Petersburg, Russia
Valeriya V. **Gribova***, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAS, Senior Researcher, IAPU of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Russia
Yury A. **Zagorulkov***, Ph.D., Senior Researcher, ISI of the Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia
Valery A. **Komarov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
Vladik **Kreinovich**, Ph.D., Professor, University of Texas at El Paso, El Paso, USA
Venedikt S. **Kuzmichev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
Victor M. **Kureichik***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Taganrog, Russia
Dmitry V. **Lande***, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, IPRI NASU, Kiev, Ukraine
Paulo **Leitao**, Professor at Polytechnic Institute of Bragança, Bragança, Portugal
Vladimir **Marik**, Professor, Scientific Director of the CIIRC of the Czech Technical University in Prague, Praha, Czech Republic
Lyudmila V. **Massel***, Doctor of Technical Sciences, Professor, ISEM of the Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia
Aleksandr Yu. **Nesterov**, Doctor of Philosophy, Professor, Samara University, Samara, Russia
Dmitry A. **Novikov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, ICS RAS, Moscow, Russia
Alexander V. **Palagin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NASU, Ins. of Cybernetics, Kiev, Ukraine
Semyon A. **Piyavsky**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow City Pedagogical University, Samara, Russia
Yury M. **Reznik**, Doctor of Philosophy, Professor, Institute of Philosophy of RAS, Moscow
George **Rzevski**, Professor, Open University, London, UK
Peter O. **Skobelev***, Doctor of Technical Sciences, «Smart solutions» Scientific Production C., Samara, Russia
Sergey V. **Smirnov***, Doctor of Technical Sciences, ICCS RAS, member of IAOA, Samara, Russia
Dzhavdet S. **Suleymanov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the AS of the RT, Kazan, Russia
Boris E. **Fedunov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russia
Altynbek **Sharipbay***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Artificial Intelligence, Astana, Kazakhstan

Боргест Николай Михайлович*, к.т.н., доцент, Самарский университет, член IAOA, AAAI. Самара, Россия
Васильев Станислав Николаевич*, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, Москва, Россия
Гаврилова Татьяна Альбертовна*, д.т.н., профессор, ВШМ СПбУ, Санкт-Петербург, Россия
Гайнутдинов Владимир Григорьевич, д.т.н., профессор, КНИТУ-КАИ, Казань, Россия
Голенков Владимир Васильевич*, д.т.н., профессор, БГУИР, Минск, Беларусь
Городецкий Владимир Иванович*, д.т.н., профессор, АО «Эврика», Санкт-Петербург, Россия
Грибова Валерия Викторовна*, д.т.н., член-корреспондент РАН, г.н.с., ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия
Загорюльков Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск, Россия
Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Крейнвич Владик, профессор, Техасский университет Эль Пасо, Эль Пасо, США
Кузьмичев Венедикт Степанович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Курейчик Виктор Михайлович*, д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
Ландэ Дмитрий Владимирович*, д.т.н., с.н.с., ИПРИ НАН Украины, Киев, Украина
Лейтао Пауло, профессор, Политехнический институт Браганса, Браганса, Португалия
Марик Владимир, профессор, научный директор ЧИИРК Чешского технического университета, Прага, Республика Чехия
Массель Людмила Васильевна*, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, Иркутск, Россия
Нестеров Александр Юрьевич, д.филос.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Новиков Дмитрий Александрович, д.т.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, Москва, Россия
Палагин Александр Васильевич, д.т.н., профессор, академик НАН Украины, Ин-т кибернетики, Киев, Украина
Пиявский Семён Авраамович, д.т.н., профессор, Московский город. педагог. университет, Самара, Россия
Резник Юрий Михайлович, д.филос.н., профессор, Институт философии РАН, Москва, Россия
Ржевский Георгий, профессор, Открытый университет, Лондон, Великобритания
Скобелев Петр Олегович*, д.т.н., ФИЦ СамНЦ РАН, Самара, Россия
Смирнов Сергей Викторович*, д.т.н., ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, член IAOA, Самара, Россия
Сүлейманов Джавдет Шевкетович*, д.т.н., профессор, академик АН РТ, Казань, Россия
Федунов Борис Евгеньевич*, д.т.н., профессор, ГосНИИ авиационных систем, Москва, Россия
Шарипбай Алтынбек*, д.т.н., профессор, Ин-т искусственного интеллекта, Астана, Казахстан

* - members of the Russian Association of Artificial Intelligence - члены Российской ассоциации искусственного интеллекта - http://www.raai.org/about/about.shtml?raai_list

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

Chief Editor	P.O. Skobelev	Samara, Russia	Главный редактор	Скобелев П.О. ФИЦ СамНЦ РАН, Самара, Россия
Deputy Chief Editor	S.V. Smirnov	Samara, Russia	Зам. главного редактора	Смирнов С.В. ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, Самара, Россия
Executive Editor	N.M. Borgest	Samara, Russia	Выпускающий редактор	Боргест Н.М. Самарский университет, Самара, Россия
Editor	D.M. Kozlov	Samara, Russia	Редактор	Козлов Д.М. Самарский университет, Самара, Россия
Technical Editor	D.N. Borgest	Samara, Russia	Технический редактор	Боргест Д.Н. Самарский университет, Самара, Россия
Executive Secretary	S.A. Vlasov	Samara, Russia	Ответственный секретарь	Власов С.А. Самарский университет, Самара, Россия

The journal has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's leading aggregator of full text journals, magazines and eBooks. The full text of JOURNAL can be found in the **EBSCOhost™** databases. The journal has been successfully evaluated in the evaluation procedure for the **ICI Journals Master List** 2014-2019 and journal received the ICV (Index Copernicus Value).

Журнал размещен в коллекции «Издания по естественным наукам» на платформе **EastView**.

Журнал включён в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук (Перечень ВАК с 01.12.2015) по научным специальностям 1.2.2., 2.3.1., 2.3.4., 2.3.5., 2.3.7., 2.3.8., 2.5.1., 2.5.13., 2.5.15., 5.12.4.

Журнал включен в список журналов, входящих в базу данных **Russian Science Citation Index (RSCI)** на платформе **Web of Science**. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ **1.280** (2015), **1.083** (2016), **0.993** (2017), **1.205** (2018), **0.835** (2019), **1.071** (2020), **0.989** (2021).

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-70157 от 16.06.2017 г. (ранее выданное свидетельство ПИ № ФС 77-46447 от 07.09.2011 г.)

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

Жаркое лето 23-го или холодное 53-го... 301-305

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Н.М. Боргест 306-332

Понятие «множество» в теории и практике проектирования

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.В. Миронов, А.С. Гусаренко, Г.А. Тугузбаев 333-351

Персонализированные шаблоны конструкторских документов в учебном проектировании:
онтологические аспекты и ситуационно-ориентированная реализация

А.В. Соловов, А.А. Меньшикова 352-367

Проектирование навигации по электронному курсу

А.Ю. Мясников 368-379

Проектирование компонентов бортовых кабельных сетей с учётом требований технологичности

Д.В. Денисов, М.Ю. Журавлев, Н.Ю. Медведева, Т.Д. Журавлева 380-391

Онтологические модели освоения городских территорий с позиций прикладной культурологии

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

А.А. Зуенко, О.Н. Зуенко 392-404

Поиск зависимостей в данных на основе методов удовлетворения табличных ограничений

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

С.А. Пиявский 405-423

Онтология направляемого развития научных способностей молодёжи.
Часть 1: основные понятия и модели

С.П. Орлов, С.В. Сусарев 424-436

Система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием
автономных транспортных средств

К.В. Шошина, Р.А. Алешко, В.В. Березовский, И.С. Васендина, А.С. Шошин, А.Т. Гурьев 437-454

Тематическое дешифрирование аэроснимков лесных территорий
на основе концептуального моделирования

С.Т. Дусакаева, В.В. Савинов 455-464

Мобильное приложение для поиска оптимального маршрута в университетском городке

Журнал ориентирован на учёных и специалистов, работающих по научным направлениям: онтологические аспекты общих вопросов формализации проектирования, прикладные онтологии проектирования, инжиниринг онтологий, методы и технологии принятия решений.

Правила подготовки рукописей статей размещены на сайте журнала «Онтология проектирования»:

http://agora.guru.ru/scientific_journal/, а также на <https://www.ontology-of-designing.ru/>.

Контент журнала распространяется по лицензии CC-BY 4.0 (Creative Commons Attribution 4.0 International License).



Контакты учредителей

ИПУСС РАН – СамНЦ РАН: 443020, Самара, ул. Садовая, 61, тел./факс.: +7 (846) 333 27 70, Смирнов С.В., smirnov@iccs.ru.

Самарский университет: 443086, Самара, Московское шоссе 34, корп. 10, тел.: +7 (846) 267 46 47, Боргест Н.М., borgest@yandex.ru.

ООО «Новая техника» (издательство): 443010, Самара, ул. Фрунзе, 145, тел.: +7 (846) 332 67 84, факс: +7 (846) 332 67 81.

Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр. К. Маркса, 24-76. Дата выхода 14.09.2023. Тираж 200 экз. Свободная цена. (6+).

CONTENTS

EDITORIAL

- The hot summer of 2023 or the cold one of 1953... 301-305

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

- N.M. Borgest** 306-332
The concept of a set in the theory and practice of designing

APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

- V.V. Mironov, A.S. Gusarenko, G.A. Tuguzbaev** 333-351
Personalized engineering documentation templates in instructional design:
ontological aspects and situation-based implementation
- A.V. Solovov, A.A. Menshikova** 352-367
Designing E-Course Navigation
- A.Yu. Myasnikov** 368-379
Designing onboard cable networks components considering the manufacturability requirements
- D.V. Denisov, M.Y. Zhuravlev, N.Y. Medvedeva, T.D. Zhuravleva** 380-391
Ontological models of the development of urban areas from the standpoint of applied cultural studies

ONTOLOGY ENGINEERING

- A.A. Zuenko, O.N. Zuenko** 392-404
Finding dependencies in data based on methods of satisfying table constraints

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

- S.A. Piyavsky** 405-423
Ontology of guided development of scientific abilities of young people.
Part1: basic concepts and models
- S.P. Orlov, S.V. Susarev** 424-436
Decision Support System for autonomous vehicle maintenance management
- K.V. Shoshina, R.A. Aleshko, V.V. Berezovsky, I.S. Vasendina, A.S. Shoshin, A.T. Guryev** 437-454
Thematic interpretation of aerial photographs of forest areas based on conceptual modeling
- S.T. Dusakaeva, V.V. Savinov** 455-464
Mobile application for finding the best route on campus

The journal is aimed at scientists and specialists working in the following research areas: ontological aspects of general issues of design formalization, applied design ontologies, ontology engineering, methods and technologies of decision making.

The current version of the Rules for the preparation of manuscripts of articles for the journal «Ontology of Designing» is on the journal website:



http://agora.guru.ru/scientific_journal/

The content of the scientific journal is distributed under a license **CC-BY 4.0**
(Creative Commons Attribution 4.0 International License)

Contacts of the Founders

Samara Scientific Center of the RAS: 61, Sadovaya st., Samara, 443020, Russia. Tel.: +7 (846) 333 27 70, S.V. Smirnov, smirnov@iccs.ru
Samara University: 34, Moskovskoye shosse, bldg. 10, Samara, 443086, Russia. Tel.: +7 (846) 267 46 47, N.M. Borgest, borgest@yandex.ru
New Engineering LLC (publishing house): 145, Frunze st., Samara, 443010, Russia. Tel.: +7 (846) 332 67 84, fax: +7 (846) 332 67 81



ОТ РЕДАКЦИИ

Жаркое лето 23-го или холодное 53-го... The hot summer of 2023 or the cold one of 1953...

У природы нет плохой погоды -
Каждая погода благодать...
Что тебе назначено природой,
Надо благодарно принимать.
Эльдар Рязанов¹

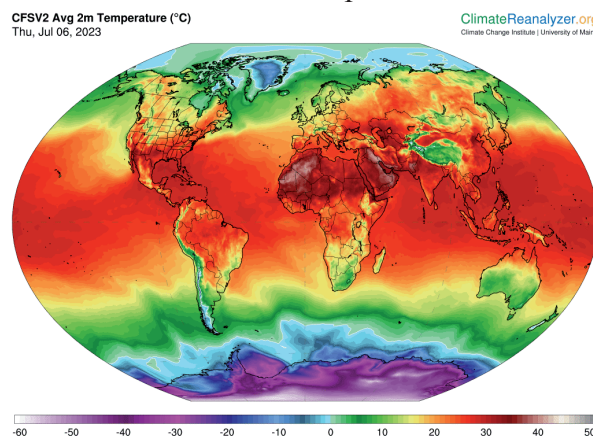
Все действительное – разумно,
все разумное – действительно
Георг Гегель

Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

Онтология как модель бытия, модель того, что есть на самом деле, безоценочная модель сущего, где нет и не может быть плохого и нет хорошего, описывает то, что есть. Это изучается, исследуется и принимается как данность, и в этом «живут» и «работают» различные сущности. Конечно, для конкретных сущностей, обладающих теми или иными принципами, критериями, предпочтениями, не всё, но может многое, в разных обстоятельствах происходящее в их среде «обитания», в их предметной области (ПрО) вызывает разные реакции, требующие разного количества энергии. Отсюда и оценки «плохой» или «хороший» связаны с необходимостью тех или иных затрат для поддержания жизнедеятельности этой сущности. Оптимум здесь видится в минимуме затрат энергии при максимуме продолжительности существования сущностей...

Холодное лето пятьдесят третьего² кому то может показаться не столь уж и холодным³, а уходящее жаркое лето 2023 года, установившее мировой рекорд по средней температуре на планете (см. рисунок⁴) со времени последнего ледникового периода⁵, также можно оценить как естественное природное явление, которое вполне может иметь место и, соответственно, иметь положительную во всех смыслах коннотацию.

Интересно сопоставить видение «плохой» и «хорошей» погоды различными моделями искусственного интеллекта (ИИ), которые доступны в Интернете (т.н. чат-боты, в т.ч. на русском языке, см. таблицу).



Самый жаркий день на планете
за всё время наблюдения

¹ Великий режиссёр Эльдар Александрович Рязанов (1927-2015) родился в Самаре и одно время жил в доме на улице Фрунзе, где сейчас находится его музей, а напротив музея дом, построенный французским подданным Петром Николаевичем Франшвилем, где и располагается издательство «Новая техника»... Мир тесен.

² См. например, фильм «Холодное лето пятьдесят третьего...» — советская детективная драма 1987 года.

³ https://ru.wikipedia.org/wiki/Амнистия_1953_года.

⁴ Визуализация средневзвешенных по площади суточных средних значений температуры воздуха по данным сайта *Climate Reanalyzer* самого жаркого дня - 6 июля 2023 года. https://climatereanalyzer.org/clim/t2_daily/.

⁵ By *Seth Borenstein*. For the third time this week, Earth sets an unofficial heat record. What's behind those big numbers? Published 8:52 AM GMT+4, July 7, 2023.

Таблица – Сравнение ответов чат-ботов⁶ на вопросы о погоде (орфография и пунктуация сохранены)

Чат-бот	https://chat-gpt.org/ru/chat	https://gpt-open.ru/	https://t.me/chatgpt_gpt4bot
	А	В	С
Вопрос	У природы есть плохая погода?		
Ответ	Да, у природы может быть плохая погода. В зависимости от местоположения и времени года, погодные условия могут быть неблагоприятными для жизни людей и животных. Это может включать такие явления, как сильные дожди, грозы, ураганы, торнадо, снегопады, сильные ветры и т.д. Эти погодные условия могут вызывать различные проблемы, включая угрозу для безопасности, разрушение сельскохозяйственных угодий, наводнения, пожары и другие стихийные бедствия.	Природа сама по себе не определяет погоду как «хорошую» или «плохую». Погода может быть благоприятной или неблагоприятной для разных видов живых организмов или для различных деятельности людей. Например, для некоторых растений и животных жаркое лето может быть благоприятным, так как они лучше адаптированы к высоким температурам, в то время как для других организмов это может быть неблагоприятным, особенно если нет достаточного доступа к воде или происходит высушивание почвы. То же самое относится и к холодному лету - для некоторых видов организмов оно может быть благоприятным, а для других - неблагоприятным. Оценка погоды как «хорошей» или «плохой» обычно зависит от потребностей и предпочтений конкретных организмов или людей.	Да, природа может порой создавать плохую погоду. Это может быть связано с различными факторами, такими как изменение сезонов, климатические условия, атмосферные процессы и природные бедствия. Плохая погода может включать в себя сильные дожди, снегопады, грозы, торнадо, ураганы и т.д. Однако, то, что мы считаем «плохой» погодой, может быть полезным и необходимым для природы и экосистемы.
Вопрос	Какова коннотация выражений «жаркое лето» и «холодное лето»?		
Ответ	Выражение «жаркое лето» имеет положительную коннотацию и обозначает, что лето очень теплое, солнечное и приятное. Это может ассоциироваться с пляжным отдыхом, отпуском, волнующими приключениями и радостью. С другой стороны, выражение «холодное лето» имеет отрицательную коннотацию и означает, что лето непривычно холодное или прохладное. Это может вызывать разочарование или нарушение ожиданий, особенно если ожидалось теплое солнечное время года для активностей на открытом воздухе.	Выражение «жаркое лето» обычно имеет положительную коннотацию и ассоциируется с теплым и солнечным временем года, когда можно наслаждаться отпуском, пляжем, открытыми пространствами и активными видами отдыха. Это может вызывать чувство радости, свободы и приятных воспоминаний. С другой стороны, выражение «холодное лето» имеет отрицательную коннотацию и может отражать неприятные ассоциации с холодным и необычно прохладным временем лета, когда погода не соответствует ожиданиям, и традиционные летние занятия, такие как купание в море или загар на солнце, ограничены. Это может вызывать чувство разочарования или недовольства. Однако, стоит учесть, что коннотация этих выражений может различаться в разных контекстах и для разных людей.	Выражение «жаркое лето» обычно имеет положительную коннотацию и описывает сезон с высокими температурами, ярким солнцем и возможностью наслаждаться теплыми днями и летними развлечениями, такими как купание в море или отдых на природе. С другой стороны, выражение «холодное лето» имеет отрицательную коннотацию и указывает на сезон с низкими температурами, прохладными или дождливыми днями, когда летние радости могут быть ограничены или не такими приятными. Это может быть связано с плохой погодой или необычно прохладным климатом для лета. Коннотация этих выражений может варьироваться в разных контекстах и зависит от индивидуального восприятия каждого человека.

⁶ ChatGPT (от англ. *Generative Pre-trained Transformer* - генеративный предварительно обученный трансформер) — чат-бот с ИИ, способный работать в диалоговом режиме на естественных языках.

Эти чат-боты условно обозначены **А**, **В** и **С**. Из таблицы видно, что чат-боты **А** и **С** близки в своих ответах на первый вопрос, в то время как ответы на второй вопрос оказались более близкими у чат-ботов **В** и **С**. В целом, ближе всего к позиции авторов этого обращения ответы у чат-бота **В**. Попытки узнать у наших «братьев по разуму» - какое лето было холоднее: 1953 года или 2022 года (годы выбраны произвольно) в России и, в частности, в Самаре - оказались безуспешными. Но полученные ответы дают надежду на успех «младших» братьев в будущем (орфография и пунктуация сохранены).

А: «Ясное дело, что я не могу обратиться к конкретным метеорологическим данным для лета 2022 года, поскольку они ещё не были собраны на настоящий момент. Однако, я могу предоставить информацию о том, какое лето было холоднее в прошлом в России и Самаре на основании доступных данных. Отчеты о погоде 1953 года в настоящее время недоступны, но можно сказать, что в то время Россия была известна своими прохладными летами. Погода в Самаре может быть довольно переменчивой, с временами относительного прохладного лета. Однако, точной информации о погоде в Самаре в 1953 году у меня нет. Как только будут доступны данные о погоде лета 2022 года, можно будет провести сравнение с прошлыми годами и сказать, какое было холоднее. В любом случае, погода может сильно варьироваться от года к году, и результаты будут исключительно статистическими».

В: «Как ИИ, я не могу предоставить актуальные данные о погоде в конкретные годы или регионы. Рекомендую обратиться к современным метеорологическим источникам или архивам погоды для получения точной информации о температурных условиях в указанные годы и места».

С: «К сожалению, у меня нет доступа к актуальным историческим климатическим данным или специфической информации о погоде в конкретных регионах, таких как Самара, Россия. Я рекомендую обратиться к метеорологическим службам или официальным источникам, таким как местные метеорологические учреждения или сайты, чтобы получить подробную информацию о средних температурах лета в разных годах в Самаре или других регионах России».

Прогнозы на лето 2023 года, построенные на различных моделях, были самыми разными⁷. Некоторые из них случайным образом оправдались, хотя истинные закономерности, формирующие климат на планете, никому не известны, т.к. в используемых моделях учитываются лишь те факторы, которые успели себя проявить в прошлом.

Здесь стоит оговориться, что и в онтологических моделях всегда стремятся определить наиболее существенные признаки (атрибуты) исследуемых сущностей, которые в итоге определяют их поведение и прогноз на будущее. Но в сложных системах и протекающих в них процессах количество потенциальных акторов (влияющих факторов) существенно больше, чем выявленных. В этих системах время от времени «просыпаются» и проявляют себя «спящие» факторы (акторы), ранее до поры до времени не влиявшие и, соответственно, не учитываемые. В таких случаях возрастает потребность в онтологиях исследуемых ПрО, где учёт этих факторов можно «проигрывать» на моделях, «пробуждая» различные «спящие» факторы и «спящих» акторов. В моделях, построенных на нейронных сетях, важно учитывать онтологии ПрО, которые позволят в т.ч. дать объяснительную компоненту этим «разумным» системам.

Трудно не согласиться с двумя такими важными качествами ИИ, как автономность и адаптивность⁸. Но те же качества характеризуют и сущности с биологическим интеллектом, которые автономно и вместе со своими соплеменниками адаптируются под любую погоду, строя дома, насыщая их необходимыми артефактами, осваивая территории и создавая среду,

⁷ См. например: *Ian Shine*. Is 2023 going to be the hottest year on record? Jul 6, 2023. <https://www.weforum.org/agenda/2023/07/climate-2023-hottest-year-on-record/>; Синоптики объяснили аномально холодное лето-2023 в России. 29 июня. <https://dzen.ru/a/ZJ0GKlv180K-fUql>; Жара отменяется? Метеоролог рассказал, каким будет лето 2023. Россиянам обещали аномально теплый сезон. 17 Мая 2023. <https://7days.ru/lifestyle/family/zhara-otmenyaetsya-meteorolog-rasskazal-kakim-budet-leto-2023.htm>; Аномальной жары не будет: синоптик рассказал, какое лето ждет россиян в 2023 году. 12.05.2023: <https://runews.biz/anomalnoj-zhary-ne-budet-sinoptik-rasskazal-kakoe-leto-zhdet-rossiyan-v-2023-godu>; Предстоящее лето в России может стать самым жарким за полтора века. 5 мая 2023. <https://iz.ru/1508581/2023-05-05/predstoiashchee-leto-v-rossii-mozhet-stat-samym-zharkim-za-poltora-veka>;

⁸ *Душкин Р.В.* Искусственный интеллект. М.: ДМК Пресс, 2019. 380 с. <https://www.litres.ru/roman-dushkin/iskusstvennyy-intellekt/>.

в которой им для продолжительного существования требуется минимально необходимое количество доступной энергии. Энергопотребление выступает как важнейший критерий для оценки жизнеспособности живой материи на протяжении всего жизненного цикла её существования. Этот критерий также актуален и для создаваемых человеком артефактов⁹. Но если человечество научилось добывать и экономить необходимую ему энергию, то вопрос о продолжении своего существования на дальнюю перспективу остаётся открытым. Природа терпеливо наблюдает за человеческой реакцией, предлагая «жару» и «холод» и надеясь на разумный исход, который видится в поиске истины, в адекватных моделях бытия, в согласии и мире, в объединении усилий онтологов и проектантов.

Монозукури или обращение к авторам

Монозукури (монодзукури) является японским термином и буквально означает «производство» или «изготовление вещей». Моно - это то, что сделано, а зукури означает акт изготовления. При этом монозукури подразумевает нечто большее, чем технология, близкое к понятиям «мастерство» и «искусство», где акцент делается не на мастере, а на «вещи», которая производится. Монозукури - это синтез технологического мастерства и духа японской производственной практики, включающего искреннее отношение к производству с гордостью, мастерством и самоотверженностью, стремление к инновациям и совершенству.¹⁰

Монозукури - это производство, которое находится в гармонии с природой и представляет ценность для общества. Монозукури наделяет работников всеми полномочиями, обучая справляться с различными ситуациями, чтобы сформировать чувство сопричастности, проявляя гордость и страсть к своей работе. Монозукури представляет философию производителя, уходящую корнями в японские традиции производства, - это философия, сосредоточенная на том, чтобы ценить простые радости жизни. Вот фрагмент текста из статьи, посвящённый применению монозукури в жизни пишущего на эту тему автора¹¹:

«Когда я пишу эту статью, мне нравится думать, что я применяю немного монозукури прямо сейчас. Сегодня я проснулся в 4 утра, чтобы у меня было больше времени написать и провести исследование. Я также пропущу статью через редакторский процесс, состоящий из трёх частей, чтобы улучшить её, чтобы её было легче читать. Раньше я просто проводил какое-то смутное исследование и выпаливал что-то на странице, когда мне хотелось. Теперь я с большим почтением отношусь к писательской практике. Даже самые обыденные части редактирования больше не тривиальны.

Наша работа – это процесс творчества, а мы – творцы. Как заявляет монозукури, это требует почтения, вызывает к лучшим усилиям, которые мы можем приложить...

Название этой статьи указывает на способ сделать обыденные вещи интересными. Это именно то, как вы это делаете с монозукури. Когда мы делаем акцент на «вещи», а не на мастере или результате, наш мир меняется: обыденность становится важной; бессмысленное обретает смысл; малое становится бесконечно большим.

...По сути, вы можете начать ценить множество простых жизненных удовольствий в течение дня, привнося осознанность в свою жизнь всякий раз, когда считаете нужным...»

Подобной философии придерживается и наша редакция, которая призывает уважаемых авторов, присылающих свои работы в журнал, искренне, страстно и с гордостью проводить свои исследования, получать истинное удовольствие от нового результата, с радостью делиться им с коллегами. А наша редакция и уважаемые члены нашей редколлегии постараются сделать всё, чтобы читатель по достоинству оценил наш с Вами труд.

⁹ Боргест Н.М., Кузьмичев В.С., Маслов В.Г. Энергопотребление как критерий оптимизации летательных аппаратов и их двигателей / В кн.: Научные чтения по авиац. и космонавтике. 1980 г. АН СССР. – М.: Наука, 1981. – 215 с.

¹⁰ Venkatesha Babu. Japan's Culture of Craftsmanship. What Indian manufacturing can learn from Monozukuri - the latest import from Nippon. Print Edition: Apr 24, 2016. <https://www.businesstoday.in/magazine/features/story/what-indian-manufacturing-can-learn-from-monozukuri-63994-2016-04-02>

¹¹ Erik Brown. Monozukuri: The Japanese Art of Appreciating Life's Mundanities. A philosophy centered around appreciating the simple pleasures of life. 4 May 2023. <https://historyphilosophyaction.substack.com/p/monozukuri-the-japanese-art-of-appreciating>.

«Don't Worry, Be Happy»

В холода, в холода...
Неспроста, неспроста,
От родных тополей
Нас далекие манят места, —

Будто там веселей.
Неспроста, неспроста...
Как нас дома ни грей,
Не хватает всегда...

Владимир Высоцкий

«Мороз и солнце; день чудесный!..» так в стихотворении «Зимнее утро» великий русский поэт А.С. Пушкин соединил тепло и холод, обозначив это радостным восклицанием! «В холода, в холода от насиженных мест...» призывает нас другой гений русской словесности В.С. Высоцкий, отправляя в иные, неизведанные и манящие этим места. «Не беспокойся, будь счастлив» – изречение индийского философа Мехера Баба – стало ключевым в популярной песне американского музыканта Бобби Макферрина¹². Не менее популярно и выражение «*Take easy and be happy*». Лаконично выразился Гераклит: «Жизнь – это борьба». К. Маркс утверждал: «Счастье в борьбе!». Русский писатель И.А. Гончаров соединил эти мысли: «Жизнь – борьба, в борьбе – счастье». Перечень цитат можно бесконечно продолжить, но ясно одно - удобства, комфорт ограничивают развитие, для которого нужны трудности, проблемы, сложности. Воспитание в комфорте, как правило, не рождает гениев и спартанцев. Поэтому цель – усложнить жизнь:

«Таким образом, [в наше время] остаётся только один недостаток... отсутствие трудности. Из любви к человечеству, из отчаяния от своего неловкого положения... от неспособности сделать что-либо легче того, что уже сделано... я понял, что это моя задача: создавать трудности везде».¹³

Природа настолько «мудра», что, наряду со своим внешним проявлением в виде изменчивости погоды, создаёт нам «искусственные» трудности, которые заставляют нас развиваться и искать пути выхода. Каждый на своём месте и вместе сообща.

В номере

В разделе «Общие вопросы формализации проектирования: онтологические аспекты» обсуждаются важные для онтологии понятия «множество» и «класс».

В разделе «Прикладные онтологии проектирования» в ПрО, связанной с обучением, рассматриваются применение шаблонов конструкторских документов в учебном проектировании и навигация по электронному курсу. В области проектирования бортовых сетей предлагается метод учёта требований технологичности. Наибольшую дискуссию вызовут модели освоения городских территорий, представленные с позиций прикладной культурологии. Журнал продолжает расширять спектры проектных ПрО и взглядов лиц, влияющих на проектную деятельность и представляющих свои принципы и формализмы, с надеждой не пропустить важные атрибуты в разрабатываемых онтологических моделях.

В разделе «Инжиниринг онтологий» предлагается поиск зависимостей в данных на основе метода удовлетворения табличных ограничений.

В разделе «Методы и технологии принятия решений» рассматриваются методы и приложения для оценки и принятия решений в различных ПрО. Для оценки научных способностей молодёжи предлагаются порядковые оценочные шкалы, для управления техническим обслуживанием автомобилей и для тематического дешифрования снимков лесных территорий – соответствующие информационные системы, для поиска оптимального маршрута в кампусе – мобильное приложение, облегчающее навигацию в университетском городке.

Несмотря на прошедшую летнюю жару и предстоящий зимний холод, наш журнал продолжает объединять онтологов и проектантов в научном поиске истины.

Ontologists and designers of all countries and subject areas, join us!

¹² Don't Worry, Be Happy. https://ru.wikipedia.org/wiki/Don't_Worry,_Be_Happy.

¹³ Erik Brown. A tried and tested way that makes everything around you easier. Great thinkers' advice on dealing with the many difficulties of life. 12 June 2023. <https://historyphilosophyaction.substack.com/p/a-tried-and-tested-way-that-makes>.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 004.8:001

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-306-332



Понятие «множество» в теории и практике проектирования

© 2023, Н.М. Боргест

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия
Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

Аннотация

Понятие «множество» – одно из ключевых понятий математики и не только. Для развития дискуссии приводятся оценки значимости «множеств» в проектировании, сгенерированные большими языковыми моделями, как некий обобщающий взгляд на важность этого понятия. Приводится разбор понятий «множество» и «класс» в математике и инженерии. Показана множественность их интерпретаций и различие в разных сферах применения, напрямую связанная с понятием «элемент множества». В проектировании понятие «множество» рассматривается в различных аспектах и наполняется различным содержанием. В первую очередь – это множество потребностей, которые непрерывно возникают и на удовлетворение которых направлена проектная деятельность, сопровождаемая множеством участвующих в ней субъектов проектирования. Это также множество уже созданных артефактов (прецедентов), которые являются аналогами и прототипами для проектанта, но по тем или иным основаниям не удовлетворяют возникающим потребностям субъектов. Это множества: проектных параметров и проектных переменных разрабатываемого объекта; критериев оценки нового артефакта; исходных предпосылок, данных и условий, включая ограничения; моделей, описывающих проектируемый объект; методов принятия решений и, наконец, множество проектных решений. Объективно существующее множество значений исходных данных и критериев оценки в проектировании может рассматриваться и рассматривается как неопределённость (неопределённое множество), как данность, которую надлежит раскрыть, сужая область решений, понижая мощность множеств. В практике проектирования (снятие неопределённости, вырождение множественности возможных значений проектных параметров и т.п.) всегда стремятся к синглтону (множеству с единственным элементом), т.е. к тому проектному решению, которое будет воплощено в конструкцию, технологию или систему.

Ключевые слова: системный анализ, проектирование, множество, класс, классификация, неопределённость, многокритериальность, мультиагентные технологии, онтология.

Цитирование: Боргест Н.М. Понятие «множество» в теории и практике проектирования // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №3(49). С.306-332. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-306-332.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, код научной темы FMRW-2022-0030.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Множество – самое широкое понятие математики, логики и не только [1]. Утверждение, приведённое в математической энциклопедии: «Понятие множества принадлежит к числу первоначальных математических понятий и может быть пояснено только при помощи примеров» [2], почти дословно повторяет слова Исаака Ньютона: «При изучении наук примеры полезнее правил», приведённые в статье [3]. Отсылка к примерам при пояснении какой-либо

теории, метода или понятия есть результат недостаточной их проработанности, отсутствия строгой и чёткой их формулировки, что кроется в относительной бедности вербального описания [4], его ограниченности [5], и отсутствия непротиворечивого обобщения декларируемой теории или обсуждаемого понятия. То же имеет место и в случае понятия «множество», когда нет ясных и чётких атрибутов, классифицирующих элементы того или иного множества, состоящего из элементов, обладающих в свою очередь множеством атрибутов, *значениями которых пренебрегают*. Понятийный выход видится в делегировании атрибутирования элементов множества другому понятию – «класс», который предполагает описание атрибутов его членов (экземпляров класса). При этом уникальность значений свойств каждого экземпляра класса (элемента множества), обусловленная бесконечностью описывающих его атрибутов, затрудняет идентификацию принадлежности элемента к множеству, а соответственно его мощности или границ как в теории познания, так и в проектной деятельности.

В математике, где математические объекты, к которым относится «множество», создаются путём идеализации свойств, дело обстоит немного проще, чем в действительности. Идеализации бывают разных форм, включая абстракции, приближения, галилеевские идеализации и даже вымыслы [6]. Процесс идеализации характеризуется отвлечением от свойств и отношений, присущих предметам реальной действительности, и введением в содержание образуемых понятий таких признаков, которые не могут принадлежать их реальным прообразам, но позволяют построить идеальные объекты [7]. Здесь классические примеры с числами, простыми фигурами и другими математическими объектами позволяют выстраивать различные операции над абстрактными множествами [1, 2].

Совсем иначе в реальной жизни, где абстракции с трудом находят себе место, а бесчисленное множество атрибутов реальных объектов живой и неживой природы (естественных и искусственных) подтверждают тезис об их уникальности и неповторимости (как биометрических данных человека, так и параметров и характеристик проектируемых и производимых артефактов). При всей уникальности объектов в реальной действительности понятие «множество» востребовано не только для поиска обобщающих знаний в природе, построения различных теорий, но и для проектирования артефактов, их классификации и оценки. Яркий пример – периодическая система химических элементов, в которой Д.И. Менделеев предложил классификацию различных свойств химических элементов [8] в зависимости от заряда их атомного ядра, что позволило разложить на группы, периоды и блоки первооснову понятия «элемент» как составной части бесконечного множества различных веществ и материалов.

В теории проектирования, теории множеств, также как и в онтологии [9, 10], наряду с понятием «множество» широко применяется понятие «класс». Стоит отметить, что в проекте словника словаря проектанта, предложенного автором в [11], термин «класс» присутствует. Данная статья дополняет этот виртуальный словарь понятием «множество»¹. Схожесть и различие этих понятий применительно к проектированию составляют предмет анализа. При этом целью статьи является попытка упорядочить представление используемого понятия «множество» в теории и практике проектирования. Для этого в теории надлежит обратиться к философии и к математике, в которых формируются все ключевые понятия, применяемые в т.ч. в проектной деятельности.

Начать обсуждение исследуемого понятия автор решил, обратившись к ставшим модным сейчас и широко обсуждаемым искусственным нейронным сетям и машинному обучению (см. например [12-16]), которые в свою очередь послужили основой для построения больших языковых моделей [17-19].

¹ Есть мнение, что проектанты могут абстрагироваться от «своего» понятия «класс» и работать с множествами, но это не «их» понятие, не из их словника, а понятие математики.

1 «Множество» в проектировании по «оценке» больших языковых моделей

Неожиданно, но наступил тот час, когда у авторов научных статей появилась возможность сверять свои идеи и результаты их воплощения с тем, что «думает» или «знает» на этот счёт его искусственный собрат – искусственный интеллект (ИИ) и, в частности, большие языковые модели (БЯМ). Ещё совсем недавно такая сверка авторского представления об исследуемом предмете проходила в долгом поиске близкой и подобной информации с использованием различных поисковых систем и браузеров или же путём просмотра печатных изданий (журналов, монографий), «лежащих под рукой».

Мощность всемирной сети достигла апогея, когда практически оцифрованы все полученные в прошлом знания, а новые сразу формируются в цифровом виде. Именно это и послужило основой для появления БЯМ, способных на основе технологии нейронных сетей построить генеративные предварительно обученные трансформеры (*Generative pre-trained transformer, GPT*), ставшие основой для генеративного ИИ (ГИИ) [20]. Существует множество ГИИ, в котором начинают складываться группы (или классы) наиболее распространённых моделей.

Генеративно-сопоставительные сети (*Generative adversarial networks, GAN*) используют две нейронные сети: генератор создаёт содержимое (например, изображение человеческого лица), дискриминатор оценивает подлинность содержимого (т.е. является ли лицо естественным или поддельным).

Модель генеративной диффузии (*The generative diffusion model, GDM*) создаёт содержимое, беря распределение обучающих данных, постепенно добавляя шум и изучая, как восстанавливать данные в обратном порядке процесса добавления шума.

Геометрическое глубокое обучение (*Geometric deep learning, GDL*) описывает модели ИИ по геометрическим принципам (сетки; преобразования в однородных пространствах; графики; векторные расслоения).

Модели с *GPT* генерируют текст на разных языках и могут создавать тексты по любой теме и стилю написания.

Верхняя часть рисунка 1 из работы [20], посвящённой тенденциям и перспективам ГИИ, иллюстрирует компромисс между точностью и сложностью для некоторых продуктов ГИИ. Нижняя часть этого рисунка служит наглядным примером классификации различных моделей ГИИ. Визуализация классификации (параметризации, группировки) множества, в данной случае моделей ГИИ, на подмножества (классы, группы) – важная форма освоения любой предметной области (ПрО), а в построении и изучении онтологии – особенно [21].

Так, например, согласно [22] можно выделить четыре варианта использования визуализации онтологий: *редактирование, обучение, проверка и совместное использование*. На рисунке 2 показана группировка девяти распространённых вариантов использования визуализации онтологии: создание иллюстраций отдельных частей онтологии (uc1) или её общего содержания (uc2); обнаружение структурных ошибок (uc3); проверка адекватности модели (насколько хорошо онтология покрывает свою ПрО) (uc4); построение новой онтологии (uc5); адаптация существующей онтологии, например, путём добавления сущностей или её

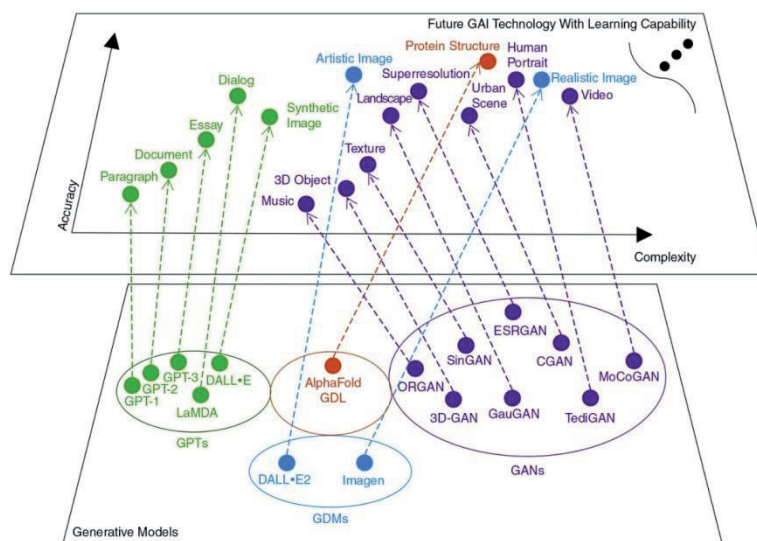


Рисунок 1 - Ландшафт ГИИ: генеративные модели и артефакты [20] (визуализация классификации множества моделей ГИИ)

настройки на конкретную цель (uc6); анализ онтологии для создания или аннотирования данных с её помощью (uc7); решение о пригодности онтологии для конкретной цели (uc8); анализ онтологии с целью сопоставления её с другой онтологией (uc9). Категории и варианты использования могут быть расположены в двухмерном пространстве, как показано на рисунке 2. Одно измерение (*Development*) определяет активно ли пользователь разрабатывает онтологию или только использует её. Другое (*Detailed*) кодирует требуемый уровень детализации, т.е. достаточно ли обзора (например, иерархии классов) или необходимо подробное представление (например, аксиомы, относящиеся к классу) [21].

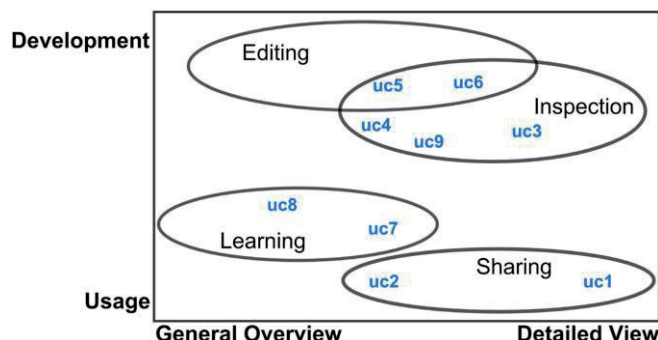


Рисунок 2 – Категории и варианты использования онтологий [21]

Влияние ГИИ на множество сторон нашей жизни иллюстрирует рисунок 3

(фрагмент карты трансформации²). На этой карте, подготовленной экспертами Всемирного экономического форума, постоянно отслеживаются и учитываются изменения, происходящие в развитии и использовании ИИ, его влияние на мировую экономику и социальные процессы³.

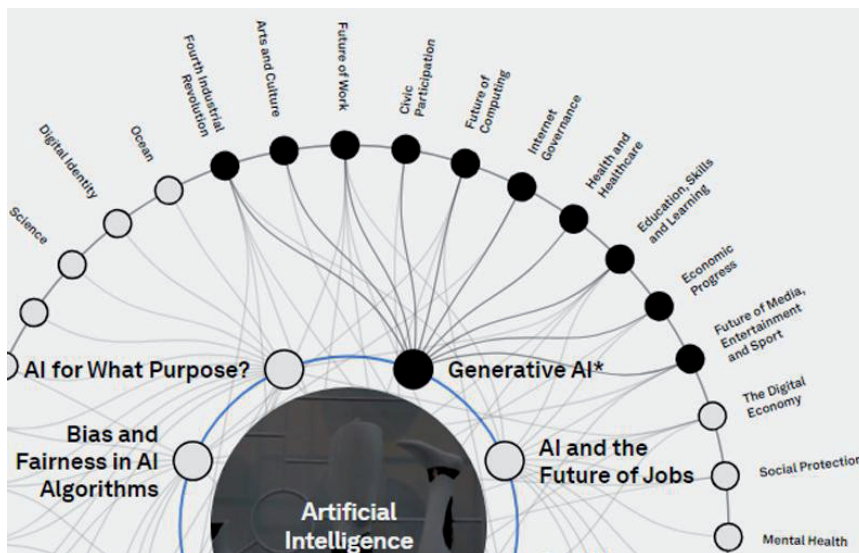


Рисунок 3 – Ожидаемое влияние ГИИ по оценке Всемирного экономического форума на экономику, искусство и культуру, трудоустройство, гражданское общество, образование, здравоохранение, промышленность, управление и др.

Текст, размещённый в разделе ИИ на сайте этого форума и объясняющий что такое ГИИ, написан с использованием языковой модели ИИ и смог сгенерировать новую статью на основе предоставленного запроса⁴. Т.е. ГИИ (чат-бот *OpenAI ChatGPT*) получил информацию о том, о чём писать, а затем сгенерировал статью на основе этой информации [23].

Подобным способом автор решил воспользоваться, обратившись к доступным языковым моделям, с одной стороны, с целью развития дискуссии об использовании текстов, сгенерированных БЯМ, с другой стороны, чтобы получить некоторый обобщающий взгляд ГИИ на оценку значимости понятия «множество» в проектировании.

² Artificial Intelligence: Generative AI*. Curation: Desautels Faculty of Management, McGill University. © 2023 World Economic Forum. <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000pTDREA2/key-issues/a1G680000000Ne9EAE>.

³ Artificial Intelligence. Curation: Desautels Faculty of Management, McGill University. © 2023 World Economic Forum. <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000pTDREA2>.

⁴ Для подготовки текста использовался следующий запрос: «Напишите текст из 300 слов, содержащий нетехническое описание генеративного ИИ, его возможностей и ключевых проблем, связанных с ним».

Первой была нейросеть *YandexGPT*⁵ - виртуальный голосовой помощник Алиса. Обращение к *YaGPT* с близкими по содержанию вопросами было сделано дважды с перерывом в одни сутки (11 и 12 июля 2023 года). В таблице 1 приведён результат (здесь и далее орфография и пунктуация сгенерированных ответов языковых моделей сохранены), из которого видно не только стилистическое и содержательное разнообразие сгенерированных в целом адекватных ответов, но и некоторые спорные утверждения и частные, не всегда убедительные, примеры. Во всех случаях подчёркивается важность исследуемого понятия и актуальность рассматриваемой в статье темы.

Таблица 1 – Ответы *YandexGPT* на вопросы

Вопрос. Понятие «множество» в теории и практике проектирования	
Множество - это совокупность элементов, которые имеют общие свойства и характеристики. В теории проектирования множество может использоваться для описания множества объектов, процессов или функций, которые связаны между собой. Например, множество может быть использовано для описания множества требований к проекту, множества методов проектирования, множества этапов проектирования и т.д. В практике проектирования множества могут использоваться для организации и управления проектом. Например, множество целей проекта может быть определено на начальном этапе проекта и использоваться для определения приоритетов и планирования работ. Множество ресурсов может быть использовано для определения необходимых ресурсов для выполнения проекта, а множество рисков может быть использовано для выявления и управления рисками проекта. Множества могут использоваться для анализа и оптимизации проекта. Например, можно использовать множество для определения оптимального маршрута доставки товаров, множества для определения наиболее эффективного способа производства продукта и т.д.	Множество - это совокупность элементов, которые объединены по определенным признакам и свойствам. В теории и практике дизайна, множество может быть использовано для представления различных объектов, форм, цветов, текстур и других элементов. Множество может использоваться для создания композиции, выбора цветовой гаммы, распределения элементов на странице или экране. Например, если вы хотите создать сайт с ярким и динамичным дизайном, вы можете использовать множество ярких цветов и контрастных элементов, чтобы привлечь внимание пользователей. Кроме того, множество также может быть использовано при разработке пользовательского интерфейса. Например, множество кнопок на экране может быть организовано по функциональности или по категориям, чтобы пользователи могли легко найти нужную им функцию. В целом, множество является важным инструментом в теории и практике дизайна для создания гармоничного и эффективного дизайна.
Вопрос. Расскажите о понятие «множество» в теории и практике проектирования	
Понятие "множество" является фундаментальным в теории и практике проектирования. Множество - это набор объектов, которые могут быть объединены в одну группу на основе общих признаков или свойств. Множества могут быть различными по своей структуре, размеру и типу объектов, которые они содержат. Например, множество может содержать числа, буквы, слова, цвета, объекты разных типов и т.д. В теории проектирования множества используются для определения набора требований, ограничений и условий, которые должны быть учтены при разработке проекта. Например, если мы разрабатываем приложение для мобильных устройств, то множество может включать в себя требования к операционной системе устройства, его аппаратным характеристикам, а также к функциональности приложения. Кроме того, множества могут использоваться для определения возможных вариантов решения проблемы или задачи, которые могут возникнуть при проектировании. Например, мы можем определить множество возможных вариантов дизайна интерфейса приложения, множество возможных алгоритмов обработки данных и т.д. Таким образом, понятие множества является важным инструментом в теории и практике проектирования, который позволяет определить набор требований, условий и возможных решений для разработки проекта.	Понятие "множество" в теории и практике проектирования относится к концепции, которая используется для описания и организации элементов в рамках проекта. Множество может быть представлено в виде списка, таблицы или графа, где каждый элемент имеет определенный идентификатор и может быть связан с другими элементами. Например, множество может использоваться для описания различных элементов проекта, таких как задачи, ресурсы, сроки и т.д. Элементы множества могут быть организованы по различным критериям, таким как важность, сложность, приоритет и т.д. Это позволяет более эффективно управлять проектом и принимать решения на основе более точной информации. Также множество может использоваться для определения зависимостей между элементами проекта. Например, если задача A зависит от задачи B, то задача A должна быть выполнена перед задачей B. Это помогает избежать ошибок и задержек в проекте. Наконец, множество может служить основой для создания моделей и диаграмм, которые помогают визуализировать проект и его элементы. Например, диаграммы Ганта или сетевые диаграммы могут использоваться для визуализации зависимостей между задачами и ресурсами. Таким образом, понятие "множество" играет важную роль в теории и практике проектирования, помогая организовать элементы проекта, определить зависимости между ними и создать более точные модели и диаграммы для визуализации проекта.

Полученное разнообразие ответов в рамках одной нейросетевой модели имеет место и в ответах, сгенерированных другими моделями. В таблице 2 представлены сгенерированные ответы на тот же вопрос других нейросетей семейства *GPT*.

⁵ Виртуальный голосовой помощник *YandexGPT*. <https://yandex.ru/project/alice/yagpt>.

Таблица 2 – Сгенерированные ответы нейросетевых моделей семейства GPT на вопрос: «Расскажите о понятии «множество» в теории и практике проектирования»

https://chat-gpt.org/ru/chat	https://gpt-open.ru/	https://t.me/chatgpt_gpt4bot	https://turbotext.pro/ai
В теории и практике проектирования, понятие «множество» является одним из основных элементов. В математике, множество определяет совокупность различных элементов, которые собираются в рамках некоторых общих характеристик или свойств. В проектировании, множество может использоваться для классификации и организации элементов в различных контекстах. В проектных архитектурных системах, множество может представлять собой коллекцию различных компонентов, таких как элементы интерфейса пользователя, модули программного обеспечения или документы. Организация этих компонентов в виде множества позволяет легче управлять их связями, взаимодействием и операциями. Например, в проекте создания веб-сайта, множество может представлять собой набор страниц, каждая из которых имеет свои свойства и функции. Понятие множества широко используется не только в архитектуре информационных систем, но также в промышленном и гражданском дизайне. Например, при проектировании автомобилей или мебели, проектировщики могут создавать множество моделей или вариантов, каждая из которых имеет определенные характеристики и стилистику. Проектирование на основе множества позволяет анализировать проблемы и задачи с различных углов зрения, учитывать разные варианты и альтернативы и разрабатывать оптимальные и гибкие решения. Множество может также использоваться для классификации и фильтрации элементов в рамках проектных процессов. В целом, понятие множества в теории и практике проектирования играет важную роль в организации и структурировании элементов, а также в создании гибкой и эффективной системы.	В теории и практике проектирования, понятие «множество» используется для описания совокупности элементов, которые имеют общие характеристики или свойства. Множество включает в себя различные элементы, которые могут быть объектами, данными, функциями или любыми другими сущностями, в зависимости от контекста проектирования. В теории множеств, множество определяется как коллекция уникальных элементов, которые могут быть любого типа. Множество может быть конечным или бесконечным, и его элементы могут быть упорядочены или неупорядочены. Важными операциями над множествами являются объединение, пересечение, разность и дополнение. В контексте проектирования, множество может использоваться для описания группы объектов или данных, которые связаны между собой и имеют общие свойства. Например, в проектировании баз данных, множество может представлять собой набор записей или сущностей, которые имеют одинаковую структуру или атрибуты. Множество также может использоваться для организации функций или модулей в программном проектировании. Использование множеств в проектировании позволяет более эффективно организовывать и структурировать данные, объекты или функции, а также облегчает выполнение операций и анализ на основе общих характеристик или свойств. Оно также позволяет более гибко и эффективно управлять и обрабатывать большие объемы информации.	В теории и практике проектирования, понятие «множество» играет важную роль. Оно представляет собой совокупность элементов, которые объединены по определенному признаку или общей характеристике. Множество может быть использовано для описания и организации данных, объектов, функций, процессов и других аспектов проектирования. В теории множеств, основной терминологией являются элементы и операции над множествами. Элементы - это отдельные объекты, которые составляют множество. Операции включают объединение, пересечение и разность множеств, а также дополнение и декартово произведение. В теории множеств также существуют аксиомы, определяющие свойства множеств и их операций. В контексте проектирования, множество может быть использовано для классификации и организации данных или объектов. Например, в объектно-ориентированном программировании, классы объектов могут быть объединены в множество для более удобной структуризации и управления. Множества также могут использоваться для фильтрации и выборки данных, например, при проектировании баз данных. Кроме того, множества могут быть использованы для определения связей и зависимостей между различными элементами проектирования. Например, в анализе и проектировании систем, множества могут помочь в определении взаимосвязей между компонентами системы или в моделировании потоков данных и взаимодействий. Важно отметить, что понятие множества в проектировании может быть применено к различным областям и дисциплинам, включая программирование, архитектуру, инженерию, управление проектами и другие. Гибкость и универсальность понятия множества делает его ценным инструментом в проектировании, помогая организовать и структурировать сложные системы и данные.	Понятие "множество" играет важную роль в теории и практике проектирования, а также во многих других областях знания, включая математику, информатику, философию и логику. В контексте проектирования, множество представляет собой совокупность элементов, объединенных определенными характеристиками или свойствами. Множество может быть определено как коллекция объектов или элементов, которые обладают общими признаками или связями. Элементы множества могут быть физическими объектами, абстрактными понятиями или даже другими множествами. Например, множество "фрукты" может включать элементы, такие как яблоко, груша и апельсин. В проектировании, множества часто используются для классификации и организации данных и элементов. Они предоставляют удобный способ группировки связанных элементов в единое целое. Например, веб-дизайнер может использовать множество "цвета" для определения палитры цветов, которые будут использоваться в дизайне веб-сайта. Архитектор может использовать множество "материалы" для определения набора материалов, которые будут использоваться в строительстве здания. Множества также могут быть использованы для определения отношений и связей между элементами. Например, в базах данных множество "клиенты" может быть связано с множеством "заказы" посредством отношения "заказы клиента". Это позволяет проектировщикам легко управлять и анализировать данные, используя операции на множествах, такие как объединение, пересечение и разность. Важно отметить, что в теории множеств существуют строгие правила и аксиомы, которые определяют их свойства и операции. Например, аксиома экстенциональности утверждает, что два множества считаются равными, если они содержат одни и те же элементы. Также существуют аксиомы, определяющие операции на множествах, такие как объединение, пересечение и дополнение. В заключение, понятие "множество" играет важную роль в теории и практике проектирования, предоставляя удобный способ организации и классификации данных и элементов. Оно позволяет проектировщикам структурировать информацию, определять отношения и связи между элементами, а также выполнять операции на множествах для управления и...

В таблице 3 представлены сгенерированные ответы нейросетью семейства *GPT* на уточняющий вопрос, рассматривающий понятие «множество» и его использование отдельно в теории и отдельно в практике проектирования.

Таблица 3 – Сгенерированные ответы на вопросы: «Понятие «множество» и его использование: в теории проектирования; на практике в проектировании» нейросети семейства *GPT* (<https://chat-gpt.org/ru/chat>)

Понятие «множество» и его использование	
в теории проектирования	на практике в проектировании
Понятие «множество» в теории проектирования относится к совокупности уникальных элементов, которые могут быть связаны определенными правилами или условиями. Множество представляет собой концепцию, используемую для классификации и структурирования данных и объектов в проектировании. Множества могут быть использованы в теории проектирования для разделения исследуемых элементов на группы, что помогает описать различные свойства и характеристики объектов. Например, в проектировании веб-сайта можно создать множество «пользователи», чтобы классифицировать их по ролям, таким как администраторы, модераторы или обычные пользователи. Это позволяет разработчикам определить различные права и доступы для каждой группы пользователей. Множества могут также использоваться для определения отношений и соединений между объектами в проектировании баз данных. Например, в модели данных можно создать множество «студенты» и множество «курсы», а затем определить связи между ними, такие как «студенты, записанные на курс» или «курсы, преподаваемые определенным преподавателем». Это позволяет разработчикам структурировать и хранить данные эффективным способом и обеспечивает возможность выполнения сложных запросов и операций. Множества также могут быть использованы для создания классификаций и группировок элементов в проектировании интерфейсов. Например, в дизайне пользовательского интерфейса можно создать множество «кнопки», чтобы группировать различные кнопки в зависимости от их функций или контекста использования. Это помогает пользователю легче ориентироваться и взаимодействовать с интерфейсом. В общем, понятие «множество» в теории проектирования используется для классификации, структурирования и связывания элементов, чтобы создать более организованные и эффективные системы, интерфейсы и модели.	Понятие «множество» в математике относится к совокупности элементов, которые имеют общие характеристики или свойства. Множество может быть определено явно, перечисляя его элементы, или же указав на общие правила или условия, которым должны удовлетворять элементы множества. В проектировании множество используется для организации данных в таблицы, отношения или коллекции. Оно помогает структурировать информацию и облегчает ее обработку. Примеры использования множеств в проектировании: 1. В базах данных: Множества используются для организации данных в таблицы, отношения или коллекции. Например, в реляционной модели данных каждая таблица представляет собой множество записей, где каждая запись содержит набор атрибутов. 2. В программировании: Множества используются для хранения уникальных элементов без учета порядка. Они могут быть использованы для удаления дубликатов в массивах или списках. Также множества используются для проверки принадлежности элемента к определенному множеству. 3. В проектировании интерфейсов: Множества могут быть использованы для классификации и организации функциональности в интерфейсах. Например, множество кнопок на панели инструментов может представлять набор различных операций или возможностей. 4. В фазе анализа и проектирования систем: Множества могут быть использованы для описания и классификации объектов и их свойств в системе. Например, при проектировании множества правил и условий для системы управления запасами или при определении категорий продуктов в интернет-магазине. Множества являются мощным инструментом в проектировании, позволяющим организовывать и структурировать данные и объекты в системе. Их использование способствует более эффективной обработке информации и повышает гибкость и модульность системы.

Т.к. охват текстов в БЯМ не является константой, то их ответы на заданные повторно вопросы дословно не повторяются. Значительное влияние на содержание ответов оказывает и контекст предыдущих вопросов, если общение с БЯМ происходит в рамках одного сеанса. Полученные ответы ГИИ содержат различные утверждения, которые для полноты должны иметь доказательную базу, ссылки на источники, обосновывающие и аргументирующие «высказанные суждения» (сгенерированные тексты).

С вопросами: «Как можно проверить достоверность информации, которую вы предоставляете? Можно ли узнать авторов той информации, которую вы обрабатываете?» автор обратился к этим же моделям с целью получить соответствующий ответ. Результат сгенерированных текстов с разной степенью обстоятельности приведён в таблице 4.

Следует отметить, что «честные ответы», представленные *GPT* на собственную оценку достоверности генерируемых ими текстов, дают надежду на перспективы использования этих моделей ГИИ при их дальнейшем развитии. На текущий момент «ГИИ - это тип ИИ, который создаёт новое содержание на основе шаблонов и данных, из которых он извлёк уроки» [23]. Качество исходных данных, их верификация и идентификация во многом определяют адекватность результата генерации текста и возможности его дальнейшего использования. «Поэтому важно использовать предоставленную информацию с осторожностью и осу-

ществлять дополнительные проверки, особенно в случаях, когда речь идёт о критически важных вопросах или принятии решений» (см. таблицу 4, ответ <https://turbotext.pro/ai>).

Таблица 4 – Сгенерированные ответы нейросетевых моделей семейства *GPT* на вопросы: «Как можно проверить достоверность информации, которую вы предоставляете? Можно ли узнать авторов той информации, которую вы обрабатываете?»

https://gpt-open.ru/	https://chat-gpt.org/ru/chat	https://turbotext.pro/ai
Как искусственный интеллект, я получаю информацию из различных источников, включая общедоступные базы данных, Интернет и другие публичные источники. Я не имею возможности проверять достоверность информации или узнавать авторов, так как моя задача - предоставлять ответы на вопросы на основе имеющейся информации. Важно всегда самостоятельно проверять и подтверждать информацию, особенно если она критически важна или может повлиять на принятие решений.	Как виртуальный помощник, я не могу предоставить информацию о моих авторах или об источниках, используемых для обработки текста. Однако, я основан на модели языка GPT-3, которая обучается на огромном объеме текстовых данных из Интернета. Важно отметить, что я не способен оценивать достоверность информации, так как не могу проверять факты или подтверждать их источники. Всегда рекомендуется проверять информацию, полученную из различных источников, особенно если она имеет значение для ваших личных или профессиональных решений. Верификация информации может быть выполнена путем обращения к надежным источникам, факт-чекерам, экспертам или сравнения информации из разных источников. Будьте внимательны и критически оценивайте полученную информацию перед ее использованием.	Как модель искусственного интеллекта, я предоставляю информацию, основываясь на обширных данных и источниках, на которых я была обучена. Однако, я не имею возможности проверить актуальность, достоверность или авторство конкретной информации. Важно отметить, что я не могу предоставить информацию об авторах или источниках конкретных данных, которые я обрабатываю. Я использую обширный набор данных, собранный из различных открытых источников, включая Интернет, чтобы обучиться и создать свои ответы. При использовании информации, которую я предоставляю, важно применять критическое мышление и проверять факты, особенно если их точность имеет большое значение. Рекомендуется обращаться к надежным источникам, проверять информацию у различных источников и обратиться к экспертам в соответствующих областях знаний для подтверждения достоверности. Надежность и точность информации, предоставляемой мной, должны быть основаны на обширных данных исходного обучающего набора. Однако, всегда возможно наличие ошибок или неточностей в различных ответах. Поэтому важно использовать предоставленную информацию с осторожностью и осуществлять дополнительные проверки, особенно в случаях, когда речь идет о критически важных вопросах или принятии решений.

В работе, опубликованной 27 июля 2023 года в журнале «Природа машинного интеллекта» [24], для понимания пользователем сложных моделей предложен метод объяснения предсказаний этих моделей на основе интерактивной диалоговой системы *TalkToModel*, которая позволяет получить объяснения БЯМ с помощью диалогов на естественном языке. По оценкам авторов 73% работников здравоохранения согласились использовать *TalkToModel*, наряду с существующими системами, для понимания модели прогнозирования заболеваний; 85% специалистов по машинному обучению согласились, что система *TalkToModel* проста в использовании и эффективна для объяснения.

Краткий экскурс в понятийные возможности современных БЯМ даёт основания полагать, что разумное их использование (наряду с Википедиями) позволяет быстро войти в тему и получить общее представление о предмете. При этом неслучайная одушевлённость ответов (БЯМ используют первое лицо в своих ответах, см. таблицу 4) нейросетевых моделей семейства *GPT* выделяет ГИИ в новый, особый класс сущностей, обладающих возможностью интерпретировать себя «сознающими» агентами в море собранных текстов. Но заявления ГИИ о том, что «...для подготовки ответа **Я** использовал свои знания в области математики и информатики, а также общедоступные источники, такие как учебники по теории множеств и структурам данных»⁶, без указания на конкретные источники и авторов формирует в отношении БЯМ синдром «средней температуры по больнице», включающий проверенные-достоверные и устаревшие-ошибочные знания (что также объективно присуще и естественному интеллекту).

Ярким примером «бездоказательных» решений, открытых в математике, рождённых в естественной нейронной сети человеческого мозга, являются математические достижения индийского математика Шринива-

⁶ Фрагмент ответа Генератора контента *TurboText* (<https://turbotext.pro/ai>) на вопрос: «Поясните понятие «множество» в теории проектирования и укажите те источники, которыми вы пользовались для подготовки ответа?»

са Рамануджана⁷. Его коллега и учитель английский математик Г.Х. Харди заметил, что Рамануджан «сочетал в себе способность к обобщению, чувство формы и способность к быстрой модификации своих гипотез, которые часто были поразительными... Ограниченность его знаний была столь же поразительной, как и их глубина. Это был человек, который мог составлять модульные уравнения и теоремы... на неслыханные порядки, чьё мастерство в области непрерывных дробей было ... выше, чем у любого математика в мире»⁸. Профессор Харди также отмечал, что «методы, которые Рамануджан использовал для получения своих решений, были получены в процессе смешанных аргументов, интуиции и индукции, по которым он был неспособен дать какой-либо последовательный отчёт»⁹. О судьбе Рамануджана в 1991 году вышла книга, а в 2015 году - фильм «Человек, который познал бесконечность»¹⁰, повествующий об уникальном даровании индийского математика.

Проявляющиеся в творческих личностях (порой не получивших извне уже известных знаний об исследуемом предмете) озарения (появление готовых «бездоказательных» решений) базируются порой на ограниченном множестве уже решённых примеров, которые «ложатся» на «благодатную» нейронную сеть, сформированную под конкретную Про и способную генерировать гармонизированные в этом множестве идеи и решения. Настройка БЯМ подобным образом позволит значительно повысить мощность ИИ, построенного на них.

2 «Множество» и «класс»: понятийный разбор

2.1 «Множество» и «класс» в философии

Задолго до появления теории множеств, разработанных оснований математики и математической логики [25-31] вопросами множественности сущего и классами занимались античные философы, среди которых следует выделить Парменида и его ученика Зенона Элейского [32]. Аргументы против множественности сущего, выдвинутые Зеноном, находят развитие в трудах современных учёных. Так, первый аргумент против множественности, или «метрический парадокс протяжённости» излагается следующим образом [33].

Пусть имеется протяжённое сущее - отрезок АВ длиной 1 м. Если на АВ выделить какое-либо количество объектов, не накладывающихся друг на друга и полностью покрывающих АВ, то длина отрезка АВ будет совпадать с суммой длин объектов. Пусть этими объектами будут точки, а поскольку точки являются непротяжёнными, их «длина» равна 0 м, то сумма их длин также равна 0 м. Получается противоречие: длина АВ по условию равна 1 м, и также, в силу рассуждения, равна 0 м. Следовательно, протяжённого сущего не существует.

Второй аргумент против множественности сущего, или «регресс связей», кратко может быть изложен следующим образом [32].

Пусть существует множественное сущее W , среди конститuent которого находятся, по меньшей мере, два объекта (например, a и b), которые различны друг с другом и должны быть связаны друг с другом, чтобы целое было одним объектом W . Существует, по меньшей мере, одна связь, связывающая a и b (например, связь c). Связь c является конститuentой целого W , который не может существовать без c . Чтобы a , b и c составляли одно целое W , необходимо, чтобы a , b и c были связаны (пусть эта связь d). Связь d также является конститuentой целого W . Чтобы a , b , c и d составляли одно целое, должна существовать ещё одна связь e , связывающая их, являющаяся ещё одной конститuentой целого W , и т.д. до бесконечности. Из допущения, что W содержит все свои конститuenty, получается, что W содержит не все свои конститuenty – противоречие. Т.е. из допущения о существовании множественного сущего и довольно здравыми допущениями о связях получили противоречие. Следовательно, множественное сущее не существует.

Аргументы Зенона против допустимости множественности сущего обычно трактуются как относящиеся к множественности не любого сущего, а сущего, имеющего величину, или сущего, представляющего собой континуум (например, отрезок). У Парменида, напротив, нет явных ограничений на характер сущего, немножественность и неподвижность которого

⁷ Srinivasa_Ramanujan. https://en.wikipedia.org/wiki/Srinivasa_Ramanujan.

⁸ James R. Newman, ed. (2000). The world of mathematics. Mineola, NY: Dover Publications. pp. 373–4. ISBN 978-0-486-41153-8.

⁹ Srinivasa_Ramanujan. <https://web.archive.org/web/20050325041218/https://www.usna.edu/Users/math/meh/ramanujan.html>.

¹⁰ The Man Who Knew Infinity. https://en.wikipedia.org/wiki/The_Man_Who_Knew_Infinity.

он пытается доказать. Признавая различие тезисов, отстаиваемых Парменидом и Зеноном, тезис Парменида без ограничений на характер сущего выглядит более общим [32].

Результатом Дихотомии и Ахиллеса - других парадоксов Зенона - является финитизм, в соответствии с которым утверждается не только, что множество моментов времени, множество точек пространства и любое другое множество не является плотным, но и что никаких бесконечных множеств не существует. Сторонниками финитизма среди философов были Аристотель, Фома Аквинский, Томас Гоббс, Джон Локк и др., среди математиков - Карл Фридрих Гаусс, Дэвид Гильберт, Герман Вейль и др. Д. Гильберт отмечал, что математические решения парадоксов вроде Дихотомии и Ахиллеса, основывающиеся на том факте, что рассматриваются сходящиеся последовательности, не отражают суть парадоксов. Другой подход к парадоксам Зенона предполагает, что парадоксы доказывают противоречивость движения, поскольку противоречивость действительно присутствует в мире. Для работы с противоречивыми понятиями разрабатываются логики, в которых допускается неконсистентность [34].

Парадоксы Зенона [32, 33], как и другие парадоксы (например, Рассела [26, 29]) рождаются в процессе идеализации (многочисленных допущений и упрощений, уводящих от реальности, но позволяющих выйти на некоторые обобщения или закономерности, правда, не всегда находящие подтверждение на практике) [6, 7], приводящей к ним.

После Зенона Платон вводит понятие множества, исходя из противопоставления единого и иного. Единое, по определению, не подразумевает ничего, кроме себя, т.е. не допускает никакого отношения и может быть мыслимо лишь само по себе. Иное же всегда есть иное по отношению к чему-то и подразумевает множество. Однако множество невозможно мыслить, исключив представление о едином. Отношения единого и многого были рассмотрены Аристотелем, который среди других значений единства указал непрерывность. Попытка рассмотрения непрерывного количества как множества приводит к парадоксам (апориям), возникновение которых Аристотель объяснял неправомерным представлением единого (непрерывного) как множества — единого интервала времени как множества моментов или единого отрезка прямой как множества точек. Современный интерес философов к понятию множества обусловлен развитием теории множеств в математике [35].

Вспомнив Аристотеля, нельзя не назвать одно из его самых ранних сочинений «Категории» [36], в котором он даёт свои определения роду, виду и признакам. В [36] также включены наиболее ранние комментарии к сочинению Аристотеля «Введение к КАТЕГОРИЯМ финикийца Порфирия ученика ликополитанца Плотина». В этих комментариях род – это «совокупность тех или иных вещей, известным образом относящихся к чему-нибудь одному и также - друг к другу». Дословный перевод в [36] определяет род как множество, которое категоризируется видом, т.е. «...вид есть то, что ставится под родом и о чём род сказывается при указании его (т.е. вида) существа». Отмечается также, что «род входит в состав того, что есть суть <вещи>; а различающийся признак – в состав того, что образует её качество. ...род подобен материи, а различающийся признак - форме». Общее у рода и вида то, что они характеризуют множество вещей, а выстраиваемая Аристотелем иерархия (включённость и подчинённость) – это лишь приём классификации множеств существ и их категоризация. Введение различающего признака, наряду с собственным, привходящим и неотделимым привходящим признаками, только подтверждают эту мысль.

Условность принятых и принимаемых понятий в различные периоды разными авторами на разных языках, наделение их тем или иным содержанием неизбежно приводит к Вавилонскому столпотворению¹¹. Принятие терминологических и понятийных (классификационных)

¹¹ Вавилонское столпотворение // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т.). СПб., 1890—1907.

международных, государственных и отраслевых стандартов частично решает эту проблему (см. например [37-40], а также обсуждение их далее).

Наблюдая разнообразный и неповторяющийся мир вокруг себя, философы смогли найти общее, близкое, подобное в действительности, тем самым обозначив и определив понятие «множество», которое стало важным инструментом в теории познания¹² и в онтологии. При этом понятие «элемент множества» (его трактовка) выходит за рамки атрибуции и остаётся предметом исследований тех конкретных ПрО, в которых обнаруживаются множества.

2.2 «Множество» и «класс» в математике

«...математика не нуждается в объектах, не являющихся классами, вроде коров или молекул. Все математические объекты и отношения могут быть выражены в терминах одних только классов».

Эллиот Мендельсон [30]

Учение о множествах Кантор считал фундаментом для всей математики. Из понятия множества предполагалось вывести все основные математические понятия. Кантор, опираясь на аристотелевское определение сущности, рассматривал множество как класс предметов, наделённых общим свойством, а само множество - как сущность, которая может объединяться в совокупность с другими множествами. Существование объекта всегда обусловлено его включением в множество, поэтому Кантор строил бесконечную иерархию множеств, последовательно включаемых одно в другое. Завершением этой иерархии явилось множество всех множеств, не являющихся собственным элементом этого множества. Введённое им понятие содержит очевидное противоречие, также как и понятие непрерывного множества. Канторовский проект создания теории множеств как основания математики позднее осуществлён Цермело, который создал аксиоматическую теорию множеств [35].

Математическая теория множеств внесла большой вклад в придание научной коннотации широко используемого и легко понимаемого в обыденной жизни и инженерной практике понятия «множество». Немногим отличается судьба и понятия «класс». Так, в онтологии широко понимаемые классы – это всё те же множества, а также коллекции, концепции, типы объектов или видов вещей [9, 10]. Класс в теории множеств представляет собой набор множеств, которые могут быть однозначно определены свойством, общим для всех его членов. Точное определение «класса» зависит от основополагающего контекста¹³.

Теория множеств Цермело–Френкеля представляет собой аксиоматическую систему [25], свободную от парадоксов, таких как парадокс Рассела [26]. Сегодня теория множеств Цермело–Френкеля является стандартной формой аксиоматической теории множеств, наиболее распространённой основой математики. Теория множеств Цермело–Френкеля с включённой аксиомой выбора¹⁴ сокращённо обозначается *ZFC*, где *C* означает «выбор» (от англ. *choice*) [27], а *ZF* относится к аксиомам теории множеств Цермело–Френкеля с исключённой аксиомой выбора.

Судьба термина класс сродни судьбе термина онтология, имеющего своё наполнение в философии и в компьютерных науках. В объектно-ориентированном программировании класс¹⁵ представляет собой расширяемый шаблон для создания объектов, предоставляющий начальные значения для состояния (переменные) и реализации поведения (функции) [28]. Когда объект создаётся конструктором класса, результирующий объект называется экзем-

¹² В проектировании, прежде всего, опираются на определение из теории познания, как имеющее более богатую семантику.

¹³ Class (set theory). [https://en.wikipedia.org/wiki/Class_\(set_theory\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Class_(set_theory)).

¹⁴ Axiom of choice. https://en.wikipedia.org/wiki/Axiom_of_choice.

¹⁵ Class (computer programming). [https://en.wikipedia.org/wiki/Class_\(computer_programming\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Class_(computer_programming)).

прямо класса, а переменные, специфичные для объекта, называются переменными экземпляра, в отличие от переменных класса, общих для всего класса. Классы состоят из структурных и поведенческих составляющих. Существует много категорий классов, например, абстрактные и конкретные, локальные и внутренние, метаклассы и др. Класс — это набор, члены которого либо подпадают под действие предиката, либо классифицируются по правилу. Философы иногда отличают классы от типов и видов¹⁶. Концепция класса аналогична концепции множества, определяемого его членами.

В предисловии редакторов перевода работы [29] отмечается, что авторы «избегают термина *set*, соответствующего русскому термину множество», используя *theory of aggregates* (теория множеств). Вместо множеств авторы [29] оперируют с классами, где класс (многообразие или агрегат) есть сущность, составленная из всех объектов (элементов, в оригинале *members*), удовлетворяющих некоторой пропозициональной функции. «Классы являются удобными символическими и лингвистическими конвенциями, а не подлинными объектами как их элементы, если таковые есть индивиды. Редакторы перевода отмечают, что «понятие класса в современной математике считается более широким¹⁷, чем множество» [29]. В работе [30] также отмечается, что имеющееся толкование понятия «класс» так же неточно, как понятия «совокупность», «свойство» и т.п.

В математике класс есть множество, если он является элементом какого-нибудь класса. Класс, не являющийся множеством, — собственный класс. «Множества предназначены быть теми надёжными, удобными классами, которыми математики пользуются в своей повседневной деятельности; в то время как собственные классы мыслятся как чудовищно необъятные собрания, которые, если позволить им быть множествами (т.е. быть элементами других классов), порождают противоречия» [30].

Бертран Рассел внёс значительный вклад в развитие теории множеств и определение классов. В работе [26] он предложил формальную систему, основанную на теории типов, для определения и классификации классов и множеств. Теория типов Рассела позволяет избежать парадоксов, возникающих в теории множеств, т.к. классы и множества строго иерархически организованы по типам, и каждый объект имеет свой тип. Это позволяет избежать парадоксов, связанных с самоприменением и самовключением.

Парадокс Рассела в теории множеств показывает, что в теории множеств не может существовать множество всех множеств или множество, которое содержит все множества.

Пусть есть множество R всех множеств, которые не содержат самих себя в качестве элемента. Вопрос: должно ли R содержать само себя в качестве элемента?

Если R содержит само себя, то оно нарушает своё собственное определение, т.к. должно быть множеством, которое не содержит себя в качестве элемента. Если R не содержит само себя, то оно соответствует своему определению, но тогда оно должно быть элементом R , т.к. R содержит все множества, которые не содержат самих себя в качестве элемента. Это противоречие и является парадоксом.

Другой **парадокс лжеца** [41] опирается на известный силлогизм Аристотеля: «Все люди смертны. Сократ — человек. Следовательно, Сократ смертен», имеют простую форму: все A суть B ; если S есть A ; следовательно, S есть B . (Для логика важно лишь знать, вытекает ли заключение из посылок).

Некто говорит: «Я лгу». Если он при этом лжёт, то сказанное им есть ложь, и, следовательно, он не лжёт. Если же он при этом не лжёт, то сказанное им есть истина, и, следовательно, он лжёт. В любом случае оказывается, что он лжёт и не лжёт одновременно.

Для математической теории существенны определённые соотношения между элементами множества (или между самими множествами), а не их природа. При описании же тех множеств, которые могут быть элементами других множеств, во избежание т.н. антиномий, вводится, например, термин «класс». И тогда теория множеств имеет дело с объектами,

¹⁶ Class (philosophy). [https://en.wikipedia.org/wiki/Class_\(philosophy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Class_(philosophy)).

¹⁷ Английское «*set*» отбрасывается видимо потому, что в оригинальном языке оно имеет выраженный оттенок перечисления, которое заведомо беднее множества и класса, определяемых правилами.

называемыми классами, для которых определено отношение принадлежности, а само множество определяется как класс, являющийся элементом некоего класса.

Георг Кантор определил множество как «единое имя для совокупности всех объектов, обладающих данным свойством», и назвал эти объекты элементами множества [1, 42]. Множество всех объектов, обладающих свойством $A(x)$ (то есть утверждением, истинность которого зависит от значения переменной x), он обозначил $\{x \mid A(x)\}$, а само свойство $A(x)$ назвал характеристическим свойством множества X . Элементы множества ничем не упорядочены и могут быть любых типов: числа, буквы, предметы и т.д. Множество обычно обозначается фигурными скобками. Например, $\{1, 2, 3\}$ – это множество, состоящее из элементов 1, 2 и 3.

Общее между классом и множеством заключается в том, что оба понятия связаны с группировкой или категоризацией элементов.

Основное отличие между классами и множествами в математике заключается в том, что *классы более абстрактны* и используются для описания группировки объектов по их общим свойствам. Они могут быть бесконечными или неопределёнными и могут содержать атрибуты и методы, которые определяют, как объекты этого класса могут взаимодействовать. Вместе с тем, *множества* не обладают внутренней структурой или поведением, используются для *конкретного* перечисления неупорядоченных элементов и обычно имеют конечное число элементов.

В теории множеств неявно предполагается, что все элементы множества различны. Однако запрета на присутствие в множестве нескольких одинаковых элементов нет. Отличительной особенностью проектирования является множественность и повторяемость данных¹⁸, описывающих как сами рассматриваемые объекты, так и их свойства. С точки зрения математики такие многопризнаковые объекты можно представить как мультимножества или множества с повторяющимися элементами [43].

Мультимножеством A , порождённым основным (обычным) множеством $U = \{x_1, x_2, \dots\}$, все элементы x_i которого различны, называется совокупность групп одинаковых элементов $A = \{k_{A1} \cdot x_1, k_{A2} \cdot x_2, \dots\}$, $x_i \in U$, где $k_{Ai} \cdot x_i$ – компонента мультимножества; одинаковые элементы, входящие в эту компоненту, x_i – экземпляры элементов мультимножества; k_A – функция кратности или функция числа экземпляров мультимножества A . Таким образом, мультимножество – это множество, состоящее из различных групп одинаковых экземпляров элементов.

Если все мультимножества семейства $A = \{A_1, A_2, \dots\}$ образуются из элементов одного и того же множества $G = \{x_1, x_2, \dots\}$, то множество G называется порождающим множеством или доменом для семейства A . Высотой или пиковым значением мультимножества A называется максимальное значение его функции кратности k_A , а элемент x_{A*} , для которого функция кратности k_A максимальна, – пиковым элементом мультимножества A .

Операции над мультимножествами аналогичны теории множеств, если все рассматриваемые мультимножества порождены одним и тем же доменом G .

Класс – это совокупность (семейство) объектов, обладающих общими свойствами. Информация о свойствах объекта может быть представлена совокупностью признаков, значения которых выражаются в числовых и/или вербальных шкалах. Входящие в один и тот же класс объекты считаются неразличимыми (эквивалентными), а каждый класс объектов характеризуется некоторым качеством, отличающим его от других классов. Все классы вместе должны составлять исходную совокупность объектов.

Применяются два способа классификации: прямая классификация, которая состоит в перечислении объектов, составляющих класс; непрямая классификация, которая производится на основе перечисления свойств, характеризующих класс. Результатом прямой классификации является зачисление классифицируемого объекта в определённый класс. При непрямой классификации теоретически возможное число классов определяется мощностью декартового произведения множеств значений признаков. Когда число признаков и/или их значений велико, число потенциально возможных классов может превысить число имеющихся объектов. Процедура классификации объектов может быть описана как последовательность решающих правил, которые представляются выражениями вида: ЕСЛИ <условия>, ТО <решение>. При прямой классификации терм <условия> включает названия объектов или перечень значений признаков, описывающих объекты класса. При непрямой классификации один или несколько термов <условия> конструируются как отношения между различными призна-

¹⁸ Здесь речь идёт не об объектах проектирования (включая их цифровые двойники, имеющие свои уникальные ID), которые всегда чем-то отличаются, а о признаках и повторяющихся элементах этих объектов.

ками и/или их значениями. Терм <решение> в обоих случаях означает, что объект принадлежит к определённо-му классу. (Подробно, включая примеры решения задач аппроксимации решающих правил для классификации многопризнаковых объектов и упорядочение объектов, см. в [43]).

Из эпиграфа к этому разделу следует утверждение, что математика не рассматривает объекты, «не являющихся классами, вроде коров или молекул» [30]. Эти объекты, также как и артефакты, могут являться классами, но уже с позиций других дисциплин, отраслей знаний и ПрО.

2.3 «Множество» и «класс» в проектировании

Рассмотрение при проектировании различных классов множеств логично начинать с множества потребностей, которые непрерывно возникают и на удовлетворение которых направлена проектная деятельность, сопровождаемая множеством участвующих в ней субъектов проектирования. Это также множество уже созданных артефактов (прецедентов), которые являются аналогами и прототипами для проектанта, но которые по тем или иным основаниям не удовлетворяют потребностям субъектов. Это множества проектных параметров и проектных переменных разрабатываемого объекта или системы; множество критериев оценки нового артефакта; множества: исходных предпосылок, данных, условий, включая ограничения; множество моделей, описывающих проектируемый объект; множество методов принятия решений и, наконец, множество проектных решений. Объективно существующие множества значений исходных данных и критериев оценки в проектировании могут рассматриваться и рассматриваются как неопределённость, как данность, которую надлежит раскрыть, сужая область решений, понижая мощность множеств. В практике проектирования (снятие неопределённости, вырождение множественности возможных значений проектных переменных и т.п.) всегда стремятся к синглтону (к множеству с единственным элементом) и в итоге к тому проектному решению, которое и будет воплощено в конструкцию, технологию или систему.

В проектировании условно можно выделить два вида деятельности - это инженерный анализ (разработка моделей и решение задач посредством математических расчётов) и синтез - выбор предпочтительного варианта из альтернатив (принятие решений) [44, 45]. И в том, и другом видах проектант оперирует различными множествами в исследуемой ПрО.

Инженерное проектирование — это процесс разработки системы, компонента или процесса для удовлетворения потребностей. Это процесс принятия решений (часто итеративный), в котором фундаментальные науки, математика и инженерные науки применяются для оптимального преобразования ресурсов и достижения поставленных целей. Среди фундаментальных элементов процесса проектирования — установление целей и критериев, синтез, анализ, производство, испытание и оценка¹⁹.

На рисунке 4 приведено качественное сравнение влияния системной инженерии (системных знаний и процедур) и аэрокосмической инженерии (предметных знаний и процедур) на различных этапах проектирования (концептуальное, предварительное, детальное проектирование и этап разработки документации) [44]. Оба влияния изменяются по мере выполнения процесса проектирования: влияние системной инженерии уменьшается, а влияние аэрокосмической инженерии увеличивается. Видно, что на начальных этапах содержательно системная инженерия оказывает значительное влияние на проектные решения. С этим связано и влияние, которое оказывают принятые на ранних этапах решения на судьбу самолёта в целом (см. рисунок 5). При этом затраты на возможное изменение этих решений на последующих этапах разработки самолёта несопоставимы с теми, которые определяют облик (концепцию) самолёта на начальных этапах [45, 46].

¹⁹ ABET Constitution, Accreditation Board for Engineering and Technology (2012), www.abet.org. (цитируется по [44]).

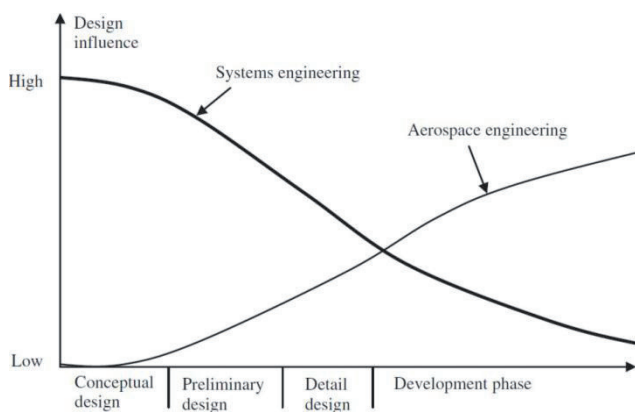
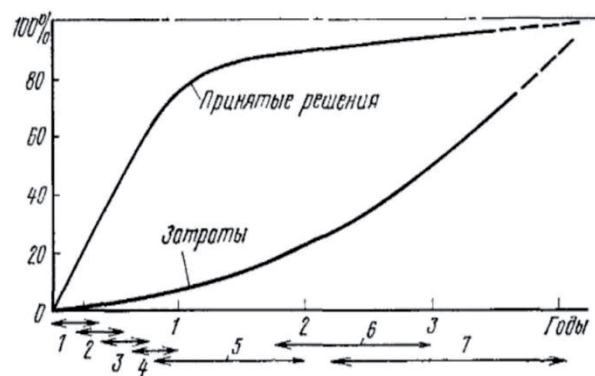


Рисунок 4 – Качественное сравнение влияния системной инженерии (системные знания и процедуры) и аэрокосмической инженерии (предметные знания и процедуры) на различных этапах проектирования (концептуальное, предварительное, детальное проектирование и этап разработки документации) [44]



1 - анализ требований, 2 – концепция, 3 – аванпроект, 4 – эскизный проект, 5 – рабочий проект, 6 – постройка самолёта, 7 – лётные испытания

Рисунок 5 – Изменение затрат и распределение принятых решений (%) на различных этапах разработки самолёта [45]

Множество субъектов проектирования представляют множество различных точек зрения на объект проектирования. В множество субъектов проектирования входят различные группы заинтересованных, а также косвенно влияющих лиц на объект проектирования. Рисунок 6 образно демонстрирует взгляды и интересы проектных групп на концепт самолёта, когда конструкторы (a), технологи (b), аэродинамики (c), двигателисты (d), весовики (e) и управленцы (f) оптимизируют облик самолёта, исходя из своего представления, руководствуясь своими критериями качества [44]. Эти разные и часто противоречивые взгляды рожают большое разнообразие схем самолёта (см. например, рисунок 7) [44-49].

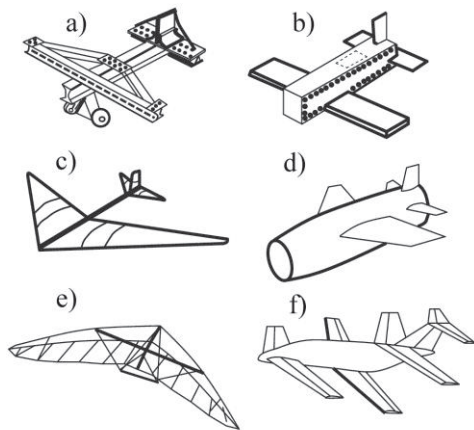


Рисунок 6 - Взгляды проектных групп на концепт самолёта: a) конструкторы; b) технологи; c) аэродинамики; d) двигателисты; e) весовики; f) управленцы [44]

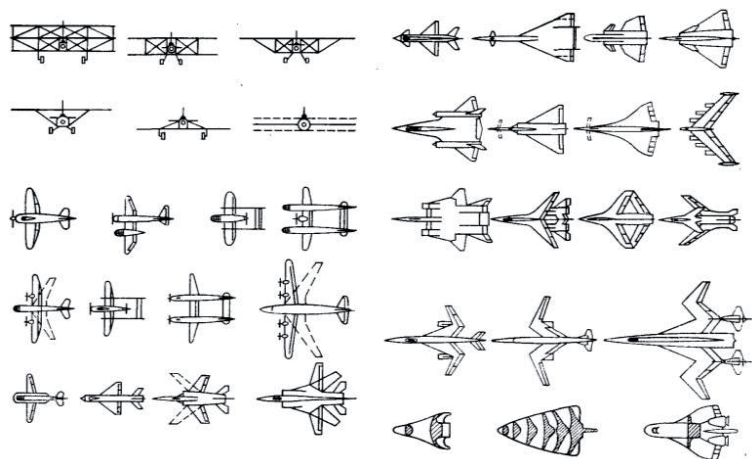
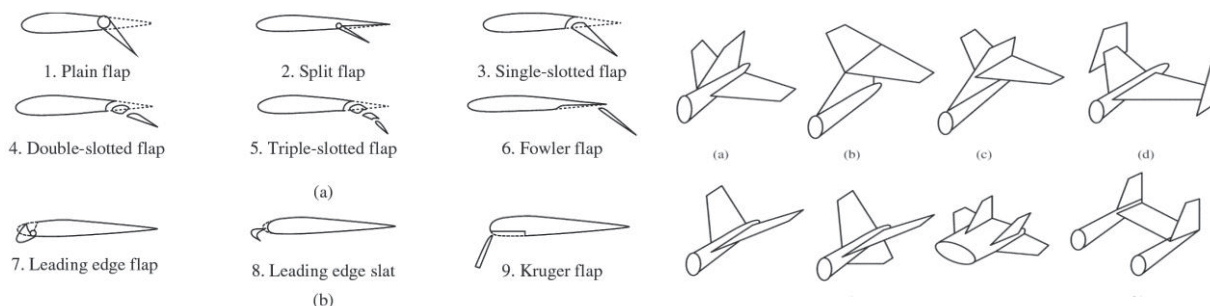


Рисунок 7 – Возможные схемы самолётов (множество схемных проектных решений) [45]

Множество схемных решений существует как для самолёта в целом, так и для его агрегатов, выполняющих соответствующие функции. На рисунке 8 показаны примеры таких множеств конструкторских решений при проектировании агрегатов самолёта. Требования к изменению аэродинамических характеристик крыла самолёта на различных режимах полёта приводят к потребности изменять форму крыла, к необходимости применять различные спо-

собы механизации передней и задней кромок крыла. Чем более «гибкой» по форме становится крыло, удовлетворяя аэродинамическим требованиям, тем сложнее и дороже его исполнение, тем тяжелее и менее надёжной получается конструкция крыла. Подобная картина и с выбором схемы хвостового оперения самолёта. Противоречивые требования аэродинамики, управляемости и устойчивости, массы конструкции, её сложности, технологичности и надёжности, стоимости, удобства эксплуатации и др. решаются поиском компромисса, обеспечивающего функционал агрегатов самолёта и имеющиеся ресурсы, включая время.



Различные типы механизации крыла: а) задней кромки крыла, б) передней кромки крыла [44]

Различные схемы хвостового оперения самолётов [44]

Рисунок 8 – Примеры множеств конструкторских решений при проектировании агрегатов самолётов

Разрешение противоречивых требований в процессе создания сложных систем в большинстве случаев предполагает наличие баз данных прототипов, морфологических матриц признаков схем компонентов этих систем (например, матрица признаков компоновочных схем самолёта [45, 47, 48]) и баз знаний (включая экспертные правила, эвристики, стратегии проектирования), способные «свернуть» множество возможных (допустимых) решений к единственному элементу (синглтону).

В инженерной практике понятие «множество» также нашло широкое употребление и порой рассматривается шире, чем класс, в т.ч. и как множество классов. Множества различных артефактов и множества операций над ними классифицируются по различным принципам и признакам, т.е. подразделяются на классы. Наряду с классами в инженерии рассматриваются также и категории, подразделяя множество артефактов на них. Принципиальным в классификации является наличие чётких определений сущностей, вычленение атрибутов, по которым классифицируется множество на классы.

Например, согласно [50], воздушное судно (ВС) определяется как «летательный аппарат (ЛА), поддерживаемый в атмосфере за счёт взаимодействия с воздухом, отличного от взаимодействия с воздухом, отражённым от поверхности земли или воды». Множество этих ЛА в [50] классифицируется на: лёгкое ВС (максимальная взлётная масса менее 5700 кг, у вертолёт - менее 3100 кг); сверхлёгкое ВС (максимальная взлётная масса - не более 495 кг); пилотируемое ВС (управляемое в полёте пилотом, находящимся на его борту); БВС - беспилотное ВС (управляемое в полёте пилотом, находящимся вне борта ВС). Согласно [39] ВС - это любой аппарат, поддерживаемый в атмосфере за счёт его взаимодействия с воздухом, исключая взаимодействие с воздухом, отражённым от *земной поверхности* (что отличается от определений в [38, 50]), а классификация ВС по виду осуществляется на основе основных характеристик, например, самолёт, планёр, вертолёт, свободный аэростат.

Согласно [38], БВС - ВС, управляемое в полёте пилотом, находящимся вне борта такого ВС, или выполняющее автономный полёт по заданному предварительно маршруту. В отличие от классификации по видам в [39] при классификации ВС в [38] выделяют категории. Классификационные группы ВС, выделяемые на основе особенностей их конструкции, характеристик и условий эксплуатации, следующие: дирижабль, мультикоптер (многороторный вертолёт), квадрокоптер, лёгкое дистанционно пилотируемое ВС, малое БВС.

Беспилотная авиационная система (БАС) - комплекс взаимосвязанных элементов, включающий в себя одно или несколько БВС, средства обеспечения взлёта и посадки, средства управления полётом одного или нескольких БВС в контроле за полётом одного или нескольких БВС [50]. Согласно [37] БАС классифицируют по: максимальной взлётной массе БВС в составе БАС; достигаемой БВС в полёте кинетической энергии; эксплуатационному назначению (в личных целях; для выполнения авиационных работ); условиям видимости.

Выделяют две категории БАС [37].

- Открытая категория (А): максимальная взлётная масса БВС в составе БАС не меньше 0,25 и не выше 30 кг; использование БАС только в личных целях; выполнение авиационных работ не допускается.
- Специальная категория (В): характеристики БАС превышают ограничения, указанные в категории А; система автоматического управления, в случае потери связи, обеспечивает возвращение БВС в точку начала полёта; БАС предполагается использовать для выполнения авиационных работ.

Объектами классификации являются также авиационные работы, выполняемые с использованием полётов ВС с определёнными целями, и условия их выполнения [40].

В энциклопедии мировой авиации собрана информация о тысячах различных модификациях сотен самолётов и вертолётов разных стран [51]. Расположенные в алфавитном порядке ВС относят к тем или иным типам: коммерческие авиалайнеры, истребители, бомбардировщики и т.д. Разные классификации ВС представлены и в Википедии²⁰.

Например, ВС подразделяются на категории в зависимости от классификационной скорости. Диапазоны классификационных скоростей и типы отечественных ВС приведены в таблице 5.

Одна из классификаций по взлётной массе ВС представлена в таблице 6. Аналогичная классификационная картина наблюдается и с другими артефактами, в т.ч. с авиационными двигателями, множество которых подразделяется на типы (поршневые, газотурбинные и пр.), а также классы (например, класс тяги [45]).

Множество схем и конструктивных решений при проектировании машин и сооружений позволило классифицировать машиностроительные технологии, двигатели, транспортные машины и мн.др., что послужило основой для формализации искусства строить машины и перехода к созданию

«компьютерного банка схем и конструктивных решений» [52]. Автор монографии развивает критерий совершенства конструкции Витрувия «польза, прочность, красота» добавляя «технологичность, комфорт и патентная чистота».

Сложнее всего обстоит дело с красотой. Бесконечное множество реализаций, различные культурные традиции, вкусы, предпочтения, эстетические взгляды, интересы, уровни образования – всё это рождает различные представления о красоте и гармонии. «Дизайн есть часть нашей повседневной жизни» - этими словами начинается книга, посвящённая дизайну (эстетическому восприятию проекта) [53]. «Очень легко быть другим, но очень сложно быть лучше» - этими словами завершается предисловие к этой книге. Также пока сложно постро-

Таблица 5 – ВС гражданской авиации России по категориям ИКАО²¹

Категория ВС	Классификационная скорость, км/час	Типы ВС
A	менее 169	Ан-2, Ан-28, Л-410, вертолеты
B	169-223	Як-40, Як-42, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Ан-72, Ан-74, Ил-114
C	224-260	Ан-32, Ил-76
D	261-306	Ил-18, Ил-62, Ил-86, Ил-96, Ту-134, Ту-154, Ту-204, Ан-12, Ан-124
E	307-390	

Таблица 6 – Классификация ВС по максимальной взлётной массе²²

Класс	Максимальная взлётная масса, т	
	Для самолёта	Для вертолёта
1	75 и более	10 и более
2	30–75	5–10
3	10–30	2–5
4	до 10	до 2

²⁰ Воздушное судно https://ru.wikipedia.org/wiki/Воздушное_судно#cite_note-mintrans-22.

²¹ Приложение 1 к приказу Министерства транспорта Российской Федерации 28 декабря 1993 г. № ДВ-160 об установлении категорий для ВС ГА России согласно правилам ИКАО и о введении в действие методики определения минимумов аэродрома для визуального захода на посадку. <http://law.rufox.ru/print/19/93003243.htm>.

²² Приложение 1.1. Классы воздушных судов // Приказ Минтранса РФ от 20.06.1994 № ДВ-58.

ить структурированное множество дизайнерских решений, хотя ГИИ уже активно вторгается и в эту ПрО.

Понятия, связанные с множеством, такие как классы, категории, типы и виды имеют большое значение и широко используются в инженерии и в проектировании, в частности. Бурный рост количества артефактов (продуктов происходящих технологической и информационной революций) приводит к необходимости упорядочения создаваемых объектов и систем, к их классификации на основе атрибутирования их свойств. Многообразие различных ПрО и сложившийся в них опыт затрудняют согласование ключевых понятий.

3 Множества в проектных задачах

Постановка проектной задачи представляется набором различных конечных множеств:

$I = \{I_1, I_2 \dots I_n\}$ – множество исходных проектных данных со своими континуальными множествами значений;

$X = \{X_1, X_2 \dots X_m\}$ – множество проектных параметров (переменных);

$Z = \{Z_1, Z_2 \dots Z_k\}$ – множество проектных ограничений (функциональных, параметрических, физических и др.);

$Y = \{Y_1, Y_2 \dots Y_l\}$ – множество критериев оценки проектных решений с их приоритетами и стратегиями.

Анализ проектной ситуации включает сбор данных о прототипах (прецедентах): $P = \{P_1, P_2 \dots P_e\}$ – множество прототипов (аналогов), на основе анализа которого принимаются решения о значениях многих исходных данных.

В решении проектных задач участвует множество лиц (заказчики, инвесторы, проектанты, технологи, маркетологи, экономисты и др.): $S = \{S_1, S_2 \dots S_d\}$ – множество субъектов проектирования (лиц, принимающих решение; заинтересованных и влияющих на проектную деятельность лиц). В число субъектов претендуют войти в т.ч. и системы на основе ГИИ, а также интеллектуальные помощники проектанта, способные предложить решения исходя из знаний, заложенных в них и генерируемых в процессе обработки информационных потоков.

У проектантов имеется множество различных моделей и инструментов для решения проектных задач (см. например [2, 44-49]). Необходимо из этого множества выбрать оптимальную проектную стратегию, адекватную множеству критериев и проектных ограничений: $M = \{M_1, M_2 \dots M_f\}$ – множество моделей, описывающих проектируемый объект.

Исходя из того, что в проектировании участвует множество субъектов со своими предпочтениями, критериями и своим влиянием, результатом решения проектной задачи практически всегда является множество возможных решений. «Свёртка» этого множества решений на определённом этапе в синглтон – конечная цель проектирования. Устойчивую часть множества оптимальных решений ($X_\cap$) определяют путём нахождения области пересечения всех исследуемых подмножеств для различных критериев с учётом неопределённости части исходной информации [54]: $X_\cap = \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{q=1}^q X_{i,q}$, где n – количество критериев, q – количество вариантов исходных данных неопределённой величины. Пример сужения множества возможных проектных решений представлен на рисунке 9 [55].

Дальнейшее изменение проектной ситуации, вызванное эволюционными процессами в потребностях, конъюнктурой рынка и др. (выработкой и принятием соответствующих критериев и стратегий проектирования), развитием и совершенствованием моделей проектируемого объекта или процесса приводит к новым решениям, возврату в некоторых случаях к ранее «отвергнутым» проектам, но на новой технологической базе, появлению инновационных проектов.

Множество проектных решений продолжает пополняться, пока жизненный цикл артефакта не прекратит своё существование, оставив свой след в истории науки и техники, в истории дизайна. См. например, многочисленные проектные и дизайнерские решения в [52, 53], которые стали уже не актуальны, но их «проектный ген» находит своё проявление в современных артефактах.

4 Множество конечных элементов в континуальных средах

Наряду с дискретными (счётными) множествами, формирование которых происходит на основе отличительных признаков их членов, большое значение имеют континуальные счётные множества в континуальных средах.

Широко используемый метод конечных элементов (МКЭ) работает с множеством конечных элементов (КЭ), которые характеризуются набором их свойств (см. например [46]). МКЭ применяется для решения задач механики твёрдого деформируемого тела, теплообмена, гидродинамики, электродинамики и топологической оптимизации. Искусственное разбиение континуальной среды, тела или поверхности анализируемого или проектируемого объекта на множество КЭ позволяет повысить точность инженерной оценки. В основе КЭ лежат простые, но многократно проверенные на практике, модели непрерывной среды. Графическими примитивами КЭ являются «узел», «связь», «грань». Элементы могут быть линейными или нелинейными (с промежуточными узлами). Нелинейные элементы позволяют получать более достоверные результаты. Количество типов КЭ в библиотеках современных средств моделирования исчисляется сотнями, а разбиение моделей проектируемых объектов на КЭ ограничено лишь вычислительными ресурсами.

Множество КЭ, на которое разбивается исследуемая конструкция какого-либо проектируемого объекта для оценки её свойств, также способно определить её рациональную форму, проводя т.н. топологическую оптимизацию [46, 56]. В оптимизационных расчётах проектируемых конструкций важно опираться на свойства используемых материалов. Попытка построить модель материала, используемого для проектируемой конструкции из гетерогенных материалов, предпринята в работе [3], объединив тем самым множество свойств материалов с КЭ проектируемых конструкций. Рассматриваемая внешне простая стержневая модель материала может иметь перспективу её применения при проектировании конструкций из материалов с заданными свойствами, в т.ч. из композиционных материалов.

5 Множество в мультиагентной парадигме

Среди поисковых методов параметрической оптимизации конструкций особое место занимают бионические методы, основанные на адаптивном поведении живых организмов, на их способности к самоорганизации. Такие методы рассматривают оптимальное проектирование конструкций как процесс целенаправленного адаптивного поведения коллектива агентов. Модели таких агентов состоят из внутренней и внешней среды, а их поведение осу-

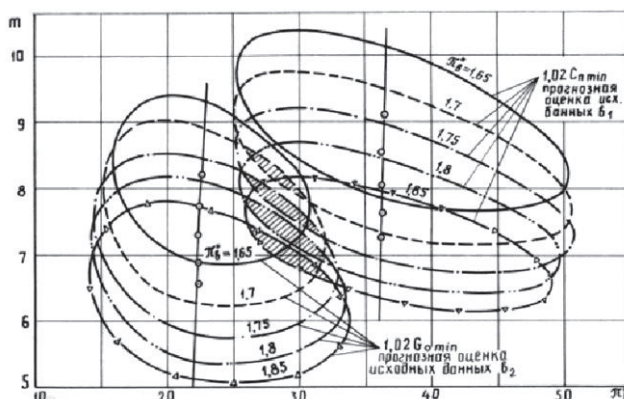


Рисунок 9 - Пример определения области устойчивых оптимальных значений параметров рабочего процесса двигателя (заштрихованная область) по критериям взлётной массы и топливной эффективности самолёта в условиях неопределённости исходных проектных данных [55]

ществляется как реакция на смену внутреннего состояния на основе построения наилучшей стратегии действий [57, 58].

Мультиагентные технологии нашли широкое применение в решении различных инженерных задач, включая логистические задачи, задачи планирования ресурсов и др. [59, 60]. В основе мультиагентной парадигмы, как и в МКЭ, лежат модели КЭ, в данном случае агентов. Множество агентов моделируют свойства и поведение (функционал) реальных сущностей: люди, транспорт, станки, оборудование, инструмент, программы и др.

В задачах многокритериальной оптимизации, поиска согласованных решений на основе формализованных предпочтений агентов субъектов проектирования мультиагентные технологии способны предложить оперативные решения в рамках имеющейся проектной ситуации. Эти решения всегда лишь ситуационно рациональны, т.к. сформированы на основе известных формализмов ситуации. Закладываемые в модель оценки прогноза изменения ситуации часто не совпадают с реальной картиной в будущем.

Заключение

Понятие «множество» имеет самое широкое употребление, т.к. способствует познанию, построению различных обобщающих и классификационных моделей и теорий. Широта использования этого понятия в различных сферах от фундаментальных и прикладных наук (философии, математики, инженерии, информатики и др.) до бытовых, утилитарных применений при всей кажущейся простоте накладывает на его толкование и понимание предметный, отраслевой и языковой оттенки. Суть этих оттенков и особенностей связана с теми работами по обобщению, структурированию, классификации и идеализации, которые сложились в конкретных ПрО. Наибольших успехов с точки зрения построения формальных теорий достигла математика, работая с привычными для неё математическими конструкциями. Развивающаяся теория множеств – яркий пример этих успехов.

Ещё больший успех ожидает и уже достигнут в разработке математического аппарата БЯМ. Автор полагает, что успех БЯМ, построенных и работающих на множестве оцифрованных текстов, во многом связан со структуризацией текстовых объектов, с теми элементами множеств, которые впоследствии формируют сгенерированный текст. БЯМ становятся всё более «осмысленными» и способными делать «разумные» адекватные обобщения в различных областях накопившихся знаний. На сегодняшний день развития ГИИ практическое использование генерируемых ими текстов (оценок и обобщений) предполагает наличие их критического анализа.

Понятия, связанные с множеством, такие как классы, категории, типы и виды, имеют большое значение и широко используются в инженерии и в проектировании, в частности. Бурный рост количества артефактов (продуктов технологической и информационной революций) приводит к необходимости упорядочения создаваемых объектов и систем, к их классификации на основе атрибутирования их свойств. Многообразие различных ПрО и сложившийся в них опыт затрудняют согласование ключевых понятий, что оправдывает появление различных терминологических и классификационных стандартов.

При решении проектной задачи оперируют различными множествами (исходных данных, проектных переменных, критериев и др.), включая множество проектных решений. «Свёртка» этого множества решений на определённом этапе в синглтон – конечная цель проектирования. Рассматривая через призму понятия «множество» инженерные МКЭ с их множеством КЭ, мультиагентные технологии с их множеством агентов, многокритериальные оптимизационные задачи с их множеством критериев можно увидеть их возможное общее начало, что позволит развивать прагматику множеств в проектной деятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Войцеховский М.И.** Множество / Математическая энциклопедия (в 5 томах). М.: Советская Энциклопедия, 1982. Т.3. С.754.
- [2] **Ефимов Б.А.** Множеств теория / Математическая энциклопедия (в 5 томах). М.: Советская Энциклопедия, 1982. Т.3. С.750-752.
- [3] **Комаров В.А.** Конструкция и материал // *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №2(48). С.175-191. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-2-175-191.
- [4] **Бородай С.Ю.** Язык и познание. Пострелятивистская исследовательская программа // *Вопросы языкознания*. 2019. № 4. С.106-136. <https://doi.org/10.31857/S0373658X0005709-8>.
- [5] **Nigel H. Collier, Fangyu Liu, Ehsan Shareghi.** On reality and the limits of language data: aligning LLMs with human norms. 9 May 2023. 9 p. <https://arxiv.org/abs/2208.11981v2>. DOI: 10.48550/arXiv.2208.11981.
- [6] **Kennedy A.G.** Idealizations in Science. 10 November 2022. Oxford Bibliographies. Oxford University Press. <https://www.oxfordbibliographies.com/display/document/obo-9780195396577/obo-9780195396577-0193.xml>.
- [7] **Бирюков Б.В.** Идеализация. Большая российская энциклопедия: [в 35 т.] / гл. ред. Ю.С. Осипов. — М.: Большая российская энциклопедия, 2004–2017. <https://old.bigenc.ru/philosophy/text/2000062>.
- [8] **Менделеев Д.** Соотношение свойств с атомным весом элементов // Журнал Русского Химического Общества (Journal of the Russian Chemical Society). 1869. №1. С.60—77.
- [9] **Gómez-Pérez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O.** Ontological Engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web. Springer-Verlag London Limited, 2004. 159 p.
- [10] Ontology components. https://en.wikipedia.org/wiki/Ontology_components#cite_note-1.
- [11] **Боргест Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения // *Онтология проектирования*. 2013. №3(9). С.9-31.
- [12] **Гирин Р.В., Орлов С.П.** Объектно-ориентированная декомпозиция программной логики искусственных нейронных сетей // *Онтология проектирования*. 2018. Т. 8, №1(27). С.110-123. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-1-110-123.
- [13] **Головкин В.А., Голенков В.В., Ивашенко В.П., Таберко В.В., Иванюк Д.С., Крошченко А.А., Ковалёв М.В.** Интеграция искусственных нейронных сетей с базами знаний // *Онтология проектирования*. 2018. Т. 8, №3(29). С.366-386. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-366-386.
- [14] **Антонов В.В., Куликов Г.Г., Кромин Л.А., Родионова Л.Е., Фахруллина А.Р., Харисова З.И.** Концепция программно-аналитического комплекса образовательного процесса на основе онтологии и искусственных нейронных сетей // *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №3(41). С.339-350. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-339-350.
- [15] **Бухановский А.В., Иванов С.В., Ковальчук С.В., Нечаев Ю.И.** Онтологическая система знаний и вычислительных ресурсов современных интеллектуальных технологий // *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №1(35). С.22-33. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-22-33.
- [16] **Кленин Ю.Д.** Активное обучение для извлечения знаний из описаний образовательных курсов в условиях малых объёмов данных // *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №4(34). С.522-535. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-522-535.
- [17] **Frank M.C.** Baby steps in evaluating the capacities of large language models. *Nat Rev Psychol* 2, 451–452 (2023). DOI: 10.1038/s44159-023-00211-x.
- [18] **Zhao W.X., Zhou K., Li J., Tang T., Wang X., Hou Y., Min Y., Zhang B., Zhang J., Dong Z., Du Y., Chen Y., Chen Y., Chen Z., Jiang J., Ren R., Li Y., Tang X., Liu Z., Liu P., Nie J.-Y., Wen J.-R.** A Survey of Large Language Models. arXiv:2303.18223v11 [cs.CL] 29 Jun 2023. 85 p. DOI: 10.48550/arXiv.2303.18223.
- [19] **Kaddour J., Harris J., Mozes M., Bradley H., Raileanu R., McHardy R.** Challenges and Applications of Large Language Models. arXiv:2307.10169 [cs.CL] 19 Jul 2023. 72 p. DOI:10.48550/arXiv.2307.10169.
- [20] **Jovanovic M., Campbell M.** Generative Artificial Intelligence: Trends and Prospects. *Computer*. 2022. Vol.55, no.10. P.107-112. DOI: 10.1109/MC.2022.3192720.
- [21] **Dudáš M., Lohmann S., Svátek V., Pavlov D.** Ontology visualization methods and tools: a survey of the state of the art. *The Knowledge Engineering Review*, Cambridge University Press, 2018. Vol. 33, e10, 1–39. DOI:10.1017/S0269888918000073.
- [22] **Dudáš M., Zamazal O., Svátek V.** Roadmapping and navigating in the ontology visualization landscape. In *Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Springer. 2014. 137–152.
- [23] **Routley Nick.** What is generative AI? An AI explains. Feb 6, 2023. <https://www.weforum.org/agenda/2023/02/generative-ai-explain-algorithms-work/>.
- [24] **Slack D., Krishna S., Lakkaraju H. et al.** Explaining machine learning models with interactive natural language conversations using TalkToModel. *Nat Mach Intell* 5, 873–883 (2023). DOI:10.1038/s42256-023-00692-8.
- [25] **Krzysztof Ciesielski.** Set Theory for the Working Mathematician. Cambridge University Press. 1997. 236 p.

- [26] **Russell B.** The Principles of Mathematics. 2d. ed. Reprint, New York: W. W. Norton & Company, 2009. (First published in 1903.) 534 p.
- [27] **Zermelo E.** Beweis, daß jede Menge wohlgeordnet werden kann. Math. Ann. 59, 514–516 (1904). DOI:10.1007/BF01445300.
- [28] **Bruce Kim B.** Foundations of Object-Oriented Languages: Types and Semantics. Cambridge, MA: MIT Press. (2002). ISBN 978-0-262-02523-2.
- [29] **Уайтхед А., Рассел Б.** Основания математики: в 3 т. Т.1. Пер. с англ. Под ред. Г.П. Ярового, Ю.Н. Радаева. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2005. 722 с.
- [30] **Мендельсон Э.** Введение в математическую логику. Пер.с англ. Ф.А. Кабакова. Под ред. С.И. Адяна. Изд.второе, исправл. Москва: Изд-во «Наука», 1976. 320 с.
- [31] **Adamson I.T.** A Set Theory Workbook. Cambridge (Mass., USA): Birkhäuser Boston, 1998. 154 p.
- [32] **Берестов И.В.** Зенон Элейский в современных переводах и философских дискуссиях. Новосибирск: Центр изучения древней философии и классической традиции НГУ; Офсет-ТМ, 2021. 206 с.
- [33] **Grünbaum A.** Zeno's Metrical Paradox of Extension / Zeno's Paradoxes / Salmon W.C., ed. Indianapolis: Hacklett, 2001. P.164–199 (Originally published in 1967).
- [34] **Priest G.** On a Version of One of Zeno's Paradoxes // Analysis. 1999. Vol. 59, no. 1. P. 1–2.
- [35] Новая философская энциклопедия: В 4 тт. М.: Мысль. Под редакцией В.С. Стёпина. 2001. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/4533/МНОЖЕСТВО.
- [36] **Аристотель.** Категории / Под ред. Г.Ф. Александрова (с примечаниями и предисловием), перевод А.В. Кубицкого. Москва: ГСЭИ, 1939. 124 с.
- [37] ГОСТ Р 59517-2021. Беспилотные авиационные системы. Классификация и категоризация. Дата введения 2021-07-01. Стандартиформ. 2021. 10 с.
- [38] ГОСТ Р 57258-2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. Дата введения 2017-06-01. Стандартиформ, 2018. 12 с.
- [39] ГОСТ Р 56122-2014. Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования Air transport. Дата введения 2015-07-01 Стандартиформ, 2015. 11 с.
- [40] ГОСТ Р 54265-2010. Воздушный транспорт. Авиационные работы. Классификация. Дата введения 2012-07-01 Стандартиформ, 2012 23 с.
- [41] **Левин Г.Д.** Классическая теория истины и парадокс "Лжец" // Эпистемология и философия науки. 2008. Т.15. № 1. С.83-99.
- [42] **Кантор Г.** Труды по теории множеств. Пер. Ф.А Медведева и П.С. Юшкевича. М.: Наука, 1985. 430 с.
- [43] **Петровский А.Б.** Пространства множеств и мультимножеств. М.: Едиториал УРСС, 2003. 248 с.
- [44] **Sadraey M.H.** Aircraft design: a systems engineering approach. A John Wiley & Sons, Ltd.. 2013. 778 p.
- [45] Проектирование самолетов. Учебник для вузов, Под ред. д-ра техн. наук проф. С. М. Егера., М.: Машиностроение. 1983. 616 с.
- [46] **Комаров В.А.** Точное проектирование // Онтология проектирования. 2012. №3, с.8-23.
- [47] **Мальчевский В.В.** Матрично-топологический метод синтеза схемы и компоновки самолёта (опыт автоматизации творческой деятельности конструктора). – М.: Изд-во МАИ, 2011. 356 с.
- [48] **Егер С.М., Лисейцев Н.К., Самойлович О.С.** Основы автоматизированного проектирования самолетов. Москва: Машиностроение, 1986. 232 с.
- [49] **Borgest N., Korovin M., Gromov Al., Gromov An.** The Concept of Automation in Conventional Systems Creation Applied to the Preliminary Aircraft Design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2015. P.147-156. DOI 10.1007/978-3-319-15147-2.
- [50] Воздушный кодекс Российской Федерации (В редакции федеральных законов от ... 29.12.2022 № 577-ФЗ) <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102046246>.
- [51] Полная энциклопедия мировой авиации: Самолеты и вертолеты XX столетия / Под ред. Д. Дональда. Издание на русском языке. Самара: Корпорация Федоров. 1997. 928 с.
- [52] **Крайнев А.Ф.** Искусство построения машин и сооружений с древнейших времен до наших дней: – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. 248 с.
- [53] **Wilkinson Philip.** Great Design. The world's best design explored & explained. London: DK Publishing. 2013. 256 p.
- [54] **Маслов В.Г.** Теория выбора оптимальных параметров при проектировании авиационных ГТД. – М.: Машиностроение, 1981. 123 с.
- [55] **Боргест Н.М., Григорьев В.А., Кузьмичев В.С.** Искусственный интеллект в проектировании авиационной техники и роль школы профессора В.Г. Маслова в процессе его развития // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2021. Т. 20, № 3. С.171-190. DOI: 10.18287/2541-7533-2021-20-3-171-190.

- [56] **Болдырев А.В., Павельчук М.В.** Методика обучения топологическому проектированию конструкций на основе моделей тела переменной плотности // *Онтология проектирования*. 2016. Т.6, №4(22). С.501-513. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-501-513.
- [57] **Пантелеев А.В., Каранз М.М.С.** Анализ эффективности мультиагентных методов оптимизации элементов конструкций летательных аппаратов // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2019. Т.22. №2. С.96-107. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-2-96-108.
- [58] **Козырева В.В., Волков А.А.** Модель агента с адаптивным поведением для решения задачи вариантного проектирования строительных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2013. №11. С.241-247.
- [59] **Жиляев А.А.** Онтологии как инструмент создания открытых мультиагентных систем управления ресурсами // *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №2(32). С.261-281. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281.
- [60] **Скобелев П.О.** Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге // *Онтология проектирования*. 2013. №2. С.26-48.
-

Сведения об авторе

Боргест Николай Михайлович, 1954 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва (1978), к.т.н. (1985). Доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета, с.н.с. ИПУСС РАН. Член Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям, Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 200 работ в области автоматизации проектирования и ИИ. AuthorID (РИНЦ): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. borgest@yandex.ru.



Поступила в редакцию 10.07.2023, после рецензирования 30.08.2023. Принята к публикации 8.09.2023.



The concept of a set in the theory and practice of designing

© 2023, N.M. Borgest

Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia
Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Science, Institute for the Control of Complex Systems of the Russian Academy of Science, Samara, Russia

Abstract

The concept of a set is one of the key concepts in mathematics and not only. To further the discussion, assessments of the significance of sets in designing, generated by large language models, are given as a kind of generalized take on the importance of this concept. An analysis of the concepts of a set and a class in mathematics and engineering is provided. The multiplicity of their interpretations and the difference in various fields of application directly related to the concept of “element of the set”, are shown. In designing, the concept of a set is considered in various aspects and is filled with different content. First of all, it is a set of needs that continuously arise, and the design activity, accompanied by a multitude of design subjects participating in it, is aimed at satisfying them. It is also a set of precedents (already created artifacts), which are analogues and prototypes for the designer, but for one reason or another do not satisfy the emerging needs of the subjects. There are sets of: design parameters and design variables of the object being developed; criteria for evaluating a new artifact; background assumptions, data and conditions, including limitations; models describing the designed object; decision-making methods and, finally, a variety of design decisions. An objectively existing set of values of initial data and evaluation criteria in designing can be and is considered as an uncertainty (uncertain set), and as a given that must be revealed, narrowing the range of solutions and lowering the power of sets. In designing practice (removal of uncertainty, degeneration of the multiplicity of possible values of design parameters, etc.) one always strives for a singleton (a set with a single element), i.e. to the design solution that will be embodied in a design, technology or system.

Key words: system analysis, designing, set, class, classification, uncertainty, multi-criteria, multi-agent technologies, ontology.

For citation: Borgest NM. The concept of a set in the theory and practice of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 306-332. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-306-332.

Funding: The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research theme code FMRW-2022-0030.

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

List of figures and tables

Figure 1 – GAI landscape: generative models and artifacts [20] (visualization of the classification of many GAI models)

Figure 2 – Categories and options for using ontologies [21]

Figure 3 – The expected impact of the GAI on the economy, arts and culture, employment, civil society, education, healthcare, industry, governance, etc. according to the World Economic Forum.

Figure 4 – Qualitative comparison of the impact of systems engineering (systems knowledge and procedures) and aerospace engineering (subject knowledge and procedures) at different stages of designing (conceptual, preliminary, detailed designing and documentation development stage)

Figure 5 – Change in costs and distribution of decisions (%) at various stages of aircraft development

Figure 6 – Views of the design teams on the concept of the aircraft: a) designers group; b) production group; c) aerodynamics group; d) motor group; e) weight group; f) flight control and stabilization team

Figure 7 – Possible schemes of the aircraft (a set of scheme design solutions)

Figure 8 – Examples of sets of design decisions when designing aircraft components

Figure 9 – An example of determining the area of stable optimal values of engine operating process parameters (shaded area) according to the criteria for the take-off mass and fuel efficiency of the aircraft under the uncertainty of the initial design data [55]

Table 1 – YandexGPT answers to questions

Table 2 – Generated responses of various neural network models of the GPT family to the question: "Tell us about the concept of a set in the theory and practice of designing"

Table 3 – Generated answers by neural networks of the GPT family (<https://chat-gpt.org/ru/chat>) to the questions: "The concept of a set and its use in the theory of designing, and in practice in designing"

Table 4 – Generated answers by various neural network models of the GPT family to the questions: "How to check the accuracy of the information that you provide? Is it possible to find out the authors of the information that you process?"

Table 5 – Russian civil aviation aircraft by ICAO categories

Table 6 – Aircraft Classification by maximum takeoff weight

References

- [1] **Voitsekhovsky MI.** Set [In Russian]. Mathematical Encyclopedia (in 5 volumes). Moscow: Soviet Encyclopedia, 1982. V.3. P.754.
- [2] **Efimov BA.** Set theory [In Russian]. Mathematical encyclopedia (in 5 volumes). Moscow: Soviet Encyclopedia, 1982. Vol.3. P.750-752.
- [3] **Komarov VA.** Design and material [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(2): 175-191. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-2-175-191.
- [4] **Borodai SYu.** Language and knowledge. Post-relativistic research program [In Russian]. *Questions of linguistics journal*. 2019; 4: 106-136. DOI:10.31857/S0373658X0005709-8.
- [5] **Nigel H. Collier, Fangyu Liu, Ehsan Shareghi.** On reality and the limits of language data: aligning LLMs with human norms. 9 May 2023. 9 p. <https://arxiv.org/abs/2208.11981v2>. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.11981>.
- [6] **Kennedy AG.** Idealizations in Science. 10 November 2022. Oxford Bibliographies. Oxford University Press. <https://www.oxfordbibliographies.com/display/document/obo-9780195396577/obo-9780195396577-0193.xml>.
- [7] **Biryukov BV.** Idealization. Great Russian Encyclopedia: [In Russian]. In 35 vol. Ch. ed. YuS Osipov. Moscow: Great Russian Encyclopedia, 2004–2017. <https://old.bigenc.ru/philosophy/text/2000062>.
- [8] **Mendeleev D.** Correlation of properties with atomic weight of elements [In Russian]. *Journal of the Russian Chemical Society*. 1869.1:60-77.
- [9] **Gómez-Pérez A, Fernández-Lopez M, Corcho O.** Ontological Engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web. Springer-Verlag London Limited, 2004. 159 p.
- [10] Ontology components. https://en.wikipedia.org/wiki/Ontology_components#cite_note-1.
- [11] **Borgest NM.** Keywords of ontology of designing: review, analysis, generalization [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 3(3): 9-31.
- [12] **Girin RV, Orlov SP.** Object-oriented decomposition of artificial neural network's program logic [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 110-123. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-110-123.
- [13] **Golovko VA, Golenkov VV, Ivashenko VP, Taberko VV, Ivaniuk, DS, Kroshchanka AA, Kovalev MV.** Integration of artificial neural networks and knowledge bases [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 366-386. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-366-386.
- [14] **Antonov VV, Kulikov GG, Kromina LA, Rodionova LE, Fakhrullina AR, Kharisova ZI.** The concept of a software and analytical complex of the educational process based on ontology and artificial neural networks [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2021; 11(3): 339-350. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-339-350.
- [15] **Bukhanovsky AV, Ivanov SV, Kovalchuk SV, Nechaev YuI.** Ontological system of knowledge and computing resources of modern intellectual technologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 22-33. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-22-33.
- [16] **Klenin JD.** Active learning approach to knowledge extraction from descriptions of educational courses under conditions of small data [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 522-535. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-522-535.
- [17] **Frank MC.** Baby steps in evaluating the capacities of large language models. *Nat Rev Psychol* 2, 451–452 (2023). <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00211-x>.
- [18] **Zhao WX, Zhou K, Li J, Tang T, Wang X, Hou Y, Min Y, Zhang B, Zhang J, Dong Z, Du Y, Chen Y, Chen Y, Chen Z, Jiang J, Ren R, Li Y, Tang X, Liu Z, Liu P, Nie J-Y, Wen J-R.** A Survey of Large Language Models. arXiv:2303.18223v11 [cs.CL] 29 Jun 2023. 85 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.18223>.
- [19] **Kaddour J, Harris J, Mozes M, Bradley H, Raileanu R, McHardy R.** Challenges and Applications of Large Language Models. arXiv:2307.10169 [cs.CL] 19 Jul 2023. 72 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.10169>.
- [20] **Jovanovic M, Campbell M.** Generative Artificial Intelligence: Trends and Prospects. *Computer*. 2022; 55(10): 107-112,. doi: 10.1109/MC.2022.3192720.

- [21] **Dudáš M, Lohmann S, Svátek V, Pavlov D.** Ontology visualization methods and tools: a survey of the state of the art. *The Knowledge Engineering Review*, Cambridge University Press. 2018; 33(e10): 1–39. doi:10.1017/S0269888918000073.
- [22] **Dudáš M, Zamazal O, Svátek V.** Roadmapping and navigating in the ontology visualization landscape. In *Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Springer. 2014. 137–152.
- [23] **Routley Nick.** What is generative AI? An AI explains. Feb 6, 2023. <https://www.weforum.org/agenda/2023/02/generative-ai-explain-algorithms-work/>.
- [24] **Slack D, Krishna S, Lakkaraju H. et al.** Explaining machine learning models with interactive natural language conversations using TalkToModel. *Nat Mach Intell* 5, 873–883 (2023). DOI:10.1038/s42256-023-00692-8.
- [25] **Krzysztof Ciesielski.** Set Theory for the Working Mathematician. Cambridge University Press. 1997. 236 p.
- [26] **Russell B.** The Principles of Mathematics. 2d. ed. Reprint, New York: W. W. Norton & Company, 2009. (First published in 1903.) 534 p.
- [27] **Zermelo E.** Beweis, daß jede Menge wohlgeordnet werden kann. *Math. Ann.* 59, 514–516 (1904). <https://doi.org/10.1007/BF01445300>.
- [28] **Bruce Kim B.** Foundations of Object-Oriented Languages: Types and Semantics. Cambridge, MA: MIT Press. (2002). ISBN 978-0-262-02523-2.
- [29] **Whitehead A, Russell B.** Foundations of Mathematics: in 3 vols. V.1. [In Russian]. Trans. from English. Ed. GP Yarovoy, YuN. Radaev. Samara: Samara University Publishing House, 2005. 722 p.
- [30] **Mendelson Elliot.** Introduction to mathematical logic. Sixth edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2015. 499 p.
- [31] **Adamson IT.** A Set Theory Workbook. Cambridge (Mass., USA): Birkhäuser Boston, 1998. 154 p.
- [32] **Berestov Igor.** Zeno of Elea in contemporary translations and philosophic discussions [In Russian]. Novosibirsk 2021 Center for the Study of Ancient Philosophy and the Classical Tradition of NSU; Offset-TM, 2021. 206 p.
- [33] **Grünbaum A.** Zeno's Metrical Paradox of Extension // Zeno's Paradoxes / Salmon W.C., ed. Indianapolis: Hacklett, 2001. P.164–199.
- [34] **Priest G.** On a Version of One of Zeno's Paradoxes. *Analysis*. 1999; 59(1): 1–2.
- [35] New Philosophical Encyclopedia: In 4 vols. [In Russian]. Moscow: Thought. Edited by V.S. Stepin. 2001. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/4533/MHOЖECTBO.
- [36] **Aristotle.** Categories [In Russian]. Ed. G.F. Aleksandrov (with notes and preface), translated by A.V. Kubitsky. Moscow: GSEI, 1939. 124 p.
- [37] GOST R 59517-2021. Unmanned aerial systems. Classification and categorization [In Russian]. Introduction date 2021-07-01. Standartinform. 2021. 10 p.
- [38] GOST R 57258-2016. Unmanned aerial systems. Terms and Definitions [In Russian]. Introduction date 2017-06-01. Standartinform, 2018. 12 p.
- [39] GOST R 56122-2014. Air Transport. Unmanned aerial systems. General requirements [In Russian]. Introduction date 2015-07-01. Standartinform, 2015. 11 p.
- [40] GOST R 54265-2010. Air Transport. Aviation work. Classification [In Russian]. Introduction date 2012-07-01. Standartinform, 2012 23 p.
- [41] **Levin GD.** The classical theory of truth and the "Liar" paradox [In Russian]. *Epistemology and Philosophy of Science*. 2008; 15(1): 83-99.
- [42] **Kantor G.** Proceedings on the theory of sets. Transl. F.A. Medvedev and P.S. Yushkevich. Moscow.: Nauka, 1985. 430p.
- [43] **Petrovsky A.B.** Spaces of sets and multisets. Moscow: Editorial URSS, 2003. 248 p.
- [44] **Sadraey MH.** Aircraft design: a systems engineering approach. A John Wiley & Sons, Ltd. 2013. 778 p.
- [45] Aircraft design. Textbook for universities [In Russian]. Ed. dr. tech., sci. prof. S.M. Eger. Moscow: Mechanical engineering. 1983. 616 p.
- [46] **Komarov VA.** Concurrent design [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 3: 8-23.
- [47] **Malchevsky VV.** Matrix-topological method for synthesizing the scheme and layout of the aircraft (experience in automating the creative activity of the designer) [In Russian]. Moscow: MAI Publishing House, 2011. 356 p.
- [48] **Eger SM, Liseyev NK, Samoilovich OS.** Fundamentals of computer-aided design of aircraft [In Russian]. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 232 p.
- [49] **Borgest N, Korovin M, Gromov AI, Gromov An.** The Concept of Automation in Conventional Systems Creation Applied to the Preliminary Aircraft Design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2015. P.147-156. DOI 10.1007/978-3-319-15147-2.
- [50] Air Code of the Russian Federation [In Russian]. (As amended by federal laws of ... 29.12.2022 No. 577-FZ). <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102046246>.

- [51] The Complete Encyclopedia of World Aviation / Ed. D. Donald. Edition in Russian. Samara: Fedorov Corporation. 1997. 928 p.
 - [52] **Krainev AF**. The art of building machines and structures from ancient times to the present day [In Russian]. Moscow: Spektr Publishing House, 2011. 248 p.
 - [53] **Wilkinson Philip**. Great Design. The world's best design explored & explained. London: DK Publishing. 2013. 256 p.
 - [54] **Maslov VG**. The theory of choosing optimal parameters when designing aviation gas turbine engines [In Russian]. Moscow: Mechanical engineering, 1981. 123 p.
 - [55] **Borgest NM, Grigoriev VA, Kuzmichev VS**. Artificial intelligence in the design of aviation technology and the role of the school of Professor V.G. Maslov in the process of its development [In Russian]. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2021; 20(4): 171-190. DOI: 10.18287/2541-7533-2021-20-3-171-190.
 - [56] **Boldyrev AV, Pavelchuk MV**. Training technique for topological structures designing based on a variable density body models [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 501-513. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-501-513.
 - [57] **Panteleev AV, Karane MMS**. The efficiency analysis of multi-agent optimization methods of aircraft designs elements [In Russian]. *Scientific Bulletin of MSTU GA*. 2019; 22(2): 96-107. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-2-96-108.
 - [58] **Kozyreva VV, Volkov AA**. Agent Model with Adaptive Behavior for the Problem Solution of Trial Design of Constructions [In Russian]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013; 11: 241-247.
 - [59] **Zhilyaev AA**. Ontology as a tool for creating open multi-agent resource management systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 261-281. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281
 - [60] **Skobelev PO**. Situation-driven decision making and multi-agent technology: finding solutions in dialogue [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 2: 26-48.
-

About the author

Nikolay Mikhailovich Borgest (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev) in 1978, PhD (1985). He is an Associate Professor at the Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, a Senior Research worker at ICCS RAS. He is a member of the International Association for Ontology and its Applications, a member of the Russian Association of Artificial Intelligence, a co-author of more than 200 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI. AuthorID (RCI): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. borgest@yandex.ru.

Received July 10, 2023. Revised August 30, 2023. Accepted September 8, 2023.

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 001.92

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-333-351

**Персонализированные шаблоны конструкторских документов в учебном проектировании: онтологические аспекты и ситуационно-ориентированная реализация**© 2023, В.В. Миронов¹✉, А.С. Гусаренко¹, Г.А. Тугузбаев²¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия² Уфимский юридический институт МВД России, Уфа, Россия**Аннотация**

Рассматривается информационная поддержка учебного проектирования на основе персонализированной автоматизации. Учебное проектирование в техническом учебном заведении предполагает разработку конструкторской документации, включающей технические решения и значительный объём формальных сведений, предусмотренных стандартами и методическими требованиями. Автоматизированное генерирование персонализированных шаблонов (заготовок) конструкторских документов позволяет снизить трудоёмкости рутинных этапов процесса учебного проектирования для студентов и преподавателей. Обсуждается концептуальная схема процесса учебного проектирования, включающая соответствующую систему понятий и связывающих их отношений, с учётом многовариантности проектных заданий и многоэтапности процесса проектирования. При персонализации в шаблон вносятся данные участников процесса, варианта технического задания, связанных событий. Для многоэтапных проектов шаблоны персонализируются с учётом технических решений, принятых на предыдущих этапах проектирования. Рассматривается реализация предложенной концепции процесса учебного проектирования на основе ситуационно-ориентированного подхода. Практическое использование результатов при курсовом проектировании моделей баз данных предусматривает генерирование персонализированных графических документов в открытых форматах редактора *Visio*. Предлагаемая персонализация ориентирована на графические документы в виде схем и может быть применена для чертежей и текстовых документов.

Ключевые слова: учебное проектирование; конструкторский документ; персонализированный шаблон; ситуационно-ориентированный подход, открытые графические форматы *Visio*.

Цитирование: Миронов В.В., Гусаренко А.С., Тугузбаев Г.А. Персонализированные шаблоны конструкторских документов в учебном проектировании: онтологические аспекты и ситуационно-ориентированная реализация // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №3(49). С.333-351. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-333-351.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Целью учебного проектирования (УП) в инженерном образовании является выработка у студентов умений и навыков решения типовых проектных задач создания технических объектов или процессов в той или иной области. В результате УП студентами под руководством преподавателя создаётся конструкторская документация (КД), включающая совокупность проектных решений в форме, пригодной для реализации объекта проектирования. При этом творческая деятельность по выработке и обоснованию проектных решений неизбежно сопровождается рутинной работой по оформлению КД в соответствии с требованиями стан-

дартов и иных правил. В условиях ограниченного учебного времени целесообразно снизить трудоёмкость рутинной работой в УП.

Применение шаблонов — заранее подготовленных заготовок КД, ориентированных на конкретный тип проекта и/или на студентов — распространённая практика в учебном процессе, особенно когда КД выполняются в электронном виде. Идея персонализированных шаблонов предусматривает индивидуальную настройку заготовок КД с учётом персональных данных студента, варианта выданного ему задания, а также проектных решений в ранее созданных КД (рисунок 1). Использование персонализированных шаблонов призвано освободить студента от ручного внесения в КД тех данных, которые можно извлечь из информационной базы процесса УП.



Рисунок 1 – Идея персонализации КД в ходе УП

1 Степень разработанности темы

В областях, обеспечивающих информационную поддержку процессов проектирования, функции автоматизированной генерации документации (в т.ч. КД), разработка и применение шаблонов нашли широкое применение [1–5]. Активно используются онтологические модели соответствующих предметных областей [6–11].

Персонализация понимается как адаптация продуктов или услуг под конкретных людей или под группы людей для повышения качества обслуживания, удовлетворённости клиентов, эффективности бизнес-процессов. Персонализация рассматривается как ключевой элемент современного процесса предоставления услуг в различных сферах, в т.ч. с учётом онтологических аспектов [12–23].

Персонализация в образовании подразумевает, что учащимся предоставляется возможность планировать образовательную траекторию, ставить или выбирать значимые учебные цели, управлять временем и темпом обучения, выбирать те или иные задания, способы их решения и проверки, работать индивидуально и в группе и т.д. [24–30]. Указанные параметры определяются учащимся или педагогом с учётом индивидуальных особенностей обучающегося. Большую роль при этом играют онтологические аспекты [29, 30]. Персонализацию КД не следует путать с персонализацией идентификационных документов, подразумевающей защиту документов, удостоверяющих личность [31]. В [32] рассмотрено построение персонализированных документов на основе языка текстовой разметки *XML*. В [33] эта задача решена для КД в форматах текстового процессора *Word*. В [34] аналогичная задача решается для графических документов *Visio*. С ними связана задача извлечения данных из КД [35]. Работы [36, 37] выполнены в рамках развития ситуационно-ориентированного подхода к интеграции гетерогенных данных в веб-приложениях. В основе этого подхода лежит понятие виртуальных мультидокументов, отображаемых на реальные внешние источники данных. В данном случае задаётся отображение на шаблоны-заготовки текстовых и графических КД в виде документов *Word* и *Visio*, а также на источники данных персонализации в виде *XML*-файлов, таблиц базы данных (БД), веб-сервисов и/или документов в открытых офисных форматах. В шаблонах-заготовках предварительно размечаются места размещения данных

персонализации. Далее шаблоны в формате *XML* загружаются в объекты обработки данных в ситуационно-ориентированной среде, заполняются данными персонализации и выгружаются в виде персонализированных шаблонов.

В *ситуационно-независимой персонализации* в шаблон вносятся данные, относящиеся к проекту в целом и существующие на момент начала проектирования. В многоэтапных проектах разрабатывается последовательность зависимых КД, когда текущий КД зависит от проектных решений, содержащихся в ранее разработанных КД. Для этого требуется персонализация на основе данных, содержащихся в этих КД (см. рисунок 1, двойная стрелка). Такую персонализацию можно назвать *ситуационно-зависимой*.

Отсутствие целостной концепции и понятийного аппарата, описывающего использование персонализированных шаблонов КД для УП, обуславливает необходимость исследования онтологических аспектов данной задачи.

2 Классы объектов УП

Онтологии рассматриваются как формализация некоторой области знаний УП с помощью концептуальной схемы - структуры данных, отражающей существенные классы объектов, их связи и ограничения, принятые в данной области. Концептуальная схема нужна как основа для: понимания процесса УП на высоком уровне абстракции для разработчиков автоматизированной системы; дальнейшего логического и физического проектирования средств автоматизированной генерации персонализированных шаблонов в процессе УП.

Для построения концептуальной схемы выбрана расширенная модель сущность–связь. Для этой модели известны различные нотации, здесь используется смешанная нотация, которая названа «уфимской».

2.1 Классы и категории, связанные с УП

Учебный проект рассматривается как тип и как воплощение этого типа. В первом случае имеются в виду проекты, предусмотренные в учебных планах направлений и специальностей подготовки студентов, а также методическое обеспечение этих проектов; во втором случае - выполнение конкретных проектов конкретными студентами.

На рисунке 2 представлены классы и отношения объектов, непосредственно характеризующих учебный проект как тип. Прямоугольник соответствует классу объектов. Символ связи $\blacksquare \rightarrow$ задаёт отношение между классами типа «родитель–ребёнок». Треугольник в символе связи задаёт направление от родителя к ребёнку, светлый фон означает, что каждому экземпляру родительского класса может соответствовать ноль, один или несколько экземпляров дочернего класса. Кругок в символе связи определяет обязательность в направлении от ребёнка к родителю: тёмный кругок означает, что каждому экземпляру дочернего класса должен соответствовать один экземпляр родительского класса, а светлый, — что допустимы «сироты» — экземпляры дочернего класса, не имеющие соответствующего экземпляра родительского класса. Квадрат в символе связи указывает идентификацию через связь: тёмный означает, что экземпляры класса-ребёнка идентифицируются в контексте экземпляра родителя, светлый — что экземпляры класса-ребёнка идентифицируются независимо от экземпляра родителя. С учётом этой семантики на рисунке 2 заданы следующие классы.

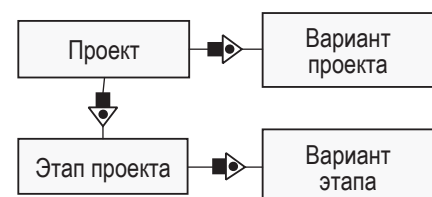


Рисунок 2 – Классы и отношения учебного проекта

«Проект» объединяет экземпляры, соответствующие типам проектов, которые выполняются студентами в процессе УП в соответствии с учебными планами.

«Этап проекта» включает экземпляры типов этапов, предусмотренных для соответствующих типов проектов. У каждого экземпляра проекта должен быть по крайней мере один дочерний экземпляр этапа. Каждый экземпляр этапа соответствует только одному экземпляру проекта и идентифицируется через него.

«Вариант проекта» содержит экземпляры, соответствующие вариантам задания для каждого экземпляра проекта. Вариант подразумевает некоторую формальную модель, дающую возможность автоматически сгенерировать техническое задание (ТЗ) для студента-исполнителя, а также выполнить автоматизированную проверку результатов УП. У каждого экземпляра проекта должен быть по крайней мере один дочерний экземпляр варианта проекта, но при этом каждый экземпляр варианта проекта соответствует только одному экземпляру проекта и идентифицируется через него.

«Вариант этапа» содержит экземпляры, соответствующие вариантам ТЗ для каждого экземпляра этапа проекта. У каждого экземпляра проекта может быть несколько дочерних экземпляров варианта этапа, но каждый экземпляр варианта этапа соответствует только одному экземпляру этапа проекта и идентифицируется через него.

2.2 Шаблон КД

Шаблон КД — это документ, предназначенный для использования в процессе УП в качестве заготовки для разрабатываемого КД. В УП используются шаблоны различных категорий (рисунок 3).

Прямоугольник задаёт класс объектов (понятие), в данном случае — это класс «шаблон КД». Экземплярами этого класса являются конкретные шаблоны. Именованный символ «круг с чертой» (заимствованный из стандарта *IDEFIx*) обозначает связь категоризации, задающую отношение типа «класс–подкласс» («суперкласс–категория», «обобщение–детализация» и т.п.). Имена категорий подчеркнуты. Двойная черта в символе категоризации означает полную категоризацию (каждый экземпляр суперкласса относится к одной, и только одной из дочерних категорий), а одинарная — неполную (возможны экземпляры суперкласса, не относящиеся ни к одной из дочерних категорий).

В соответствии с приведённой классификацией шаблон может относиться к одной из двух категорий: «неперсонализируемый», т.е. передаваемый исполнителю «как есть», или «персонализируемый», т.е. подвергаемый настройке перед выдачей исполнителю.

Персонализируемый шаблон может относиться к категории «настраиваемый макет» (в дальнейшем — «макет»). Этот способ персонализации предполагает, что изначально имеется документ, в который в ходе персонализации заносятся определённые персональные данные.

Типы и экземпляры макета. Шаблон-макет можно рассматривать как:

- макет — это понятие отражает тип шаблона-макета, предназначенного для определённого типа КД и готового к персонализации (на базе макета одного типа может быть сгенерировано множество персонализированных макетов);
- персонализированный макет — это экземпляр макета некоторого типа, заполненный конкретными данными персонализации и предназначенный для выдачи студенту для создания КД в рамках задания УП;
- готовый КД — это КД, разработанный исполнителем на основе персонализированного макета и прошедший установленную процедуру проверки и утверждения.

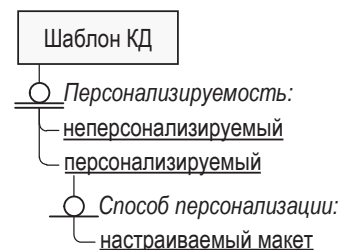


Рисунок 3 – Категории шаблона КД

2.3 Настраиваемые компоненты макета

Способ персонализации «настраиваемый макет» означает, что шаблон КД представляет собой документ, сконструированный таким образом, что в дальнейшем его можно наполнить определёнными персональными данными. Для этого макет содержит набор *настраиваемых компонентов макета* (НКМ) — контейнер для персональных данных. В одном макете может быть размещено несколько НКМ, каждый экземпляр НКМ соответствует одному родительскому макету. Понятию НКМ соответствуют три класса сущностей:

- компонент — тип НКМ, предназначенного для определённого типа КД и готового к персонализации (на базе макета одного типа может быть сгенерировано множество персонализированных макетов);
- компонент в макете — это экземпляр НКМ некоторого типа, размещённый в макете некоторого типа, но не наполненный содержанием;
- компонент в персонализированном макете — это экземпляр НКМ, наполненный содержанием в некотором экземпляре персонализированного макета.

На рисунке 4 представлены диаграммы категорий для двух классов НКМ. Экземпляры класса «компонент» подразделяются по признаку атомарности, которая задаёт категоризацию НКМ в зависимости от внутренней структуры, существенной для персонализации: НКМ может быть простым либо составным. Составной НКМ содержит вложенные (дочерние) НКМ, совокупностью которых можно манипулировать как единым целым. Простой НКМ подразделяется на три категории: по виду содержания, по поставщику и по формату.

Вид содержания поясняет вид данных, настраиваемых в ходе персонализации. В этой категории простой НКМ может быть текстом, картинкой или условным графическим обозначением (УГО). При персонализации такие элементы наполняются соответственно текстовыми данными, растровыми или векторными изображениями. Данная категоризация не полная, допускает возможность НКМ с иным видом содержания.

Поставщик определяет категории содержания, указывая принадлежность персональных данных. По поставщику простой НКМ независимо от содержания и источника может иметь следующие категории: «участник», «проект», «событие». НКМ-участник отражает персональные данные лиц или организаций, принимающих участие в проекте: исполнителя, консультанта, контролёра и т.п. НКМ-проект отражает данные проекта: проектные требования, проектные решения и т.п. НКМ-событие отражает существенные моменты процесса проектирования: начало, завершение, контрольные моменты для стадии, этапа, действия и т.п.

Формат определяет категорию формы существования НКМ внутри КД и технические особенности размещения содержания при персонализации. Независимо от содержания, источника и поставщика простой НКМ может относиться к категориям: «элемент», «текст элемента», «атрибут», «значение атрибута».

Далее рассматриваются КД, выполненные в открытых *XML*-форматах. Для категории «элемент» в процессе настройки НКМ необходимо сформировать *XML*-элемент и вставить его в определённое место внутри КД. Это самый гибкий формат, поскольку *XML*-элемент может включать в себя как текстовое содержимое и атрибуты, так и другие вложенные эле-

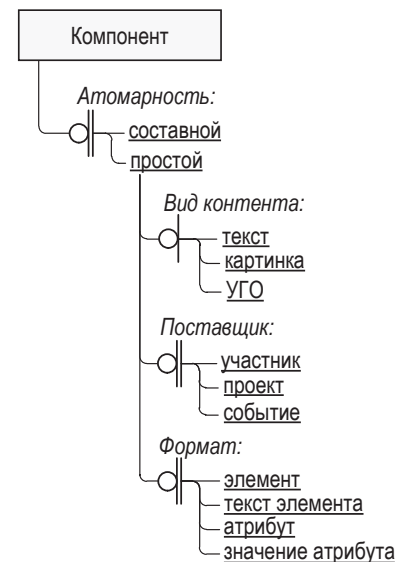


Рисунок 4 – Категории класса «компонент»

менты. Для категории «атрибут» необходимо сформировать *XML*-атрибут и прикрепить его к определённому *XML*-элементу внутри КД. Для остальных категорий сформированный текст размещается в виде текстового содержимого определённого *XML*-элемента или в виде значения определённого *XML*-атрибута некоторого *XML*-элемента.

Класс «компонент в макете» (рисунок 5). Экземпляры этого класса подразделяются по признакам обязательности и кратности.

Обязательность — НКМ может быть обязательным или опционным. В отличие от обязательного опционный НКМ может отсутствовать в конкретном экземпляре макета, т.е. решение о его наличии/отсутствии должно приниматься по определённым правилам в ходе персонализации.

Кратность задаёт категоризацию НКМ по признаку атомарности/структурности.



Рисунок 5 – Категории «компонент в макете»

2.4 Запросы

Понятие «запрос» определяет источник содержания для заполнения НКМ при персонализации. Каждому простому НКМ соответствует один запрос, в то время как один конкретный запрос может поставлять содержание в несколько НКМ. Понятию запроса соответствуют два класса сущностей:

- запрос — как тип, специфицирующий извлечение содержания для определённого типа НКМ (сам запрос не может быть выполнен, т.к. требует задания определённых параметров при использовании в конкретном персонализированном макете);
- исполняемый запрос (ИЗ) — запрос как воплощение некоторого типа запроса, т.е. это - экземпляр запроса некоторого типа, в котором заданы все требуемые параметры и который может быть выполнен для получения конкретных персональных данных.

На рисунке 6 представлены категории запроса в зависимости от источника.

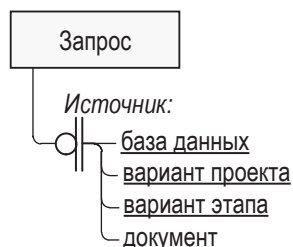


Рисунок 6 – Категории класса «запрос»

База данных — запрос к некоторой БД: с какой БД и каким образом следует установить соединение, к каким объектам БД нужно обратиться и какие сведения из них извлечь. Для конкретизации такого запроса необходимо идентифицировать текущее исполнение проекта.

Вариант проекта — запрос на выборку определённых данных из варианта проекта: к каким элементам варианта проекта нужно обратиться и какие сведения извлечь. Для конкретизации такого запроса необходимо идентифицировать конкретный вариант проекта для исполнения проекта.

риант проекта для исполнения проекта.

Вариант этапа — запрос на выборку определённых данных из варианта этапа проекта: к каким элементам варианта этапа проекта нужно обратиться и какие сведения извлечь. Для конкретизации такого запроса необходимо идентифицировать конкретный вариант этапа для этого исполнения проекта.

Документ — запрос на выборку определённых данных из некоторого документа в репозитории КД: путь доступа к определённому типу документа в репозитории, а также путь доступа к определённым данным внутри документа. Для конкретизации запроса необходимо идентифицировать конкретное исполнение проекта.

3 Концептуальная схема УП

На основе рассмотренных классов (см. рисунки 3–6) построена концептуальная схема для УП на основе персонализированных шаблонов-макетов (рисунок 7). На схеме отражены только те из рассмотренных категорий, которые участвуют в отношениях классов.

Схема содержит рассмотренные классы: *П* — проект; *Э* — этап проекта; *ВП* — вариант проекта; *ВЭ* — вариант этапа; *М* — макет; *ПМ* — персонализированный макет; *ГД* — готовый КД; *К* — компонент; *КМ* — компонент в макете; *З* — запрос; *ИЗ* — исполняемый запрос. На схеме также представлены классы:

Д (документ) задаёт типы КД, разработка которых предусмотрена в ходе УП;

ДЭ (документ на этапе) указывает, какие документы D должны быть разработаны на тех или иных этапах проекта Э;

И (исполнение проекта) задаёт конкретные экземпляры УП, когда некоторый вариант *ВП* проекта *П* выполняется студентом;

ИЭ (исполнение этапа) задаёт экземпляры, соответствующие выполнению некоторого этапа проекта *Э*, для которого назначен вариант этапа *ВЭ* в проекте *И*.

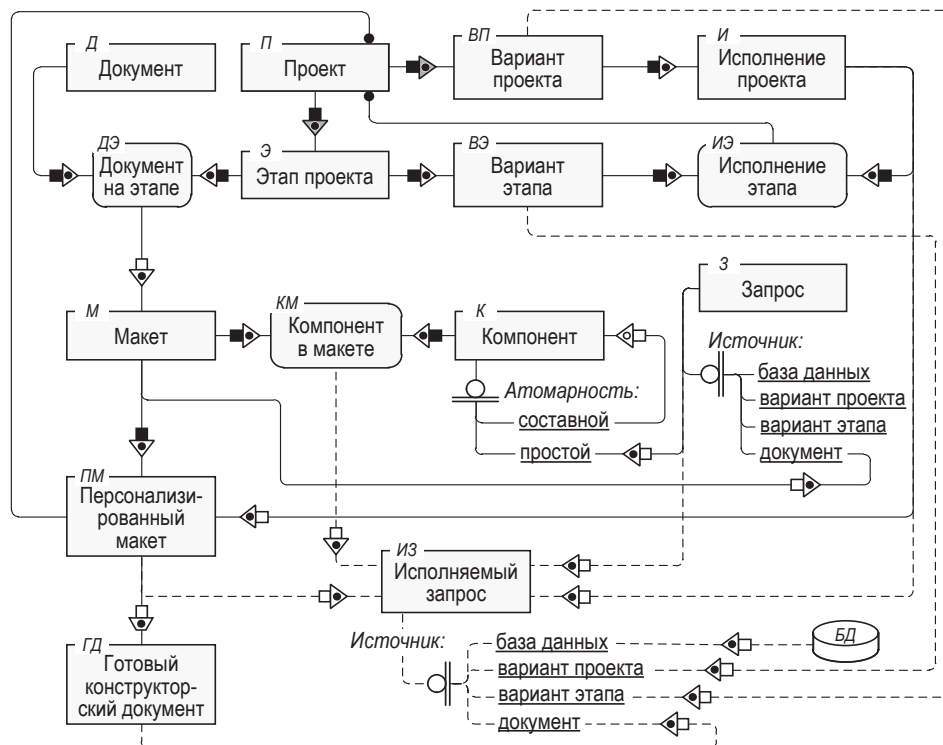


Рисунок 7 – Концептуальная схема УП на основе персонализированных шаблонов

3.1 Ограничения отношений

Концептуальная схема содержит ряд ограничений на отношения классов.

Отношения «многие-ко-многим». Классы ДЭ, ИЭ, КМ содержат экземпляры, соответствующие парам экземпляров своих родителей. Так, экземпляр ДЭ соответствует паре «экземпляр документа — экземпляр этапа проекта»; экземпляр ИЭ соответствует паре «экземпляр варианта этапа — экземпляр исполнения проекта»; экземпляр КМ соответствует паре «экземпляр компонента — экземпляр макета». Экземпляры этих классов идентифицируются

через связи от своих родителей (являются «полными иждивенцами» — скруглённые прямоугольники). Эти классы задают связи типа многие-ко-многим между своими родителями: например, одному экземпляру макета M может соответствовать ноль, один или несколько экземпляров компонента K ; одному экземпляру компонента K может соответствовать ноль, один или несколько экземпляров макета M .

«Бездетность» в отношениях «родитель–ребёнок». Большинство связей родитель–ребёнок допускает возможность экземпляров родителей, для которых отсутствуют экземпляры детей (белый фон треугольника в символе связи). Исключение составляют связи $П \rightarrow Э$ и $П \rightarrow ВП$ (серый фон треугольника в символе связи). Связь $П \rightarrow Э$ означает, что у каждого проекта $П$ есть по крайней мере один этап $Э$. Аналогично связь $П \rightarrow ВП$ означает, что у каждого проекта $П$ есть по крайней мере один вариант $ВП$. Следует отметить, что для схожей по смыслу связи $Э \rightarrow ВЭ$ это ограничение отсутствует.

«Сиротство» в отношениях «родитель–ребёнок». Связи этого типа не допускают сирот за исключением рекурсивной связи $К \rightarrow К$. Данная связь имеет иерархическую структуру составных компонентов $К$, указывая для компонента его компонент-родитель. Сироты здесь необходимы для исключения бесконечной рекурсии.

Условное отношение «родитель–ребёнок». Связь $ПМ \rightarrow ГД$ имеет ограничение на количество возможных детей — у одного родителя допускается не более одного ребёнка. Это ограничение отражает тот факт, что конкретный экземпляр $ПМ$ ещё не доведён до уровня готового $КД$.

Ограничение общего предка. Ограничение этого вида задано на схеме с помощью связей в виде символа связи с тёмным концевым кружком, где кружок указывает на класс-предок для исходного класса. На схеме представлено два таких ограничения: $ПМ \bullet П$ и $ИЭ \bullet П$. Ограничение общего предка требует, чтобы для каждого экземпляра исходного класса соответствующие экземпляры класса-предка совпадали для всех путей, ведущих из исходного класса в класс-предок.

На схеме показаны два пути из класса $ПМ$ в класс $П$ в направлении предка: $ПМ \rightarrow М \rightarrow ДЭ \rightarrow Э \rightarrow П$; $ПМ \rightarrow И \rightarrow ВП \rightarrow П$. Для каждого из путей каждому экземпляру $ПМ$ соответствует один и только один экземпляр $П$ (переходы от ребёнка к родителю при отсутствии сирот). Согласно схеме движение по разным путям не всегда приведёт к одному и тому же предку. Однако в данном случае необходимо, чтобы каждому экземпляру $ПМ$ всегда, независимо от пути, соответствовал один и тот же экземпляр проекта $П$. Это обеспечивается благодаря ограничению общего предка.

На схеме показаны два пути из класса $ИЭ$ в класс $П$: $ИЭ \rightarrow ВЭ \rightarrow Э \rightarrow П$; $ИЭ \rightarrow И \rightarrow ВП \rightarrow П$. Каждому экземпляру $ИЭ$ соответствует один и только один экземпляр $П$, и не гарантируется, что движение по разным путям всегда приведёт к одному и тому же предку. В данном случае необходимо, чтобы каждому экземпляру варианта исполнения $ВИ$ всегда, независимо от пути, соответствовал один и тот же экземпляр проекта $П$. Ограничение общего предка гарантирует выполнение этого требования.

3.2 Виртуальные отношения

Класс $ИЗ$ содержит экземпляры, возникающие в ходе персонализации экземпляров $ПМ$, для заполнения содержанием настраиваемых компонентов, относящихся к категории простой. Связи класса $ИЗ$ заданы на рисунке 7 с помощью пунктирных соединительных линий. Так отмечают виртуальные связи — отношения, которые выводятся из других отношений схемы и поэтому являются избыточными.

Пусть на момент персонализации компонента:

$из_i$ — экземпляр исполняемого запроса: $из_i \in ИЗ$;

u_i — экземпляр исполнения проекта, $u_i \in И$;

$пм_i$ — экземпляр персонализируемого макета, $пм_i \in ПМ$;

$км_i$ — экземпляр компонента в макете, соответствующий экземпляру простого компонента: $км_i \in КМ$, $\text{cat}(км_i \wedge К \mid \text{'атомарность'}) = \text{'простой'}$, где выражение типа $x \wedge Y$ обозначает операцию получения родителя экземпляра x в классе Y ;

$з$ — экземпляр запроса, являющийся предком экземпляра $км_i$: $з \in З$, $з = км_i \wedge К \wedge З$.

Тогда экземпляр связи:

$ПМ \rightarrow ИЗ$ соответствует паре экземпляров $(пм_i, из_i)$;

$КМ \rightarrow ИЗ$ соответствует паре экземпляров $(км_i, из_i)$;

$З \rightarrow ИЗ$ соответствует паре экземпляров $(з, из_i)$;

$И \rightarrow ИЗ$ соответствует паре экземпляров $(u_i, из_i)$.

Спецификация запроса берётся из экземпляра $з$. Для источника данных категория экземпляра $из_i$ совпадает с категорией экземпляра $з$. Параметры запроса, общие для всех категорий $из_i$, берутся из экземпляра u_i . В зависимости от категории экземпляра $из_i$:

- для категорий «БД» и «документ» общих параметров достаточно для выполнения запроса;
- для категории «вариант проекта» требуется соответствующий экземпляр $вп$, $вп \in ВП$, который определяется как родитель экземпляра u_i : $вп = u_i \wedge ВП$;
- для категории «вариант этапа» требуется соответствующий экземпляр варианта $вэ$, $вэ \in ВЭ$, который определяется следующим образом. Для экземпляра макета $м$ отыскивается экземпляр этапа проекта $э$, $э \in Э$, как $э = м_i \wedge ДЭ \wedge Э$. Далее отыскивается экземпляр $вэ$, для которого $э$ является предком ($э = вэ \wedge ВЭ \wedge Э$), а u_i — родителем ($u_i = вэ \wedge ИЭ$). Это можно задать предикатом: $вэ$: $вэ \in ВЭ$, $вэ \wedge Э = м_i \wedge ДЭ \wedge Э$, $\exists из$: $из \in ИЗ$, $из \wedge Э = u_i \wedge ДЭ \wedge Э$, где $\exists$ — квантор существования. При этом ограничения идентификации и общего предка, заданные на схеме для класса $ИЗ$, гарантируют, что возможно не более одного экземпляра $вэ$, удовлетворяющего этому условию.

4 Информационная система поддержки УП

На основе концептуальной схемы разработана информационная системы (ИС) поддержки УП на базе персонализированных шаблонов КД.

4.1 Ситуационно-ориентированная парадигма

ИС поддержки УП основана на ситуационно-ориентированной парадигме [36, 37]. Архитектура ситуационно-ориентированной среды показана на рисунке 8.

Обработка данных в рамках этой парадигмы основана на интерпретации иерархической ситуационной модели *HSM* (*Hierarchical Situation Model*), представляющей собой совокупность иерархически упорядоченных субмоделей. Каждая субмодель содержит набор элементов-состояний, с которыми ассоциированы элементы:

- переходы, задающие условия смены текущих состояний;
- акции, определяющие действия в текущих состояниях;
- виртуальные документы, отображающие внешние источники данных в различных форматах во внутреннее представление;
- объекты обработки, обеспечивающие преобразование виртуальных документов.

На каждом цикле отслеживаются переходы текущего состояния активных субмоделей, выполняются ассоциированные с текущими состояниями акции, обрабатывает виртуальные документы. Для обработки виртуальных документов соответствующие им реальные данные загружаются в объекты обработки в формате *XML* или *JSON*. Результаты обработки выгружаются через виртуальные документы.

Концепция виртуальных документов обеспечивает единообразную совместную обработку внешних источников данных различных форматов. Автоматизированная ИС в задаче поддержки персонализированных шаблонов обрабатывает данные из следующих источников:

- персональные данные зарегистрированных студентов из БД *MySQL*, а также из веб-сервисов ИС университета;
- модели вариантов заданий в виде документов в формате *XML*;
- персональные задания, сведения о выполнении этапов проекта, замечаниях руководителя в виде документов в формате *XML*;
- шаблоны-макеты КД, персонализированные шаблоны, готовые КД в виде графических и текстовых документов в форматах *Visio* (*VDX* — открытый формат в виде файлов *XML*, *VSDX* — открытый формат в виде *ZIP*-архива файлов *XML*) и *Word* (*WSDX* — открытый формат текстовых документов в виде *ZIP*-архива файлов *XML*).

Персонализация шаблона-макета выполняется путём преобразования *XML*-данных, загруженных в объект обработки, через отображение виртуального документа. Преобразование данных выполняется через программный интерфейс *DOM* (*Document Object Model* — объектная модель документа) или по технологии *XSLT* (*eXtensible Stylesheet Language Transformations* — язык преобразования *XML*-документов).



Рисунок 8 – Архитектура ситуационно-ориентированной среды

4.2 Подготовка персонализируемого шаблона графического КД

Шаблон-макет КД должен быть предварительно подготовлен так, чтобы программа персонализации могла локализовать в нём все НКМ и наполнить их соответствующим содержанием. Желательно, чтобы процесс подготовки шаблона разработчик мог выполнять в визуальной среде графического редактора, не погружаясь во внутреннюю структуру документа. Разработчик задаёт дизайн КД, используя выразительные возможности графического редактора, а ИС при персонализации наполняет содержанием НКМ из КД.

При подготовке макета различаются параметрический и структурный методы персонализации. При параметрической персонализации НКМ заранее размещается в макете, а в ходе персонализации настраиваются его параметры. При структурной персонализации изначально НКМ отсутствует в макете и вносится в него в ходе персонализации. Такой подход более сложный, но более универсальный. Параметрическая персонализация часто осуществляется на основе экземпляров или именованных графических фигур, а структурная — на основе якорей.

Экземплификант — это текстовая метка в макете, которая должна быть заменена конкретным значением при параметрической персонализации. Во многих случаях НКМ, соответствующие УГО, содержат текстовые фрагменты: имена, пояснения, числовые характери-

стики и т.п., которые подлежат персонализации. Если в макете такому текстовому фрагменту задать уникальное значение, то при персонализации ИС может отыскать в документе это значение и заменить его персональными данными. При этом не требуется учитывать внутреннюю структуру фигуры, соответствующей НКМ. Например, в *XML*-документе во всех текстовых узлах, содержащих строку «ФИО-исполнителя», эта строка заменяется, например, на строку «Иванов И. И.».

Именованная графическая фигура — это внутренняя структура, задающая в графическом документе НКМ и имеющая уникальное имя или свойство, что позволяет ИС отыскать её в шаблоне. ИС, учитывая внутреннюю структуру фигуры, заполняет в ней настраиваемые поля.

Якорь — это специальная фигура, которое указывает в макете КД место для размещения определённого содержания при персонализации. Якорь имеет уникальное имя или свойство, по которым ИС может найти его в шаблоне и заменить соответствующей фигурой НКМ. Такой способ используется при структурной персонализации в тех случаях, когда заранее неизвестно, какого типа УГО и сколько экземпляров потребуется внести в КД.

4.3 Модели доступа к элементам графических КД

Для персонализации требуется внесение данных в определённые места шаблона-макета, а для получения вносимых данных - извлечение данных из внутренней структуры КД. Решение подобной задачи зависит от формата КД, для чего требуются соответствующие модели доступа. В рассматриваемом случае используются КД, основанные на языке *XML*. Модели доступа к элементам графических КД ориентированы на используемые форматы векторной графики *VDX* и *VSDX* (рисунок 9).

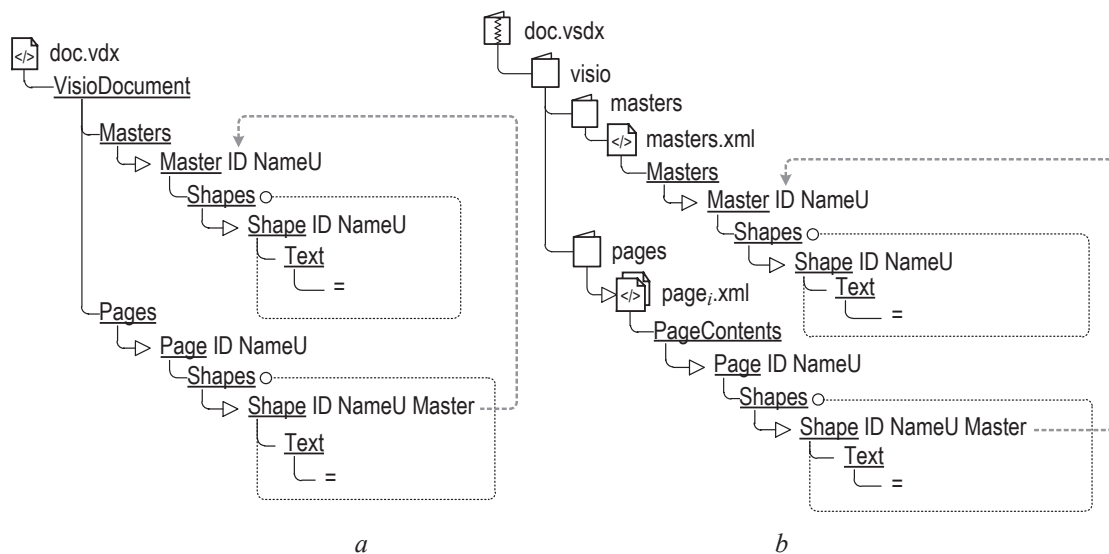


Рисунок 9 – Модели доступа к элементам графических документов в форматах *VDX* (a) и *VSDX* (b)

Модели представляют собой иерархическую структуру, ориентированную на язык *XML*, где имена *XML*-элементов подчёркнуты, а имена *XML*-атрибутов заданы списком после соответствующих *XML*-элементов. Модели содержат только те внутренние элементы и атрибуты документов, которые существенны для доступа к интересующим частям КД при внесении или извлечении данных.

Векторная графика в формате *VDX* (рисунок 9a) представляет собой файл с текстом, размеченным посредством языка *XML*. ИС в этом случае загружает и обрабатывает документ

целиком. Образцы собраны внутри *XML*-элемента *Masters*, а воплощения образцов *Shape* - на страницах документа *Pages/Page* внутри *XML*-элементов *Shapes*.

В формате *VSDX* (рисунок 9b) графический документ — это файл *ZIP*-архива, содержащий папки с *XML*-файлами, задающими отдельные части графического документа. Сведения о фигурах собраны в папке *visio*, внутри которой в папке *masters* размещён файл с образцами *masters.xml*, а в папке *pages* — файлы имеющихся в документе страниц (*page1.xml*, *page2.xml* и т.д.) с описанием размещённых на них фигур *Shape*. ИС в этом случае должна извлечь из *ZIP*-архива нужные файлы и обрабатывать их по отдельности.

Особенность рассматриваемых графических форматов состоит в том, что фигура, отображаемая на листе документа, представляется внутри документа в виде образца (*Master*), задающего общие свойства некоторого класса фигур, и в виде фигуры (*Shape*), являющейся воплощением образца и задающей его свойства. Фигуры могут содержать другие вложенные фигуры (рекурсивная необязательная связь от *XML*-элемента *Shape* к родительскому *XML*-элементу *Shapes*) и надписи, значения которых необходимо задавать при персонализации. Надпись фигуры обычно определяется текстовым содержимым *XML*-элемента *Text*, вложенного в *XML*-элемент *Shape*.

Представленные модели доступа используются для задания путей (с помощью *XPath*-выражений) к нужным местам внутри персонализируемых шаблонов КД при использовании технологий *DOM* или *XSLT*.

4.4 Пример

Рассмотренный подход к использованию персонализированных шаблонов в УП осуществлён в автоматизированной ИС поддержки курсового проектирования (АИС ПКП) по учебной дисциплине «Базы данных» на кафедре автоматизированных систем управления Уфимского университета науки и технологий. Система представляет собой веб-приложения (<http://hsm.ugatu.su/artem/dbproj>), функционирующее в ситуационно-ориентированной среде под управлением интерпретатора иерархических ситуационных моделей на платформе *LAMP* (*Linux* + *Apache* + *MySQL* + *PHP*).

УП по этой дисциплине предусматривает разработку концептуально-логических моделей БД для различных бизнес-процессов и ежегодно обслуживает примерно 250 студентов различных направлений в области информационных технологий. АИС предоставляет студентам возможность выполнять в онлайн режиме следующие действия:

- регистрироваться и вводить свои персональные данные;
- получать сгенерированное системой ТЗ;
- поэтапно получать персонализированные системой шаблоны КД;
- загружать на сервер КД, подготовленные на основе полученных шаблонов;
- знакомиться с отчётом сканера нормоконтроля о выявленных ошибках;
- получать замечания от преподавателя по результатам технического контроля;
- получать ссылки на методические материалы по теме проекта.

Возможности, предоставляемые преподавателю:

- назначать студенту вариант задания;
- получать на проверку подготовленные КД;
- запускать сканер плагиат-контроля для выявления плагиата в КД;
- знакомиться в репозитории с похожими КД;
- знакомиться с отчётом сканера нормоконтроля о выявленных ошибках;
- вводить замечания по результатам технического контроля загруженных КД;
- принимать загруженный КД и допускать студента к следующему этапу;
- получать аналитические отчёты о ходе УП.

Особенности работы АИС при персонализации:

- генерация персонализированных текстовых документов в формате *Word*: ТЗ, разделов пояснительной записки, текста программы, аналитических отчётов;
- генерация персонализированных шаблонов графических КД в формате *Visio* (учебный проект включает до 12 этапов, на 8 из них предусмотрена разработка графических моделей БД);
- внедрение в фигуры персонализированного шаблона цифровых водяных знаков, идентифицирующих исполнителя для выявления плагиата в графических КД.

На рисунке 10 приведён фрагмент КД, выполненного на основе персонализированного шаблона. На фрагменте представлена основная надпись КД и часть таблицы переименований.

90	=Вид задания=	=Задание ремонта\ОПРИ=	=Обувь в приеме=	=Характеристика обуви:ОП*Х=			
	=Вид материала=	=Материал=	=Обувь в приеме=	=Задание ремонта\ОПРИ=			
	=Вид обуви=	=Обувь в приеме=	=Вид операции:СПР=	=Операция=			
	=Вид операции=	=Операция=	=Вид материала:СПР=	=Материал=			
	=Вид претензии=	=Претензия к обуви:ОВЫД*ВИДП=	=Материал=	=Материал для операции:ОПЗ*М=			
	=Выдача=	=Обувь в выдаче\ВЫД=	=Операция в задании:ЗАД*ОПЕР=	=Материал для операции=			
	=Должность=	=Приемщик=	=Операция=	=Операция в задании:ЗАД*ОПЕР=			
	=Должность=	=Мастер=	=Вид претензии:СПР=	=Претензия к обуви:ОВЫД*ВИДП=			
	=Должность=	=Контролер=	=Обувь в выдаче:ВЫД*ОПРИ=	=Претензия к обуви:ОВЫД*ВИДП=			
	=Должность=	=Приемщик=	=Выдача:ПР=	=Обувь в выдаче:ВЫД*ОПРИ=			
100	=Задание ремонта=	=Операция в задании:ЗАД*ОПЕР=	=Прием=	=Обувь в приеме=			
	=Категория=	=Клиент=	=Приемщик:СОТР=	=Выдача:ПР=			
	=Клиент=	=Прием=	=Клиент=	=Выдача:ПР=			
2022-2.5.БД.КР.ПИ-326.20130090							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разработал	Хасанов Р.А.		18.09.22				
Проверил	Миронов В.В.						
Разработка концептуально-логических моделей базы данных бизнес-процесса					Лит.	Масса	Масштаб
					Г	С	
Модель глобальная «сущность-связь»					Лист 1	Листов 1	
					ФГБОУ ВО «УГАТУ»		

Рисунок 10 – Фрагмент КД, подготовленного на основе персонализированного шаблона

Поля основной надписи относятся к категории простых (атомарность), к категории текстовых (содержание), к категории текстового содержимого *XML*-элемента (формат). Заполнение этих полей в ходе персонализации выполняется методом экземплификантов, поскольку их легко пометить в исходном макете уникальными строками символов. Поля основной надписи относятся к категории ситуационно-независимых, для их заполнения не требуется учитывать результаты предшествующих этапов УП. Поля двух левых столбцов таблицы переименований являются ситуационно-зависимыми. Таблица переименований составляется с целью обеспечения межэтапной прослеживаемости изменений имён объектов в ходе проектирования. Эти столбцы содержат имена сущностей и их атрибутов, использовавшихся на предыдущем этапе проектирования, а правые столбцы — соответствующие им изменённые имена данного этапа. Для заполнения левых столбцов ИС сканирует фигуры в КД предыдущего этапа, извлекает имена и заносит их в таблицу переименований. Поля таблицы переименований заполняются в ходе персонализации методом именованных графических фигур

(в данном случае — заранее размещённых в макете текстовых полей, имена которых содержат числовой индекс, используемый ИС для локализации объекта).

Заключение

В статье представлены результаты исследования онтологических аспектов применения персонализированных шаблонов в УП. В основе предлагаемого подхода к созданию персонализируемых шаблонов лежит введённое понятие НКМ КД, для которых задаются запросы к источникам персонализированного содержания. На основе концептуальной схемы разработана ИС поддержки УП на базе персонализированных шаблонов КД. Применение персонализированных шаблонов снижает трудоёмкость рутинных операций оформления КД. Полученные результаты применяются в учебном процессе в автоматизированной ИС поддержки курсового проектирования.

Список источников

- [1] **Сергеев И.А., Бельтюков А.П.** Модель автоматизации анализа различных групп документов для синтеза структуры документа в зависимости от вида деятельности // Системная инженерия и информационные технологии. 2022. Т.4, №1(8). С.5–11. DOI: 10.54708/26585014_2022_4185.
- [2] **Козырев Д.Б.** Особенности практического использования информации в системе сквозного проектирования на этапе технологической подготовки производства // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 122–130. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-10.
- [3] **Бойков А.А.** О реализации автоматического нормоконтроля графической части конструкторских документов для одного класса чертежей деталей // Физико-техническая информатика (СРТ2020). 2020. С. 332–339.
- [4] **Антонов В.В., Конев К.А.** Система поддержки принятия решений для бизнес-процесса внутреннего аудита качества предприятия // Онтология проектирования. 2022. Т.12, № 1(43). С.106–116. DOI 10.18287/2223-9537-2022-12-1-106-116.
- [5] **Салтанова М.А.** Особенности разработки конструкторской документации в системе *E3.series* // Математическое моделирование и информационные технологии. 2020. С. 105–105.
- [6] **Цыганков Д.Э., Шайхеева Г.Р., Горбачев И.В.** Внесение конструкторских данных в проектное решение и их модификация в задачах геометрического моделирования // Вестник Концерна ВКО Алмаз-Антей. 2021. №1(36). С.85–92.
- [7] **Грибова В.В., Паршкова С.В., Федорищев Л.А.** Онтологии для разработки и генерации адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.200–217. DOI 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.
- [8] **Асабин К.А., Гурин И.А., Куят А.А.** Разработка веб-сервиса для заполнения шаблонов Microsoft Word на платформе *.NET Core* // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ'2021). Екатеринбург, 2021. С.186–190.
- [9] **Muradyan V., Efimenko E.** Actual problems of the design documentation development for capital repairs or reconstruction of capital structural facilities // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. 281: 02013. DOI:10.1051/e3sconf/202128102013.
- [10] **Theunissen T., Hoppenbrouwers S., Overbeek S.** Approaches for Documentation in Continuous Software Development // Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly. 2022. № 32. С.1–27.
- [11] **Гвоздев В.Е., Бежаева О.Я., Сафина Г.Р.** Многоаспектное моделирование ситуаций в задачах обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №1(47). С.125–138. DOI 10.18287/2223-9537-2023-13-1-125-138.
- [12] **Плеханов С.В., Прытков А.Н., Бабаев С.Э.** Персонализация как неотъемлемый аспект деятельности современной организации // Парадигмы управления, экономики и права. 2020. №1(3). С.49–56.
- [13] **Сохраняева Т.В.** Стратегия массовой персонализации в современном образовании // *Человек*. 2021. Т.32, №2. С.30–40. DOI:10.31857/S023620070014857-9.
- [14] **Колобов О.С. и др.** Персонализация электронных услуг на примере рекомендательного сервиса библиотеки // Информационные технологии, компьютерные системы и издательская продукция для библиотек. 2022. С. 35–40.

- [15] **Щербинин М.К., Зеленко Л.С.** Разработка механизма персонализации отчетов программного комплекса «Комплекс охраны труда» и web-приложения для их конфигурирования // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2020): Тр. Междунар. науч.-техн. конф. Самара, 2020. С.76–78.
- [16] **Болодурин И.П., Парфенов Д.И., Шухман А.Е., Забродина Л.С.** Автоматизированное машинное обучение: обзор возможностей современных платформ анализа данных // Системная инженерия и информационные технологии. 2021. Т.3, №1(5). С.50–57.
- [17] **Кащина Ж.Е.** Персонализация как вероятное будущее корпоративной отчетности // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2021. № 2. С.16–23.
- [18] **Abdullayev G.** Algorithmically and programming management of designing process of flexible manufacture system // Системная инженерия и информационные технологии. 2021. Т.3, №1(5). С.20–28.
- [19] **Вихарев А.В., Коровкина Е.В.** Информационные технологии создания персонализированного контента с использованием средств окулографического мониторинга // Тинчуринские чтения — 2022. Энергетика и цифровая трансформация. Казань, 2022. С. 28–31.
- [20] **Goldenberg D. et al.** Personalization in practice: Methods and applications. In: Proc. 14th ACM Int. Conf. on Web Search and Data Mining. 2021. P. 1123–1126. DOI:10.1145/3437963.3441657.
- [21] **Jain G., Paul J., Shrivastava A.** Hyper-personalization, co-creation, digital clienteling and transformation // J. of Business Research. 2021. Vol. 124. P. 12–23. DOI:10.1016/j.jbusres.2020.11.034.
- [22] **Saniuk S., Grabowska S., Gajdzik B.** Personalization of products in the Industry 4.0 concept and its impact on achieving a higher level of sustainable consumption. *Energies*. 2020. Vol.13, no.22. P.5895. DOI: 10.3390/en13225895.
- [23] **Aretxabaleta M. et al.** Automation of measurements for personalized medical appliances by means of CAD software — application in robin sequence orthodontic appliances. *Bioengineering*. 2022. V.9, no.12. P.773. DOI: 10.3390/bioengineering9120773.
- [24] **Львов Л.В.** Персонализация в образовании в условиях цифровой трансформации жизни // Теоретико-методологические и прикладные проблемы науки о человеке и обществе в условиях цифровой трансформации жизни: Материалы Междунар. науч.-иссл. конф. Челябинск, 2020. С. 134–136.
- [25] **Прохорова М.П., Шкунова А.А., Гуреева Е.П.** Средства персонализации образовательного процесса в рамках электронных курсов // Проблемы современного педагогического образования. 2021. №71-3. С.183–187.
- [26] **Аникьева М.А.** Применение графов знаний в образовательной среде для персонализированного обучения // Информатика и образование. 2021. № 10. С. 33–42.
- [27] **Блатова Т.А., Макаров В.В.** Персонализированная модель образования на базе технологии цифровых двойников // Национальная концепция качества: государственная и общественная защита прав потребителей: Сб. тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. СПб, 2019. С. 9–13.
- [28] **Романов А.А., Волчек Д.Г.** Анализ данных о поведении пользователей в системах электронного обучения. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №1(35). С.100–111. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-100-111.
- [29] **Муромцев Д.И.** Модели и методы индивидуализации электронного обучения в контексте онтологического подхода. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №1(35). С.34–49. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-34-49.
- [30] **Alamri H.A., Watson S., Watson W.** Learning technology models that support personalization within blended learning environments in higher education. *Tech Trends*. 2021. V.65. P.62–78. DOI: 10.1007/s11528-020-00530-3.
- [31] **Лосев В.Г.** Современные способы персонализации документов // II Минские криминалистические чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 2020): в 2 ч. Минск, 2020. Ч. 2. С. 147–150.
- [32] **Миронов В.В., Шакирова Г.Р., Яфаев В.Э.** Иерархическая модель персонализированных документов и её XML-реализация // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2008. Т.11. №1. С.164–174.
- [33] **Миронов В.В., Гусаренко А.С. и др.** Создание персонализированных документов на основе ситуационно-ориентированной базы данных // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. Т. 18. № 4 (65). С.191–197.
- [34] **Миронов В.В., Гусаренко А.С., Тугузбаев Г.А.** Ситуационно-ориентированные базы данных: формирование персонализированных графических документов для поддержки учебного проектирования // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020. Т.8. №2(29). 18 р. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.013.
- [35] **Миронов В.В., Гусаренко А.С., Тугузбаев Г.А.** Извлечение семантической информации из графических схем // *Информатика и автоматизация*. 2021. Т.20. №4. С.940–970. DOI: <https://doi.org/10.15622/ia.20.4.7>.
- [36] **Миронов В.В., Юсупова Н.И., Гусаренко А.С.** Ситуационно-ориентированные базы данных: современное состояние и перспективы исследования // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2015. Т.19. №2(68). С.188–199.

- [37] **Миронов В.В., Гусаренко А.С., Юсупова Н.И.** Структурирование виртуальных мультидокументов в ситуационно-ориентированных базах данных с помощью entry-элементов // Труды СПИИРАН. 2017. №4(53). С.225–242. DOI: 10.15622/sp.53.11.

Сведения об авторах



Миронов Валерий Викторович, 1952 г. рождения. Профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского университета науки и технологий. Диплом радиофизика (Воронежский государственный ун-т, 1975). Д-р техн. наук (1995). Область научных интересов: иерархические модели и ситуационное управление. ORCID: 0000-0002-0550-4676. AuthorID (РИНЦ): 691759. Author ID (Scopus): 57192962687. Researcher ID (WoS): AAB-9377-2022. mironov@list.ru ✉



Гусаренко Артем Сергеевич, 1987 г. рождения. Доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского университета науки и технологий. Диплом информатика-экономиста (Уфимский государственный авиационный технический ун-т, 2010). Канд. техн. наук (2013). Область научных интересов: ситуационно-ориентированные модели и базы данных. ORCID: 0000-0003-4132-6106. AuthorID (РИНЦ): 692073. Author ID (Scopus): 57192955402. Researcher ID (WoS): A-9304-2014. gusarenko@ugatu.su.



Тугузбаев Гаяз Ахтямович, 1982 г. рождения. Преподаватель кафедры управления в ОВД. Диплом магистра в области прикладной информатики (Уфимский государственный авиационный технический ун-т, 2017). Аспирантура в обл. информатики и вычислительной техники (Уфимский государственный авиационный технический ун-т, 2021). ORCID: 0000-0003-2036-6416. AuthorID (РИНЦ): 1105227. Author ID (Scopus): 57192962687. Researcher ID (WoS): GRR-9497-2022. hayaz1@mail.ru.

Поступила в редакцию 18.06.2023, после рецензирования 01.09.2023. Принята к публикации 08.09.2023.

Редакция сочла уместным привести титульный экран разработанной ИС по дисциплине «Базы данных» для студентов Уфимского университета науки и технологии



Personalized engineering documentation templates in instructional design: ontological aspects and situation-based implementation

© 2023, V.V. Mironov¹✉, A.S. Gusarenko¹, G.A. Tuguzbaev²

¹ Ufa University of Science and Technologies, Ufa, Russia

² Ufa Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Ufa, Russia

Abstract

Information support for instructional design based on personalized automation is considered. Instructional design in a technical educational institution involves the development of engineering documentation, which includes, along with technical solutions, a significant amount of formal information provided for by standards and methodological requirements. Automated generation of personalized templates (blanks) of engineering documents makes it possible to reduce the labor intensity of routine stages of the instructional design process for students and teachers. The article discusses the conceptual scheme of this process, including the corresponding system of concepts and relationships connecting them taking into account the multivariance of design tasks and the multi-stage nature of design process. During personalization, the data of participants in the process, a version of the technical specifications, and related events are entered into the template. For multi-stage projects, templates are also personalized, considering technical decisions made at previous design stages. The implementation of the proposed concept of the instructional design process based on a situation-oriented approach is considered. The practical use of the results in the course design of database models involves the generation of personalized graphic documents in open formats of the Visio editor. The proposed personalization is focused on graphic documents in the form of diagrams and can be applied to drawings as well as text documents.

Key words: instructional design; engineering document; personalized template; situation-oriented approach; Visio open graphic formats.

For citation: Mironov VV, Gusarenko AS, Tuguzbaev GA. Personalized engineering documentation templates in instructional design: ontological aspects and situation-based implementation [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 333-351. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-333-351.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures

- Figure 1 — The idea of personalizing engineering documents during instructional design
- Figure 2 — Classes and relations of the educational project
- Figure 3 — Engineering document template categories
- Figure 4 — The "Component" class categories
- Figure 5 — The "Component in Layout" class categories
- Figure 6 — The "Request" class categories
- Figure 7 — Conceptual diagram of the learning process based on personalized templates
- Figure 8 — Situation-oriented architecture
- Figure 9 — Models of access to elements of graphic documents in VDX (a) and VSDX (b) formats
- Figure 10 — Fragment of an engineering document prepared on the basis of a personalized template

References

- [1] **Sergeev IA, Beltyukov AP.** A model for automating the analysis of various groups of documents for synthesizing the structure of a document depending on the type of activity [In Russian]. *System Engineering and Information Technologies*. 2022; 4(1): 5–11. DOI 10.54708/26585014_2022_4185.
- [2] **Kozyrev DB.** Features of the practical use of information in the system of end-to-end design at the stage of technological preparation of production [In Russian]. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2019; 4(16): 122–130. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-10.

- [3] **Boykov AA.** On the implementation of automatic normative control of the graphic part of design documents for one class of detail drawings [In Russian]. *Physical and Technical Informatics (CPT2020)*, 2020, pp.332–339.
- [4] **Antonov VV, Konev KA.** Decision support system for the business process of internal audit of enterprise quality [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2022; 12(1): 106–116. DOI 10.18287/2223-9537-2022-12-1-106-116.
- [5] **Saltanova MA.** Features of the development of design documentation in the E3.series system [In Russian]. *Mathematical Modeling and Information Technologies*, 2020. P.105–105.
- [6] **Tsygankov DE, Shaikheeva GR, Gorbachev IV.** Introduction of design data into the design solution and their modification in problems of geometric modeling [In Russian]. *Bulletin of the Concern VKO Almaz-Antey*, 2021; 1(36): 85–92.
- [7] **Gribova VV, Parshkova SV, Fedorishchev LA.** Ontologies for the development and generation of adaptive user interfaces for knowledge base editors [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2022; 12(2): 200–217. DOI 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.
- [8] **Asabin KA, Gurin IA, Kuyat AA.** Development of a web service for filling Microsoft Word templates on the .NET Core platform [In Russian]. *Heat Engineering and Informatics in Education, Science and Production (TIM'2021)*. Yekaterinburg, 2021, pp.186–190.
- [9] **Muradyan V, Efimenko E.** Actual problems of the design documentation development for capital repairs or reconstruction of capital structural facilities, E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021; 281: 02013. DOI:10.1051/e3sconf/202128102013.
- [10] **Theunissen T, Hoppenbrouwers S, Overbeek S.** Approaches for documentation in continuous software development, *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, 2022; 32: 1–27.
- [11] **Gvozdev VE, Bezhaeva OYa, Safina GR.** Multiaspect modeling of situations in tasks of ensuring the functional safety of hardware and software systems [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2023; 13(1): 125–138. DOI 10.18287/2223-9537-2023-13-1-125-138.
- [12] **Plekhanov SV, Prytkov AN, Babaev SE.** Personalization as an integral aspect of the activity of a modern organization [In Russian]. *Paradigms of Management, Economics and Law*, 2020; 1(3): 49–56.
- [13] **Sokhranyaeva TV.** The strategy of mass personalization in modern education [In Russian]. *Chelovek*, 2021; 32(2): 30–40. DOI:10.31857/S023620070014857-9.
- [14] **Kolobov OS. et al.** Personalization of electronic services on the example of a library recommendation service [In Russian]. *Information Technologies, Computer Systems and Publishing Products for Libraries*, 2022, p.35–40.
- [15] **Shcherbinin MK, Zelenko LS.** Development of a report personalization mechanism for the Occupational Safety and Health Complex software package and web applications for their configuration [In Russian]. *Perspective Information Technologies (PIT 2020): Proc. Int. Sci.-Tech. Conf., Samara*, 2020, pp.76–78.
- [16] **Bolodurina IP, Parfenov DI, Shukhman AE, Zabrodina LS.** Automated machine learning: a review of the capabilities of modern data analysis platforms [In Russian]. *System Engineering and Information Technologies*, 2021; 3(1): 50–57.
- [17] **Kashchina ZhE.** Personalization as a probable future of corporate reporting [In Russian]. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Economics and Law*, 2021; 2: 16–23.
- [18] **Abdullayev G.** Algorithmically and programming management of designing process of flexible manufacture system [In Russian]. *System Engineering and Information Technologies*, 2021; 3(1): 20–28.
- [19] **Vikharev AV, Korovkina EV.** Information technologies for creating personalized content using oculographic monitoring tools [In Russian]. *Tinchurinsky Readings - 2022. Energy and digital transformation*. Kazan, 2022, p.28–31.
- [20] **Goldenberg D. et al.** Personalization in practice: Methods and applications", in: *Proc. 14th ACM Int. Conf. on Web Search and Data Mining*, 2021, pp. 1123–1126. DOI:10.1145/3437963.3441657.
- [21] **Jain G, Paul J, Shrivastava A.** Hyper-personalization, co-creation, digital clienteling and transformation, *J. Business Research*, 2021; 124: 12–23. DOI:10.1016/j.jbusres.2020.11.034.
- [22] **Saniuk S, Grabowska S, Gajdzik B.** Personalization of products in the Industry 4.0 concept and its impact on achieving a higher level of sustainable consumption, *Energies*, 2020; 13(22): 5895. DOI: 10.3390/en13225895.
- [23] **Aretxabaleta M. et al.** Automation of measurements for personalized medical appliances by means of CAD software — application in robin sequence orthodontic appliances, *Bioengineering*, 2022; 9(12): 773. DOI: 10.3390/bioengineering9120773.
- [24] **Lvov LV.** Personalization in education in the conditions of digital transformation of life [In Russian]. *Theoretical, Methodological and Applied Problems of Science about Man and Society in the Conditions of Digital Transformation of Life: Proc. Int. Sci. Research Conf., Chelyabinsk*, 2020, pp. 134–136.
- [25] **Prokhorova MP, Shkunova AA, Gureeva EP.** Means of personalization of the educational process within the framework of electronic courses [In Russian]. *Problems of Modern Pedagogical Education*, 2021; 71-3: 183–187.
- [26] **Anik'eva MA.** The use of knowledge graphs in the educational environment for personalized learning [In Russian]. *Informatics & Education*, 2021; 10: 33–42.

- [27] **Blatova TA, Makarov VV**. Personalized education model based on digital twin technology [In Russian]. National Concept of Quality: State and Public Protection of Consumer Rights: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. St. Petersburg, 2019, pp.9–13.
- [28] **Romanov AA, Volchek DG**. Analysis of user behavior data in e-learning systems [In Russian]. *Ontology of Design*, 2020; 10(1): 100–111. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-100-111.
- [29] **Muromtsev DI**. Models and methods of individualization of e-learning in the context of the ontological approach [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2020; 10(1): 34–49. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-34-49.
- [30] **Alamri HA, Watson S, Watson W**. Learning technology models that support personalization within blended learning environments in higher education, *Tech Trends*, 2021; 65: 62–78. DOI: 10.1007/s11528-020-00530-3.
- [31] **Losev VG**. Modern methods of personalization of documents [In Russian]. 2nd Minsk Forensic Readings: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. (Minsk, 2020). Minsk, 2020, part 2, pp. 147–150.
- [32] **Mironov VV, Shakirova GR, Yafaev VE**. Hierarchical model of personalized documents and its XML implementation [In Russian]. *Vestnik UGATU*, 2008; 11(1): 164–174.
- [33] **Mironov VV, Gusarenko AS et al.** Creation of personalized documents based on a situation-oriented database [In Russian]. *Vestnik UGATU*, 2014; 18(4): 191–197.
- [34] **Mironov VV, Gusarenko AS, Tuguzbaev GA**. Situation-oriented databases: the formation of personalized graphic documents to support educational design [In Russian]. *Modeling, Optimization and Information Technologies*, 2020; 8(2). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.013.
- [35] **Mironov VV, Gusarenko AS, Tuguzbaev GA**. Extraction of semantic information from graphic schemes [In Russian]. *Computer Science and Automation*, 2021; 20(4): 940–970. DOI: <https://doi.org/10.15622/ia.20.4.7>.
- [36] **Mironov VV, Yusupova NI, Gusarenko AS**. Situation-oriented databases: current state and research prospects [In Russian], *Vestnik UGATU*, 2015; 19(2): 188–199.
- [37] **Mironov VV, Gusarenko AS, Yusupova NI**. Structuring virtual multidocuments in situationally oriented databases using entry-elements [In Russian]. *Proc. SPIIRAS*, 2017; 4(53): 225–240. DOI: 10.15622/sp.53.11.

About the authors

Valeriy Viktorovich Mironov (b. 1952). Professor of the Department of Automated Control Systems at the Ufa University of Science and Technology. Diploma of Radio physicist (Voronezh State University, 1975). Dr. Tech. Sci. (Ufa State Aviation Technical University, 1995). Area of scientific interests includes hierarchical models and situational management. ORCID: 0000-0002-0550-4676. Author ID (RSCI): 691759. Author ID (Scopus): 57192962687. ResearcherID (WoS): AAB-9377-2022. mironov@list.ru ✉

Artem Sergeevich Gusarenko (b. 1987). Associate Professor, Department of Automated Control Systems, Ufa University of Science and Technology. Diploma in computer science and economics (Ufa State Aviation Technical University, 2010). Cand. tech. Sciences (2013). Area of scientific interests includes situation-oriented models and databases. ORCID: 0000-0003-4132-6106. Author ID (RSCI): 692073. Author ID (Scopus): 57192955402. ResearcherID (WoS): A-9304-2014. gusarenko@ugatu.ru

Gayaz Akhtyamovich Tuguzbaev (b. 1982). Lecturer at the Department of Management at the Department of Internal Affairs. Master's degree in applied informatics (Ufa State Aviation Technical University, 2017). Postgraduate studies in the field of Informatics and Computer Science (Ufa State Aviation Technical University, 2021). ORCID: 0000-0003-2036-6416. Author ID (RSCI): 1105227. Author ID (Scopus): 57192962687. ResearcherID (WoS): GRR-9497-2022. hayaz1@mail.ru

Received June 18, 2023. Revised September 1, 2023. Accepted September 8, 2023.



Designing E-Course Navigation

© 2023, A.V. Solovov ✉, A.A. Menshikova

Samara National Research University, Samara, Russia

Abstract

In the design of the e-course learning process, it is proposed to use the concept of a navigation model. This model provides convenient and didactically based navigation through the educational material of the course. The work is based on the recent research of the authors on the structuring of educational content in the form of an e-course content model, ordered in the form of a hierarchical structure of the ontologies of learning elements that make up the course. The navigation model concept includes a set of matrices of relations of order and logical coherence of learning elements and corresponding to these matrices of or-graphs of the sequence of study and logical coherence of fragments of educational content. The navigation model answers two important questions of designing an electronic course: 1) what should be the didactically rational sequence of studying the learning elements in the course that is being created; 2) what logical connections should be established between the individual learning elements of the course in order to ensure convenient and didactically based navigation of the course. The mathematical substantiation of the navigation model is given, its properties are investigated, and integral characteristics are introduced. The use of the e-course navigation model helps to: determine and visually represent a rational sequence of studying the educational material, as well as the logical reference links between its various fragments; provide effective assistance to students in navigating the course; analyze and compare different educational materials, assess the level of didactic significance of various learning elements; minimize the complexity of preparing exercises for training and control tests, and the complexity of training and control procedures for e-learning. The concept of a navigation model complies with the international e-learning standards SCORM and IMS, complements them with specific algorithms for aggregating learning objects (SCOs) into e-courses, and assists students in learning them. The mathematical substantiation of the navigation model makes it possible to automate the design of e-courses.

Keywords: *e-learning, e-courses, structuring of educational material, navigation model, navigation in e-courses.*

For citation: Solovov AV, Menshikova AA. Designing E-Course Navigation. *Ontology of Designing*. 2023; 13(3): 352-367. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-352-367.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Introduction

The design of electronic courses (EC) usually begins with the structuring of the educational material to be studied [1]. Graphs are traditionally used as design models [2, 3]. Different approaches are used as design models, which ultimately boil down to visualization in the form of graphs. Knowledge graphs are closely related to ontologies [4] and are an important area of ontological research, including in the field of education [5, 6]. At the same time, it is noted that the use of knowledge graphs in conjunction with artificial intelligence increases the efficiency of EC. "Students can dynamically interact with the content of the textbook, increasing their ability to understand concepts, increasing engagement, improving academic performance" [5, p.548]. However, "while ontologies have become the de facto standard in the development of knowledge bases, the processes of extracting and especially structuring knowledge still remain a certain "white spot" in the modern literature on knowledge engineering" [7, p.88].

One of the approaches to structuring knowledge in education is the use of cognitive maps [8], as tools for system analysis, allowing to display many concepts of a complex system and logical

connections between them [9]. In [10], as a formal basis for individualized e-learning, it is proposed to use semantic models that include the apparatus of vector representations of knowledge graphs, which has the flexibility and expressiveness of the ontological approach. The article [11] presents a formal description of the structural-hierarchical didactic model of e-learning, a distinctive feature of which is the support for the division of educational objects into didactic components. The book [12] proposes the concept of electronic educational resources integrated into a multimedia system open for development. In [13], assimilated knowledge is a set of a large number of information blocks consisting of sequences of elements of educational material, which can be of two types: used and unused at the beginning of the student's activity. Models of the content of physical education are proposed in the monograph [14]. Methods for constructing an individual educational trajectory based on cognitive navigation are discussed in [15].

In the standards of international organizations in the field of e-learning AICC¹, IMS², ADL³, the issues of structuring educational material occupy an important place. The basis of these unified structuring procedures are the SCORM (The Sharable Content Object Reference Model) specifications [16]. One of the basic ideas of SCORM is the compilation of EC from blocks of educational material called Sharable Content Objects (SCOs) [17].

In our work [18], the concepts of two design models of EC were proposed: a model of the content of educational material and a model of navigation through it. The concept of the EC content model is based on the structuring of the content of educational material into separate fragments called learning elements (LE). These LEs are integrated into a tree-like directed graph. The content model is defined as a set of such a graph and a table of LE attributes with requirements for didactic indicators of their study. The rules for constructing models of EC content are also formulated there. Later, in [19], a mathematical justification of the content model was given, its system properties were investigated and integral characteristics were introduced. The proposed approach to content modeling is in good agreement with the international specifications of e-learning SCORM, complements them with targets, algorithms for didactic design and analysis of educational materials. Algorithms for the formation and methods of representing the content model make it possible to automate the process of its construction and didactic analysis in the form of a visual interactive dialogue between EC developers in instrumental author's environments [20].

However, the content model does not answer two important questions of EC design: 1) what should be the didactically rational sequence of studying the EC in the course being created; 2) what logical connections should be established between individual LEs in order to ensure, for example, a purposeful "rollback" from the studied LE to any previously studied fragment of educational material, where the initial concepts for the LE under consideration are explained, bypassing the linear chain of intermediate LEs. In [18] an approach to solving these issues is proposed, based on the concept of a model navigation of EC. This concept includes a set of matrices of relations of order and logical coherence of the LE and the corresponding orgraphs of the sequence of study and logical coherence of the LE.

The type of *model navigation* (MN) is largely determined by the content and form of presentation of educational material, and these factors, in turn, depend on the subjective didactic views of the authors of the projected EC. Therefore, the procedures for the formation of MN are inherently interactive and involve the authors of the content. In [18], "manual", non-automated procedures for the formation of MN are considered, which complicates the design and analysis of large-volume ECs.

¹ **AICC** – Aviation Industry CBT Committee. https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_Industry_Computer-Based_Training_Committee.

² **IMS** – Instructional Management System. <https://www.1edtech.org/>.

³ **ADL** – Advanced Distributed Learning. <https://adlnet.gov/>.

The purpose of this study is the mathematical substantiation of EC navigation models [18], the study of the properties and the introduction of integral characteristics of these models, which allow for didactic analysis and the construction of automated procedures for designing EC navigation. The study is based on the methods of system analysis, discrete mathematics, educational psychology and didactics, many years of experience of the authors in the field of education, theory and technologies of e-learning.

1 Background

The studies of this work are based on the concept of the EC content model from [18] and continue the mathematical justification of the EC design models begun in [19]. We will illustrate the methodology for constructing a navigation model using the example of a fragment of educational material on the theory of orgraphs from the book [21]. The structure of this fragment of educational material is presented in the form of a content model (Figure 1, a). For the mathematical description of the navigation model, we will use elements of graph theory and fragments of the theory of relations in accordance with definitions and symbolism [21].

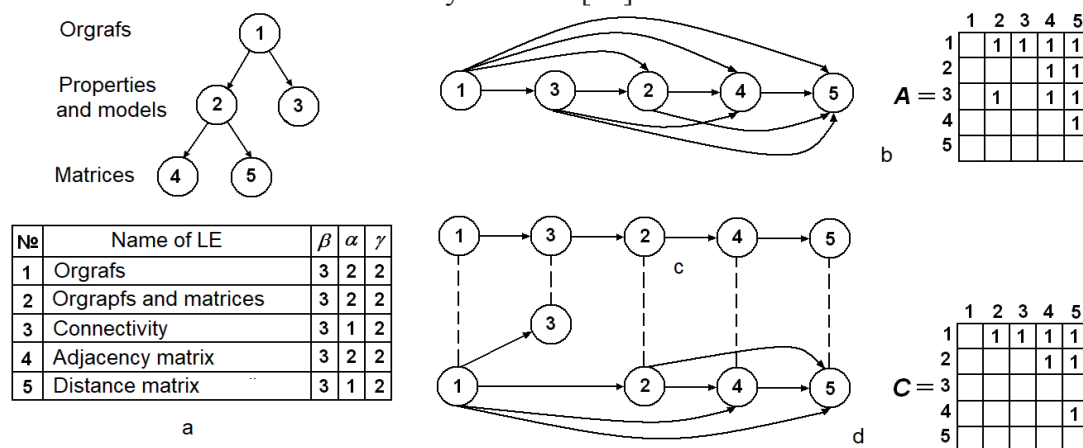


Figure 1 – An example of content and navigation models for a fragment of the theory of orgraphs from the book [21]:
a – content model; b – orgraph and matrix of relations of order of LE; c – the sequence of learning the LE;
d – orgraph and connectivity matrix of LE

2 Binary relation of order in MN

Let V be a finite set of numbers LEs of size n . On this set, we define a binary relation (V, R) , the meaning of which for all $a, b \in V$ and aRb means that LE a is stated (should be studied) before LE b . This binary relation can be represented in the form of an orgraph and its adjacency matrix (see Figure 1, b).

Consider the following properties of the relationship of order.

Property 1. Anti-reflexivity ($\sim aRa \quad \forall a \in V$) This property means that any LE cannot be studied before itself. Therefore, the main diagonal of the adjacency matrix A of the orgraph of the binary relation (V, R) contains only zeros (see Figure 1, b).

Property 2. Asymmetry ($aRb \Rightarrow \sim bRa \quad \forall a, b \in V$). Means that if the LE a must be studied before the LE b , then the LE b cannot be studied before the LE a . It follows that if the coefficient (a, b) in the adjacency matrix of the orgraph of the binary ratio (V, R) is equal to one, which means aRb , then the coefficient (b, a) of this matrix must be equal to zero, which means $\sim bRa$.

Property 3. Negative asymmetry ($\sim aRb \Rightarrow bRa \quad \forall a, b \in V$). Means that if the LE a cannot be studied before the LE b , then the LE b must be studied before the LE a . It follows that if the coeffi-

cient (a,b) in the adjacency matrix of the orgraph of the binary ratio (V, R) is zero, which means $\sim aRb$, then the coefficient (b,a) of this matrix must be equal to one, which stands for bRa .

Note. The concept and name of this property is introduced in this work by analogy with the concept of negative transitivity (see below), since it is not considered and is not classified in the literary sources of discrete mathematics known to the authors, but it turns out to be very useful for performing the following calculations.

Property 4. Transitivity ($aRb, bRc \Rightarrow aRc \ \forall a,b,c \in V$). Means that if the LE a must be studied before the LE b and the LE b must be studied before the element c , then the LE a must also be studied before the LE c . It follows that if the coefficients (a,b) and (b,c) in the adjacency matrix of the orgraph of the binary relation (V, R) are equal to one, which means aRb and bRc , respectively, then the coefficient (a,c) of this matrix must also be equal to one, which means aRc .

Property 5. Negative transitivity ($\sim aRb, \sim bRc \Rightarrow \sim aRc \ \forall a,b,c \in V$). Means that if the LE a should not be studied before the LE b and the LE b should not be studied before the element c , then the LE a also cannot be studied before the LE c . In fact, let for a, b, c belonging to the set V , $\sim aRb$ and $\sim bRc$. It follows, that by the property of negative asymmetry bRa and cRb , and by the property of transitivity cRa . The latter relation by the property of asymmetry leads to $\sim aRc$. Thus, if the coefficients (a,b) and (b,c) in the adjacency matrix of the orgraph of the binary ratio (V, R) are equal to zero, which means $\sim aRb$ and $\sim bRc$, respectively, then the coefficient (a,c) of this matrix must also be equal to zero, which means $\sim aRc$.

Property 6. The orgraph of the order ratio (V, R) is a one-way connected (one-way) orgraph with a degree (category) of coherence equal to 2.

In fact, according to the definition of the order ratio (V, R) , any pair of LE from V is connected in one direction, therefore, the vertices of the orgraph are one-sidedly achievable, which corresponds to the definition of a one-sided orgraph [21].

Analyzing the orgraph of any order ratio (see, for example, Figure 1, b), starting from the last vertex of the orgraph, it is possible to calculate the number of arcs of this orgraph (the number of pairwise order ratios)

$$m_O = (n-1) + (n-2) + (n-3) + \dots + (n-n) = n^2 - \sum_{k=1}^n k. \quad (1)$$

Property 7. The achievability matrix R of the orgraph of the order ratio (V, R) is determined through its adjacency matrix A by the formula:

$$D_o = A + I, \quad (2)$$

where I is the unit matrix.

As noted above (see property 6 of the order relation), by definition of the order relation, all vertices of the corresponding orgraph are one-sidedly achievable. Therefore, complementing its adjacency matrix A with the unit matrix I (which corresponds to the reachability of each vertex to itself), we obtain the reachability matrix D_o .

Property 8. Let A be the adjacency matrix of the order ratio (V, R) . Then

$$A + A^T + I = J, \quad (3)$$

where I is a unit matrix, J is a matrix consisting of only ones.

In accordance with the asymmetry property of the ratio (V, R) , the transposition of the matrix A leads to the filling of those positions that were zero with units, and, conversely, where there were zeros in the matrix A , in the matrix A^T , in accordance with the property of negative asymmetry, there must be ones. The exception is the main diagonal A and A^T , which, in accordance with the anti-reflexivity property of the ratio (V, R) , must be zero. Therefore, the summation in (3) should result in a matrix filled with units.

3 The sequence of learning the LE

To determine the sequence of learning the LE, it is necessary to move from the binary relation (V, R) , in which only pairwise relations between two LEs of the "studied before" type are determined, to an ordered set of numbers $N = 1, 2, 3, \dots, n$, each of which corresponds to a certain LE and determines its serial number in the sequence of studying educational material.

Let us formulate what has been said more strictly and specifically:

it is necessary to construct a function g with values from $N = 1, 2, 3, \dots, n$, defined on V so that the condition will be fulfilled for the binary relation (V, R)

$$aRb \Leftrightarrow g(a) < g(b) \quad \forall a, b \in V. \quad (4)$$

The function g is often called *the utility function or the ordinal (ordinal) utility function*, and the value of $g(a)$ is *the utility* of the alternative a [21]. With regard to task (4), we will interpret g as a function of the order of study of the LE, and $g(a)$ as *the serial number* of the location of the corresponding LE in the sequence of studying the educational material.

The function g determines *the homomorphism* of the binary relation (V, R) into the numerical system of relations $(N, <)$. Suppose, for example, $V = \{a, b, c\}$ and $R = \{(a, b), (b, c), (a, c)\}$. Then the mapping g must be such that $g(a)=1$, $g(b)=2$, $g(c)=3$. Since the number of LE in V $n = 3$, then $N = (1, 2, 3)$ and in the system $(N, <)$ the ordered ratios will be pairs $\{(1, 2), (2, 3), (1, 3)\}$. These pairs correspond to pairs with respect to R . Thus, $aRb \Leftrightarrow g(a) < g(b)$, which corresponds to the definition of homomorphism (see, for example, [21]).

To determine the function g , we formulate the following theorem.

Theorem. Let (V, R) be a binary relation of the order of LE, which has the properties of anti-reflexivity, asymmetry, negative asymmetry, transitivity and negative transitivity. The homomorphism of the ratio (V, R) to the numerical system $(N, <)$, where $N = 1, 2, 3, \dots, n$, is the function g , satisfying condition (4) and determining a strict sequence of studying the LE, while the values of this function are calculated as follows:

$$g(x) = \text{the number of such elements } y \text{ of } V, \text{ for which } \sim xRy \quad (5)$$

Proof. Let's start by illustrating the ratio (5). Let $V = (a, b, c, d, e)$ and $R = \{(a, b), (a, c), (a, d), (a, e), (b, d), (b, e), (c, b), (c, d), (c, e), (d, e)\}$. The function g defined by (5) takes the values:

$g(a) = 1$, since from the property of anti-reflexivity $\sim aRa$;

$g(b) = 3$, since from the property of anti-reflexivity $\sim bRb$, and from the property of asymmetry $\sim bRa$ and $\sim bRc$;

$g(c) = 2$, since from the property of anti-reflexivity $\sim cRc$, and from the property of asymmetry $\sim cRa$;

$g(d) = 4$, since from the property of anti-reflexivity $\sim dRd$, and from the property of asymmetry $\sim dRa$, $\sim dRb$, и $\sim dRc$;

$g(e) = 5$, since from the property of anti-reflexivity $\sim eRe$, and from the property of asymmetry $\sim eRa$, $\sim eRb$, $\sim eRc$ и $\sim eRd$.

The minimum value of $g(x) = 1$, since for the element that is the first in the sequence of studying the LE, only one expression from the family $\sim xRy$, namely - $\sim xRx$. The maximum of $g(x) = n$ for the last element in the sequence of studying the LE, since the expression $\sim xRy$ is executed for all n LE.

Now we show that the function g defined by relation (5) always satisfies condition (4). If aRb , then for any y of the subset (5) $\sim aRy$ (except $y=a$) follows the negative asymmetry property yRa . Given the transitivity property for aRb and yRa , we obtain yRb . Thus, the number of elements y , such that yRa , in any case, is not greater than the number of elements y , such that yRb . Therefore, at least, $g(a) \leq g(b)$, and, taking into account the initial condition aRb , we come to a strict inequality $g(a) < g(b)$. The theorem is proved.

Let's consider *the practical aspects* of building a sequence of studying LE. First, the adjacency matrix A of the orgraph of the order ratio (V, R) is constructed. The corresponding interactive procedure provides for the analysis by the expert (the author of the content of the educational material) of only pairwise relations of the order of the LE. This expert analysis can be halved and the order relationships can be analyzed only for the upper or lower triangle of the matrix. Another triangle of the matrix can be filled automatically based on the properties of asymmetry and negative asymmetry (for example, if there is one in the cell of the matrix (a, b) filled by the expert, then zero is put in the cell (b, a) , and, conversely, if there is zero in the cell of the matrix filled by the expert (a, b) , then one is placed in the cell (b, a)). Thus, potential errors of the Expert that violate the properties of asymmetry and negative asymmetry are excluded.

Further, the sequence of learning the LE is determined in a formal way. Let's represent the set of LEs in the form of a vector $V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$, where $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ are the numbers of the LEs in the model of the content of the educational material. Let's introduce the vector $F = (g(v_1), g(v_2), g(v_3), \dots, g(v_n))$ – the vector of ordinal numbers of the LE in the sequence of their study. In accordance with (5)

$$F = E^T(A+I), \quad (6)$$

where A is the adjacency matrix of the orgraph of the binary order ratio (V, R) ; I is a unit matrix of size n ; E is a column vector of n units.

In the above example (see Figure 1, b), the vector $F = (1, 3, 2, 4, 5)$.

For clarity, the sequence of studying the LE is depicted graphically (see Figure 1, c).

It has already been noted above how to avoid the errors of the Expert composing the matrix A , which violate the properties of asymmetry or negative asymmetry. Errors that violate the properties of transitivity or negative transitivity lead to the appearance of identical values in the vector F . For example, if in cell $(3, 5)$ of the matrix A in the above example (see Figure 1, b) instead of one put zero (which violates the conditions of transitivity - $3R4$ and $4R5$, but it is not true that $\sim 3R5$, then the vector $F = (1, 3, 2, 4, 4)$. Thus, the diagnosis of such errors is quite simple and can be carried out automatically, but their correction requires the involvement of an expert (the author of the content of the educational material) to identify the violations of transitivity or negative transitivity committed by him.

Another method of formal verification of the correctness of filling in the adjacency matrix of the order relation is based on its property 8. If any coefficient in the matrix J obtained by formula (3) differs from one, therefore, when determining the corresponding pairwise ratio of priority, the expert made a mistake.

An integral method for verifying the correctness of the adjacency matrix A of the order ratio is to determine the number of bonds (arcs) of the corresponding orgraph using the formula

$$m_O = E^T A E, \quad (7)$$

where E is a vector of n units, and a comparison of the resulting value with the number calculated by formula (1). A mismatch signals a mistake made by the Expert when compiling the adjacency matrix of the order ratio.

4 The relation of logical coherence in MN

Let V be a finite set of numbers of LE of size n . On this set, we define a binary relation (V, L) , the meaning of which for some $a, b \in V$ and aLb means that LE b is logically related to LE a ("relies" on it), i.e. in the presentation of the content of LE b , concepts from a are used.

In *the practical preparation* of the MN, after filling in the adjacency matrix of the order ratio and constructing the sequence of studying the LE, the adjacency matrix C of the orgraph of the logical connectivity relationship (V, L) is filled. At the same time, the expert - the author of the content

of the educational material - analyzes the pairwise relations of the logical coherence (support) of the LE. One is placed in cell (a, b) of the matrix if the LE a is the reference for the LE b . Otherwise, zero is placed in the matrix cell (see Figure 1, d). It is possible to reduce the complexity of this expert analysis if you formally use the asymmetry property (see below) of the logical connectivity relationship. For example, if there is one in the matrix cell (a, b) filled in by the expert, then zero is automatically put in the cell (b, a) . Thus, potential errors of the Expert that violate the properties of asymmetry are excluded.

It is convenient to compile a matrix of logical connections on the basis of a matrix of priority relations by excluding units from those cells of the matrix for which there are no logical, reference connections between the LE.

According to the adjacency matrix, it is possible to construct a corresponding orgraph, on which it is possible to more clearly trace the logical connections in the MN. At the same time, it is advisable to build this orgraph from left to right, while maintaining the previously defined sequence of study (see Figure 1, d). It is convenient to place this orgraph under the list of the follow-up to the study of the LE, while maintaining the order of study of the educational material indicated in this list.

The edges of the logical connectivity graph indicate the reference links between the LE. Thus, the edge connecting the LE at number 4 with the LE at number 2 (see Figure 1, d) indicates that in order to study the concept of the adjacency matrix (LE 4), it is necessary to have an idea of the concept of an orgraph (LE 2).

Consider the following properties of a logical connectivity relationship.

Property 1. Anti-reflexivity ($\sim aLa \ \forall a \in V$). This property means that any LE cannot logically "rely" on itself. Therefore, the main diagonal of the adjacency matrix of the orthograph of the binary relation (V, L) contains only zeros.

Property 2. Asymmetry ($aLb \Rightarrow \sim bLa \ \forall a, b \in V$). Means that if the LE b is logically based on the LE a , then the LE a cannot logically rely on the LE b . It follows that if the coefficient (a, b) in the adjacency matrix of the orgraph of the binary relation (V, L) is equal to one, which means aLb , then the coefficient (b, a) of this matrix must be equal to zero, which means $\sim bLa$.

Note that, in contrast to the order relation (V, R) , the logical connectivity relation (V, L) does not have the properties of negative asymmetry (i.e. $(\sim(\sim aLb \Rightarrow bLa))$), transitivity (i.e. $\sim(aLb, bLc \Rightarrow aLc)$), negative transitivity (i.e. $\sim(\sim aLb, \sim bLc \Rightarrow \sim aLc)$).

Property 3. Let $C=(c_{ij})$ be the adjacency matrix of the orgraph of the binary relation of logical connectivity (V, L) . Then the $c_{ij}^{(t)}$ in the matrix C^t , where t is the power, determines the number of paths of length t leading from the vertex of the orgraph with the number i to the vertex with the number j (see [21, p. 60]).

Property 4. Let $C=(c_{ij})$ be the adjacency matrix of the orgraph of the binary relation of logical connectivity (V, L) . Then the element $C_{\Sigma ij}$ in the matrix

$$C_{\Sigma} = C + C^2 + C^3 + \dots + C^{n-1} \quad (8)$$

determines the total number of paths leading from the vertex of the orgraph with the number i to the vertex with the number j .

In expression (8), the summation is limited by the value of the exponent $n-1$, which is equal to the maximum possible length of a simple path in the orgraph.

For the above example (see Figure 1, d), the matrices corresponding to properties 3 and 4 are shown in Figure 2. It follows that, for example, from vertex 1 to vertex 5 (see Figure 1, d) there are four paths (one simple path of unit length, two paths of length 2 and one path of length 3).

Property 5. Let C be the adjacency matrix and D_l be the reachability matrix of the orgraph of the binary logical connectivity relation (V, L) . Then

$$D_l = B(C_\Sigma + I), \quad (9)$$

where B is a boolean function for matrices [21], I is a unit matrix.

The proof follows from property 4.

$$C_\Sigma = C + C^2 + C^3 + C^4 =$$

	1	2	3	4	5
1		1	1	1	1
2				1	1
3					
4					1
5					

$$+ 3$$

	1	2	3	4	5
1				1	2
2					1
3					
4					
5					

$$+ 3$$

	1	2	3	4	5
1					1
2					
3					
4					
5					

$$+ 3$$

	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					

$$= 3$$

	1	2	3	4	5
1		1	1	2	4
2				1	2
3					
4					1
5					

Figure 2 - Example of matrices illustrating the properties 3, 4 of the relationship of logical connectivity

5 Integral characteristics of MN

Let's consider a number of characteristics of the MN, allowing you to compare different training materials with each other and take a more reasonable approach to the design of exercises for training and tests for control.

1. The number of learning elements n . This characteristic determines the number of vertices of the orgraphs of the relations of order and logical coherence and, accordingly, the size of their adjacency matrices.

2. The number of pairwise ratios of the order m_o . Corresponds to the number of arcs of the orgraph of the order ratio. Determine by formulas (1) or (7).

3. Connectivity categories. We will use here the definition of the concept of connectivity categories from graph theory. The concept of the category of connectivity in graph theory makes it more accurate to understand that some orgraphs are "linked" better than others [21]. In our case, we can talk about different categories of LE connectivity in the educational material.

The orgraph of the logical connectivity relation (V, L) can have one of three categories of connectivity $(0, 1, 2)$, i.e. it can be respectively incoherent, weakly connected or one-sided coherent. It cannot be strongly coherent (have a degree of connectivity of 3) due to the asymmetry property of the relation (V, L) .

In most practical cases, the orgraph of the logical connectivity relationship (V, L) and, therefore, the educational material is weakly coherent (the connectivity category is 1). In this case, each pair of vertices (LE) in the orgraph is connected (half-path).

Much less often, learning material may have a higher coherence category of 2. In this case, the orgraph of the relation (V, L) is one-sided and coincides, like its adjacency matrix, with the orgraph and the adjacency matrix of the order relation (V, R) .

In principle, it is possible, although unlikely, the case of incoherent educational material (the coherence category is 0), when one or more LEs do not have supportive, logical connections with other LEs. The low probability of such a case is explained by the fact that if any LE is included in the composition of the educational material and in its content model, then there must be a connection at least with the name of the topic, which determines the inclusion of the LE in its composition.

4. The degree of support of LE. We will consider the absolute and relative degree of support of the LE. The absolute degree of support of the LEs is determined by the number of other LEs based on this learning element. The relative degree of support of the LE will be defined as the ratio of the absolute degree of support of the LE to $n-1$ - the maximum possible (potentially) number of LEs that can be based on this learning element.

We will denote the absolute degree of support of the i -th LE - O_{Ai} , relative - O_{Oi} , and vectors of absolute and relative degrees of support of the LE - $\overline{O_A}$ and $\overline{O_O}$ respectively. Vectors

$$\overline{O_A} = CE, \quad \overline{O_O} = CE / (n-1), \quad (10)$$

where C is the adjacency matrix of the orgraph of the logical connectivity relation; E is a column vector of n units.

For the above example (see Figure 1, d) $\overline{O_A} = (4, 2, 0, 1, 0)$, $\overline{O_O} = (1, 0.5, 0, 0.25, 0)$.

The degree of support of the LE determines the degree of didactic significance of the LE for the rest of the educational material. For example, in a fragment of educational material on the theory of orgraphs (see Figure 1, a and d), LE 3 (the concept of connectivity categories, for which $O_{A3} = 0$, $O_{O3} = 0$) can be excluded from consideration painlessly for the study of other LEs. But the exception to the consideration of LE 4 (the concept of the adjacency matrix, $O_{A4} = 1$, $O_{O4} = 0.25$) or LE 2 (the concept of orgraphs and matrices, $O_{A2} = 2$, $O_{O2} = 0.5$), or, especially, LE 1 (the concept of orgraphs, $O_{A1} = 4$, $O_{O1} = 1$) entails a violation of logic in the presentation of other LE.

Obviously, the higher the degree of support of the LE, the more carefully its educational material should be prepared, the more attention should be paid to the preparation of exercises for computer training in order to ensure a more complete and guaranteed development of all the concepts of this LE.

5. The degree of support of the educational material. Let's distinguish between the absolute O_A and relative O_O the degree of support of the educational material and determine them according to the formulas:

$$O_A = E^T \overline{O_A} = E^T C E, \quad (11)$$

$$O_O = O_A / m_O = E^T C E / m_O = E^T C E / (n^2 - \sum_{k=1}^n k). \quad (12)$$

Magnitude O_A is equal to the number of reference links (arcs) in the orgraph of the relationship of logical connectivity of the navigation model of the educational material. Magnitude $O_O \in [0, 1]$ and characterizes the degree of closeness of the orgraph of the relation of logical coherence to the orgraph of the relation of priority. In the example above (see Figure 1, d) $O_A = 7$, $m_O = 10$, $O_O = 0.7$.

6. The degree of logical coherence of learning elements. We will consider the absolute and relative degree of logical coherence of the LE. The absolute degree of logical coherence of the LE is determined by the number of other LEs on which it relies. The relative degree of logical coherence of the LE will be defined as the ratio of the absolute degree of logical connectivity of the LE to $n-1$ - the maximum possible (potentially) number of LEs on which this learning element can be based.

We will denote the absolute degree of logical coherence of the i -th LE - L_{Ai} , relative - L_{Oi} , and vectors of absolute and relative degrees of logical connectivity of the LE - $\overline{L_A}$ and $\overline{L_O}$ respectively. Vectors

$$\overline{L_A} = C^T E, \quad \overline{L_O} = C^T E / (n-1). \quad (13)$$

For the example above (see Figure 1, d) $\overline{L_A} = (0, 1, 1, 2, 3)$, $\overline{L_O} = (0, 0.25, 0.25, 0.5, 0.75)$.

The degree of logical coherence of the LE determines the degree of integration of the rest of the educational material into this LE. Such an interpretation can be useful, for example, in the allocation of key LEs for the final control of the level of assimilation of all educational material. It is advisable to prepare tests, first of all, for LEs with a higher degree of logical coherence, in order to provide a wider coverage of educational material with a final control with a limited number of tests.

7. The degree of logical coherence of the educational material. Let's distinguish between the absolute L_A and relative L_O the degree of logical coherence of the educational material, and determine them according to the formulas:

$$L_A = E^T \overline{L_A} = E^T C^T E, \quad (14)$$

$$L_O = L_A / m_O = E^T C^T E / (n^2 - \sum_{k=1}^n k). \quad (15)$$

Magnitude L_A is equal to the number of logical connections (arcs) in the orgraph of the relationship of logical connectivity of the navigation model of the educational material. Magnitude $L_O \in [0, 1]$ and characterizes the degree of closeness of the orgraph of the relation of logical coherence to the orgraph of the relation of priority.

It is obvious that the indicators of support and logical coherence of the educational material are equal to each other, i.e. $O_A = L_A$ and $O_O = L_O$.

Thus, using the integral characteristics of the MN, it is possible to analyze and compare various training materials with each other, evaluate the logical coherence of the educational material, reasonably plan the type and number of exercises for training and control, minimize the complexity of preparing exercises for training and tests for control by eliminating duplication and, accordingly, reduce the complexity of training and control procedures for e-learning.

6 Computer-aided design of MN

The algorithms discussed above make it possible to automate the process of MN preparation in instrumental authoring environments [20]. At the same time, the previously prepared set of the LE course is exported from the *Content Model* computer program [19]. Further, the developer of the EC in a dialogue with the computer program *Navigation Model* determines the relationship of priority and logical connectivity of the LE. At the same time, the computer program controls the correctness of this process, forms matrices of the relationship of priority and logical coherence, determines the sequence of navigation the LE, calculates the integral characteristics of the MN of the course (Figures 3-5)⁴. Screen fragments shown in Figures 5 and 6 as examples demonstrate the operation of the program *Navigation Model* in Russian.

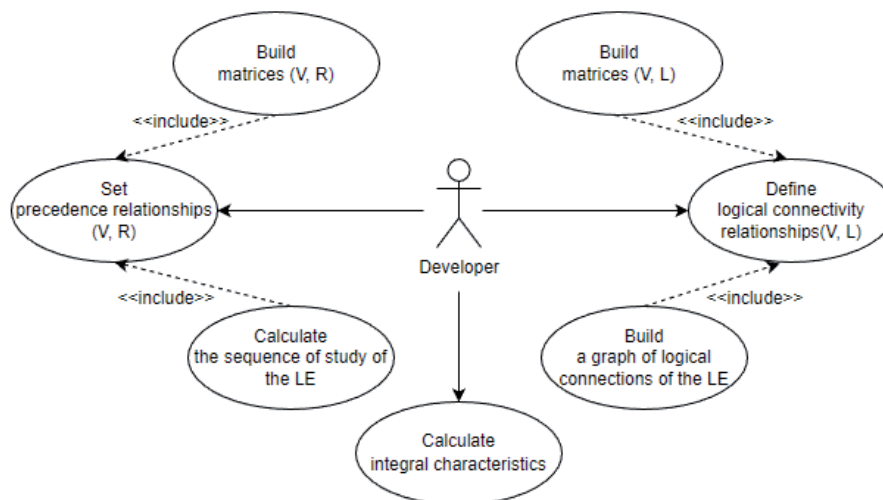


Figure 3 – UML-Diagram of use cases of a computer program *Navigation model*

⁴ Here, when describing the scripts of a computer program, language diagrams are used UML (Unified Modeling Language) <https://www.uml.org/>.

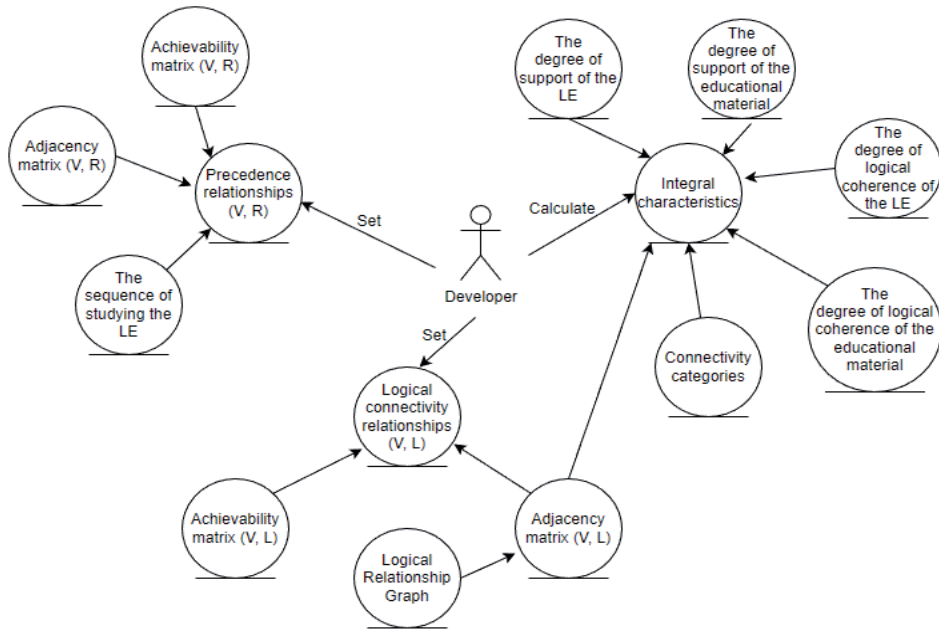


Figure 4 – UML-diagram of the interaction between users and objects of a computer program *Navigation model*

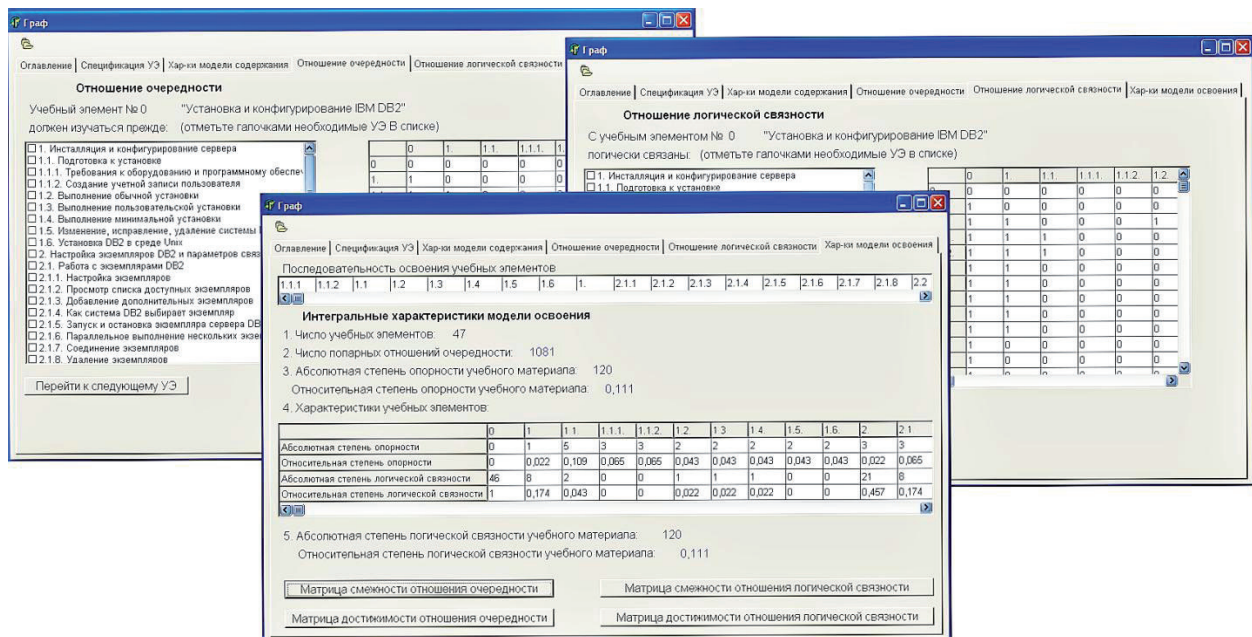


Figure 5 – Fragments of the screen forms of the program *Navigation Model* in the design of EC on technical aspects of IT

7 Discussion of the results

The sequence of studying the LE. Sometimes it is believed that the formalization and automation of the design of the sequence of studying the LE in the EC is not necessary and the authors of the content of the EC can independently build a linear chain of the LE. However, in reality, this is extremely difficult, since it is necessary to take into account at the same time the sequence of studying the LE relative to each other for several fragments of educational material at once. At the same time, with a formalized definition of the sequence of study, the author of the content in a dialogue with a computer program analyzes the relations of priority only for *each pair of LE*.

Not for all LEs the choice of sequence may be obvious: from the general to the particular or vice versa. Therefore, the appearance of the matrix of priority relations and, therefore, in the future, the form of presentation of educational material is influenced not only by objective, but also subjective factors: the tastes of the EC developer, his habits, intuitive ideas, mindset, etc.

The relationship of logical connectivity in the EC navigation model. The logical coherence relation of the navigation model is an effective mechanism to help students navigate the EC. In particular, during the viewing of the EC, using fragments of the graph of logical connections of the LE, it is possible to purposefully return (recall) to the previously studied educational elements. Thus, Figure 6 shows an example of a fragment of the graph of logical connectivity of the EC for the design of aircraft [22]. Using this snippet, you can, for example, return from Learning Item 1.5 to View Learning Item 1.2 without viewing a series of intermediate Learning Items numbered 1.3.

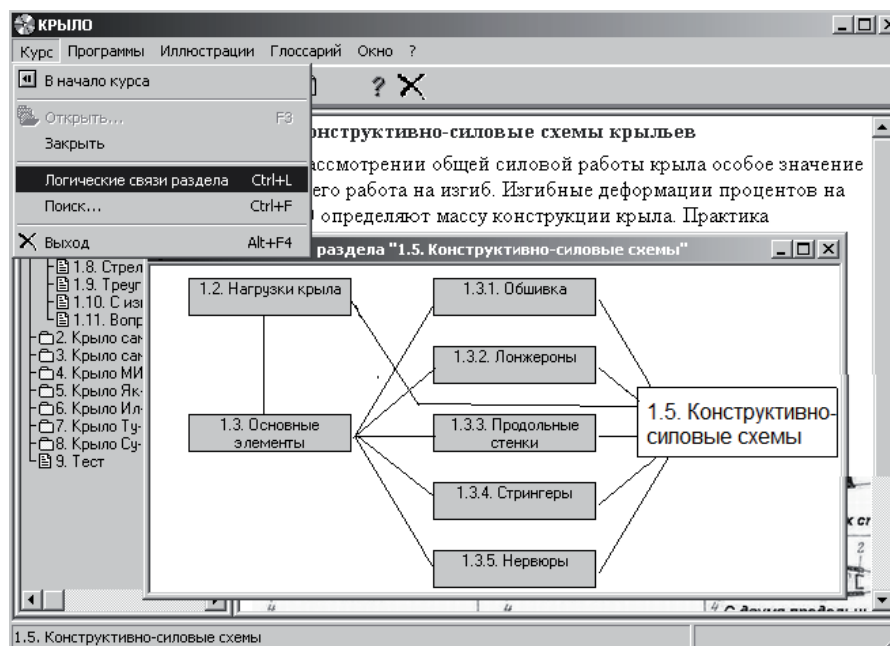


Figure 6 – An example of using a navigation model to assist in navigation in the EC on the design of aircraft

The degree of support of the LE (formula 10) determines the degree of didactic significance of the LE for the rest of the educational material. For the above example on the theory of orgraphs (see Figure 1, d), the vector of the absolute degree of support $\overline{O_A} = (4, 2, 0, 1, 0)$, and vector of relative degree of support $\overline{O_O} = (1, 0.5, 0, 0.25, 0)$. It follows that LE 3 (the concept of connectivity categories, for which $O_{A3} = 0$, $O_{O3} = 0$) can be excluded from consideration painlessly for the study of other LEs. But the exception to the consideration of LE-4 (the concept of the adjacency matrix, $O_{A4} = 1$, $O_{O4} = 0.25$) or LE 2 (the concept of orgraphs and matrices, $O_{A2} = 2$, $O_{O2} = 0.5$), or, especially, LE 1 (the concept of orgraphs, $O_{A1} = 4$, $O_{O1} = 1$) entails a violation of logic in the presentation of other LE.

Obviously, the higher the degree of support of the LE, the more carefully its educational material should be prepared, the more attention should be paid to the preparation of exercises for computer training in order to ensure a more complete and guaranteed study of all the concepts of this LE.

The degree of logical coherence of the LE, determined by formulas 13, characterizes the degree of integration of the rest of the educational material in this LE. Such an interpretation can be useful, for example, in the allocation of key LEs for the final control of the level of assimilation of all educational material. It is advisable to prepare tests, first of all, for LEs with a higher degree of logical

coherence, in order to provide a wider coverage of educational material with a final control with a limited number of tests.

For the above example (see Figure 1, d), the vector of absolute logical connectivity $\overline{L_A} = (0,1,1,2,3)$, the vector of relative logical connectivity of the LE $\overline{L_O} = (0,0.25,0.25,0.5,0.75)$. Here, the highest degree of connectivity has the LE number 5 (the concept of a distance matrix). In the educational material of this LE, knowledge of LEs 2, 4, 5 is integrated. Consequently, tests for the control of knowledge on the educational material of this example may not include tests on LE 2, 4, since the control of this knowledge (by context) is carried out in tests on LE 5.

Conclusion

The EC navigation model discussed in this article makes it possible to:

- determine and visually represent the rational sequence of the study of educational material, the logical reference links between its various fragments;
- provide effective assistance to students in navigating the EC;
- analyze and compare different teaching materials, assess the level of didactic significance of various learning elements;
- minimize the complexity of preparing exercises for training and tests for control and the complexity of training and control procedures for e-learning.

The proposed approach to the design of navigation through educational material complies with the international standards of e-learning SCORM and IMS, complements them with specific algorithms for aggregating learning objects (SCOs) into e-courses, and assists students in learning them. The mathematical justification of the navigation model makes it possible to automate the design of e-courses.

References

- [1] **Bork A.** Computers in Learning: What History Teaches [In Russian]. *Informatics and education*. 1990; 5: 110-118.
- [2] **Bespalko VP.** Fundamentals of the theory of pedagogical systems. [In Russian]. Voronezh: Voronezh University Press. 1977. 303 p.
- [3] **Belkin EL.** Didactic foundations of control of cognitive activity in the conditions of application of technical means of teaching. [In Russian]. Yaroslavl: Verkhne-Volzhskoe knizhnoe izdatelstvo. 1982. 107 p.
- [4] **Ontology Summit 2020: Knowledge Graphs.** [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2020; 10(2): 246-248.
- [5] **Baklawski K.** Ontological Summit 2020. Communiqué: Graphs of Knowledge. [In Russian]. K. Baklawski, M. Bennett, G. Berg-Cross, T. Schneider, R. Sharma, D. Singer. Translated from English by D. Borgest // *Ontology of design*. 2020; 10 (4): 540-555. DOI: 10.18287/2223-9537-2020- 10-4-540-555.
- [6] **Chaudhri V.** Textbook Open Knowledge Network. Chaudhri Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/310xXpd>.
- [7] **Gavrilova TA, Strakhovich EV.** Visual analytical thinking and mind maps for ontology engineering [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 87-99. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.
- [8] **Sigovtsev GS., Semenov IO.** Designing the content of a learning resource based on a cognitive map [In Russian]. *Modern information technologies and IT education*. 2011; 7: 421-426.
- [9] **Dvoretzky SI.** System Modeling. [In Russian]. SI Dvoretzky, UL Muromtsev, VA Pogonin, AG Skhirtladze; Edited by YL Muromtsev. Moscow: Akademiya. 2009. 320 p.
- [10] **Mouromtsev DI.** Models and methods of e-learning individualization in the context of ontological approach [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 34-49. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-34-49.
- [11] **Silkina NS, Sokolinsky LB.** Structural-Hierarchical Didactic Model of E-Learning. [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Software Engineering*. 2019; 8(4): 56-83. DOI: 10.14529/cmse190405.

- [12] **Osin AV.** Multimedia in Education: The Context of Informatization. [In Russian]. Moscow: Agency «Izdatel'skii service». 2004. 420 p.
- [13] **Mayer RV.** Simulation of learning based on the representation of meaningful information in the form of a system of related elements. [In Russian]. *Research and development. Social and humanitarian research and technology.* 2017; 6(2): 16-21. DOI 10.12737/article_595cd4b9418830.47023663.
- [14] **Saurov YA.** Models and Modeling in the Methods of Teaching Physics: Logical and Methodological Searches. [In Russian]. Kirov: Publishing House "Raduga-PRESS". 2016. 216 p.
- [15] **Sytina NS.** Cognitive navigation of the student's IET in the design of the educational process. [In Russian]. *Pedagogical Journal of Bashkortostan.* 2009. 6 (25): 8-18.
- [16] **SCORM** – Sharable Content Object Reference Model. SCORM solved and explained. <https://scorm.com/>.
- [17] **Zimin IV.** Recommendations for the preparation of content and structuring of an electronic training resource. [In Russian]. National Open University "INTUIT". 2016. 102 p.
- [18] **Solovov AV.** Design of computer systems for educational purpose: a textbook. [In Russian]. Samara: SSAU. 1995. 140 p.
- [19] **Solovov AV, Menshikova AA.** Designing an ontology of the e-learning course content. *Ontology of designing.* 2023; 13(1): 99-112. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-1-99-112.
- [20] **Solovov AV, Menshikova AA.** Coronavirus Zigzags of Electronic Distance Learning [In Russian]. *Vyshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia.* 2021; 30(6): 60-69. DOI:10.31992/0869-3617-2021-30-6-60-69.
- [21] **Roberts FS.** Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.; 1976. 560 p. (Russ. ed.: Roberts F.S. Diskretnye matematicheskie modeli s prilozheniyami k sotsial'nyim, biologicheskim i ekologicheskim zadacham. Moscow: Nauka; 1986. 494 p.) [In Russian].
- [22] **Solovov AV, Korolkov ON.** Aircraft construction virtual classroom: study guide [In Russian]. Samara state aerospace university named after S.P. Korolev. Samara: SSAU Publ., 2006. 551 p.

About the authors

Alexander Vasilevich Solovov (b. 1948) graduated from the Korolyov Aviation Institute (Kuibyshev, USSR) in 1972, PhD (1977). Professor at the Department of Technical Cybernetics (2006). Full member of the Russian Academy of Informatization of Education (1996). The list of scientific works includes more than 300 works in the field of CAD, theory and technologies of e-learning. ORCID: 0000-0001-6288-820X; Author ID (RSCI) : 560817; Author ID (Scopus): 57222040521. a_solovov@mail.ru. ✉

Anastasia Alexandrovna Menshikova (b. 1972) graduated from the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolev in 1996, Ph.D. (2004). Associate Professor of the Department of Supercomputers and General Informatics of Samara University. The list of scientific works includes more than 40 works. ORCID: 0000-0001-8201-7065; Author ID (RSCI): 382400; Author ID (Scopus): 57222036809; Researcher ID (WoS): H-6847-2017. nas-tya.menshikova@gmail.com.

Received May 30, 2023. Revised July 7, 2023. Accepted July 27, 2023.

УДК 519.673

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-352-367



Проектирование навигации по электронному курсу

© 2023, А.В. Соловов✉, А.А. Меньшикова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Аннотация

В проектировании процесса изучения электронного курса предлагается использовать понятие модели навигации. Эта модель обеспечивает удобную и дидактически обоснованную навигацию по учебному материалу курса.

са. Работа опирается на недавнее исследование авторов по структурированию учебного контента в форме модели содержания электронного курса, упорядоченного в виде иерархической структуры составляющих курс онтологий учебных элементов. Понятие модели навигации включает совокупность матриц отношений очерёдности и логической связности учебных элементов и соответствующих этим матрицам орграфов последовательности изучения и логической связности фрагментов учебного контента. Модель навигации отвечает на два важных вопроса проектирования электронного курса: 1) какая должна быть рациональная в дидактическом плане последовательность изучения учебных элементов в создаваемом курсе; 2) какие должны быть установлены логические связи между отдельными учебными элементами курса, чтобы обеспечить удобную и дидактически обоснованную навигацию по курсу. Дано математическое обоснование модели навигации, исследованы ее свойства и введены интегральные характеристики. Использование модели навигации электронного курса позволяет: определять и визуально представлять рациональную последовательность изучения учебного материала, логические опорные связи между его различными фрагментами; обеспечивать эффективную помощь учащимся в навигации по курсу; анализировать и сравнивать различные учебные материалы, оценивать уровень дидактической значимости различных учебных элементов; минимизировать трудоёмкость подготовки упражнений для тренинга и тестов для контроля и трудоёмкость тренинговых и контрольных процедур электронного обучения. Понятие модели навигации соответствует международным стандартам электронного обучения SCORM и IMS, дополняет их конкретными алгоритмами для агрегации учебных объектов (SCOs) в электронные курсы, оказывает помощь обучающимся в их изучении. Математическое обоснование модели навигации позволяет автоматизировать проектирование электронных курсов.

Ключевые слова: электронное обучение, электронные курсы, структуризация учебного материала, модель навигации, навигация в электронных курсах.

Цитирование: Соловов А.В., Меньшикова А.А. Проектирование навигации по электронному курсу // *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №3(49). С.352-367. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-352-367.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рисунки

Рисунок 1 – Пример моделей содержания и навигации для фрагмента теории орграфов из книги [21]:

а – модель содержания; б – орграф и матрица отношений очерёдности учебных элементов (УЭ);

в – последовательность изучения УЭ; г – орграф и матрица связности УЭ

Рисунок 2 – Пример матриц, иллюстрирующих свойства 3, 4 отношения логической связности

Рисунок 3 – *UML*-диаграмма вариантов использования компьютерной программы *Модель навигации*

Рисунок 4 – *UML*-диаграмма взаимодействия пользователей и объектов компьютерной программы *Модель навигации*

Рисунок 5 – Фрагменты экранных форм программы *Модель освоения* при проектировании электронного курса (ЭК) по техническим аспектам информационных технологий

Рисунок 6 – Пример использования модели навигации для помощи в навигации в ЭК по конструкции самолётов

Список источников

- [1] Борк А. Компьютеры в обучении: чему учит история. *Информатика и образование*. 1990. № 5. С.110-118.
- [2] Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1977. 303 с.
- [3] Белкин Е.Л. Дидактические основы управления познавательной деятельностью в условиях применения технических средств обучения. Ярославль: Верхне-Волжское книжное издательство. 1982. 107 с.
- [4] Онтологический Саммит 2020: Графы знаний. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №2(36). С.246-248.
- [5] Баклавски К. Онтологический Саммит 2020. Коммюнике: Графы знаний / К. Баклавски, М. Беннет, Г. Берг-Кросс, Т. Шнайдер, Р. Шарма, Д. Сингер. Перевод с англ. Д. Боргест // *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №4(38). С.540-555. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020- 10-4-540-555.
- [6] Chaudhri V.K. Textbook Open Knowledge Network. Chaudhri Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/310xXpd>.
- [7] Гаверилова Т.А., Страхович Э.В. Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №1(35). С.87-99. DOI 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.
- [8] Сиговцев Г.С., Семенов И.О. Проектирование содержания учебного ресурса на основе когнитивной карты. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2011. № 7. С.421-426.

- [9] **Дворецкий С.И., Муромцев Ю.Л., Погонин В.А., Схиртладзе А.Г.** Моделирование систем / Под ред. Ю.Л. Муромцева. М.: Академия. 2009. 320 с.
- [10] **Муромцев Д.И.** Модели и методы индивидуализации электронного обучения в контексте онтологического подхода. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10. № 1(35). С.34-49. DOI 10.18287/2223-9537-2020-10-1-34-49.
- [11] **Силкина Н.С., Соколинский Л.Б.** Структурно-иерархическая дидактическая модель электронного обучения. *Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика*. 2019. Т.8, №4. С.56–83. DOI:10.14529/cmse190405.
- [12] **Осин А.В.** Мультимедиа в образовании: контекст информатизации. М.: Агентство «Издательский сервис». 2004. 420 с.
- [13] **Майер Р.В.** Моделирование обучения, основанное на представлении осмысленной информации в виде системы связанных элементов. *Научные исследования и разработки. Социально-гуманитарные исследования и технологии*. 2017. Т.6, № 2. С.16-21. DOI 10.12737/article_595cd4b9418830.47023663.
- [14] **Сауров Ю.А.** Модели и моделирование в методике обучения физике: логико-методологические поиски. Киров: ООО Издательство "Радуга-ПРЕСС". 2016. 216 с.
- [15] **Сытина Н.С.** Когнитивная навигация ИОТ студента в проектировании учебного процесса. *Педагогический журнал Башкортостана*. 2009. №6 (25), С.8-18.
- [16] **SCORM** – Sharable Content Object Reference Model (Модель обмена учебными материалами). SCORM solved and explained. <https://scorm.com/>.
- [17] **Зимин И.В.** Рекомендации по подготовке содержания и структурирования электронного обучающего ресурса. Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ". 2016. 102 с.
- [18] **Соловов А.В.** Проектирование компьютерных систем учебного назначения: учебное пособие. Самара: СГАУ, 1995. 140 с.
- [19] **Solovov A.V., Menshikova A.A.** Designing an ontology of the e-learning course content. *Ontology of designing*. 2023; 13(1): 99-112. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-1-99-112.
- [20] **Соловов А.В., Меньшикова А.А.** Коронавирусные зигзаги электронного дистанционного обучения. *Высшее образование в России*. 2021. Т.30, № 6. С.60-69. DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-6-60-69.
- [21] **Робертс Ф.С.** Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986. 494 с.
- [22] **Соловов А.В., Корольков О.Н.** Виртуальный учебный кабинет конструкции самолетов : учеб. пособие. Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. Самара: Изд-во СГАУ, 2006. 551 с.

Сведения об авторах



Соловов Александр Васильевич, 1948 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1972 г., к.т.н. (1977). Профессор по кафедре технической кибернетики (2006). Действительный член Российской академии информатизации образования (1996). В списке научных трудов более 300 работ в области САПР, теории и технологий электронного обучения. ORCID: 0000-0001-6288-820X; Author ID (РИНЦ): 560817; Author ID (Scopus): 57222040521. a_solovov@mail.ru. ✉.



Меньшикова Анастасия Александровна, 1972 г. рождения. Окончила Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева в 1996 г., к.т.н. (2004). Доцент кафедры суперкомпьютеров и общей информатики Самарского университета. В списке научных трудов более 40 работ. ORCID: 0000-0001-8201-7065; Author ID (РИНЦ): 382400; Author ID (Scopus): 57222036809; Researcher ID (WoS): H-6847-2017. nas-tya.menshikova@gmail.com.

Поступила в редакцию 30.05.2023, после рецензирования 07.07.2023. Принята к публикации 27.07.2023.



Проектирование компонентов бортовых кабельных сетей с учётом требований технологичности

© 2023 А.Ю. Мясников

Самарский филиал конструкторского бюро акционерного общества «Туполев», Самара, Россия

Аннотация

Рассматривается проектирование компонентов бортовой кабельной сети летательного аппарата, удовлетворяющих требованиям нормативно-технической документации. Отмечены этапы жизненного цикла летательного аппарата, на которых происходит анализ и оценка принятых на этапе проектирования технических решений, направленных на приспособленность к монтажу и демонтажу изделий и агрегатов летательного аппарата. Определён состав конструкторской документации, необходимой для изготовления компонентов бортовой кабельной сети. Показаны особенности этапов проектирования и противоречивость требований нормативно-технической документации, используемой при проектировании компонентов бортовой кабельной сети летательного аппарата. Формализована совокупность требований технологичности, работоспособности, безотказности и электромагнитной совместимости компонентов бортовой кабельной сети. Определены критерии технологичности жгута. Предложен метод синтеза образа компонентов бортовой кабельной сети с использованием графа, вершины которого дополнены признаками, характеризующими особенности проводного подключения к элементам бортовых систем. Разработан алгоритм действий проектировщика при определении необходимости введения разъёма в электрическую цепь с учётом требований электромагнитной совместимости проводов. Сформулированы рекомендации проектировщикам компонентов бортовой кабельной сети летательного аппарата.

Ключевые слова: бортовой комплекс оборудования, бортовая кабельная сеть, жгут, разъём, топологический граф, проектирование, технологичность, летательный аппарат.

Цитирование: Мясников А.Ю. Проектирование компонентов бортовых кабельных сетей с учётом требований технологичности // Онтология проектирования. 2023. Т.13(49), №3. С.368-379. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-368-379.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

На всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) летательных аппаратов (ЛА) разработчики ЛА занимаются анализом и оценкой принятых конструкторских и технологических решений. В частности, оценивают приспособленность к монтажу и демонтажу частей конструкции ЛА, в т.ч. блоков оборудования, систем, агрегатов и компонентов бортовой кабельной сети (БКС) ЛА, периодически устанавливаемых и демонтируемых в течение ЖЦ ЛА.

Тенденция к сокращению сроков и издержек в производстве ЛА влечёт за собой необходимость повышения требований к технологичности разрабатываемых конструкций. Актуальность этих требований возрастает при переходе от узловой сборки к агрегатно-поточковой сборке ЛА и распределению работ между предприятиями, работающими в кооперации с основной сборочной площадкой ЛА. Наибольший эффект при использовании такого метода сборки ЛА можно достичь за счёт комплексного изготовления конструкций, отсеков и агрегатов ЛА с размещёнными в них монтажными конструкциями для крепления аппаратуры и оборудования, распределительно-коммутационными устройствами (РКУ) и компонентами БКС – жгутами электрических проводов, не требующими доработок на борту.

БКС обеспечивает работоспособность всех бортовых систем (БС) комплекса бортового

оборудования (КБО) ЛА. БКС ЛА влияет на технологичность конструкций и частей ЛА, т.к. компоненты БКС связывают проводами внутренние отсеки и составные части конструкции ЛА между собой, которые в процессе ЖЦ ЛА неоднократно отключаются и демонтируются, а затем вновь сочленяются при монтаже на ЛА. Это предъявляет повышенные требования к технологичности БКС ЛА и к решению специфических проблем проектирования БКС ЛА с учётом возможностей современных электротехнических систем автоматизированного проектирования (САПР) и совокупности ограничений, содержащихся в нормативно-технической документацией (НТД).

1 Понятия и определения

Компоненты БКС ЛА, как и любое техническое средство, характеризуются главной особенностью – характером их действия [1]. Характер действия компонентов БКС ЛА можно описать как минимизацию преобразований P с целью исключения различий между входом I_p и выходом O_p , являющихся началом и концом электрического проводника (см. рисунок 1).

Одним из преобразований P , применительно к компонентам БКС, является изменение передаваемой информации от одного адреса к другому.

Практика создания компонентов БКС определила совокупность НТД, включающей в себя государственные и отраслевые стандарты (ГОСТ и ОСТ), а также руководящие технические материалы (РТМ). В частности, соблюдение норм и требований, изложенных в [2], исключает работы на борту ЛА, направленные на устранение замечаний в работе КБО в связи с влиянием на БС и БКС ЛА электромагнитных помех, приводящих к недопустимым преобразованиям P , при которых вход I_p и выход O_p связаны отношением $I_p \neq O_p$.

Создание компонентов БКС ЛА начинается с разработки конструкторской документации (КД), по которой производится изготовление жгутов электрических проводов. КД для изготовления жгутов включает в себя таблицы соединений, проектируемые на основе схем электрических соединений (Э4), которые в свою очередь разрабатываются на основе схем электрических принципиальных (Э3) [3]. В КД каждая БС ЛА представлена своими схемами Э3 и Э4, а также таблицами соединений жгутов электрических проводов.

Для каждой БС КБО ЛА можно выделить две составляющие: элементы (блоки) БС, образующие состав БС; взаимосвязи элементов БС – множества соединений в БС, определяющих связи как между элементами БС, так и между компонентами КБО ЛА (сопрягаемыми БС).

Сеть связей БС представляется схемой Э3, которая отражает связи элементов БС между собой, а также сопрягаемых с ними элементов других БС из состава КБО ЛА. Схема сети связей между элементами системы определяется структурой электрических связей системы. Структура является граничным свойством сети связей между элементами БС КБО ЛА, а сама связь есть образующая БС как часть сети связей между элементами этой системы. Межблочным связям БС присущи граничные свойства, определяющие структуру связей с другими элементами – блоками сопрягаемых БС.

Следует обратить внимание на две разновидности базовых структур, как выразителей схемы сети связей между элементами БС. Первой структурой отражаются и учитываются все граничные свойства связей, т.е. в ней отражены внешние границы системы, через которую она связывается с другими системами в КБО ЛА. Эта разновидность структуры связей представлена сетью связей между элементами БС, связями сигнализации, а также связями управления БС. В КД эти связи реализуются в схеме Э3 БС [3]. Второй разновидностью базовой

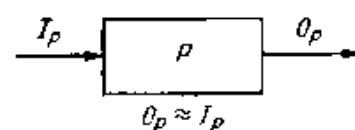


Рисунок 1 – Модель характера действий компонентов БКС как технического средства

структуры, как выразителя геометрических свойств связей объекта, являются пространственные свойства связей. Такие свойства отражают геометрические особенности связей между элементами БС, обусловленные их отдалённостью друг от друга.

Графическое представление связи между элементами БС в ЛА в качестве упрощённой модели жгута изображается кривой в двухмерном пространстве. Реальная конструкция жгута размещается в трёхмерном (монтажном) пространстве ЛА. Размерность (длина) отрезков и кривых линий при этом отображается условно, т.к. это необходимо для наглядного представления об отдалённости элементов БС, подлежащих проводному электрическому соединению на борту ЛА. В КД такая разновидность структуры связей реализуется в схеме Э4 БС [3].

Построение структуры связей БС является одним из этапов формирования КБО ЛА, функционирование которого существенно зависит от БКС в виде различного уровня сложности связующих компонентов, подключённых к элементам БС в КБО ЛА и расположенных в монтажном пространстве ЛА.

Для выполнения комплекса ограничений НТД, включающего ОСТы, ГОСТы и РТМ [4], а также требований, сформулированных в работах [5, 6], требуется применение системного подхода к постановке и решению задач проектирования компонентов БКС.

2 Постановка задачи

Под системой понимается объединение элементов в регулярные конфигурации в рамках определённой концепции синтеза построения моделей и реальных объектов, выступающих по отношению к внешней среде как единое целое [7].

При проектировании компонентов БКС ЛА можно принять, что проект жгута есть система понятий, дающая абстрактное представление о будущем изделии с точки зрения его изготовления [1]. Исходными данными при проектировании компонентов БКС являются:

- схема ЭЗ, имеющая множество элементов БС и связей между этими элементами (регламентирует связность элементов БС между собой);
- компоновка блоков БС, размещённых в пространстве ЛА (регламентирует местоположение блоков и агрегатов систем, разрешённые и запретные зоны для монтажа БКС).

Для удовлетворения требованиям технологичности дополнительно рассматриваются следующие исходные данные:

- схема компоновочного членения (содержит в себе информацию о разделении планера на отсеки, о зонах подхода и местах обслуживания ЛА);
- маршрут агрегатной сборки, описывающий процесс сборки ЛА (показывает необслуживаемые зоны и отсеки ЛА, зоны и технические отсеки, в которые есть доступ на каждом этапе сборки ЛА).

Из комплекса требований НТД к технологичности компонентов БКС в данной работе рассматриваются следующие.

- Подключение жгутов к РКУ, например, к панелям автоматов защиты сети, приборным доскам экипажа, распределительным щиткам и распределительным коробкам выполняется с помощью быстро сочленяемых электрических соединителей (разъёмов).
- При прохождении жгута через границы стыкуемых частей и зон ЛА необходимо обеспечить возможность его отключения от оборудования, размещённого в стыкуемой зоне ЛА посредством разделения на два жгута (соединяемых посредством разъёма). Это технологическое членение жгута упрощает монтажные и демонтажные работы и позволяет осуществить стыковку ЛА с отсеком, в котором уже установлено оборудование и жгуты.

В формальном виде задача проектирования компонентов БКС, удовлетворяющих требованиям технологичности, представляется как задача топологии. Модель жгута в монтажном

пространстве ЛА в этом случае - это кривая Жордана в топологическом пространстве, которая строится с помощью непрерывных топологических отображений [8, 9]. Технические отсеки и зоны ЛА, на границах которых необходимо технологически членить каждый жгут, являются замкнутыми поверхностями - топологическими подпространствами в евклидовом пространстве, которые, во-первых, ограничены и компактны, а во-вторых, любая их точка обладает окрестностью, гомеоморфной евклидовой плоскости [9].

В такой постановке задача проектирования компонентов БКС, удовлетворяющих требованиям технологичности, заключается в следующем.

Построить в заданном топологическом пространстве X кривые Жордана, удовлетворяющие основным постулатам теоремы о вложении [9]. Осуществить разбиение топологического пространства X на гомотопные ему пространства M_i , число которых является проектной переменной (соответствует числу выделенных зон и отсеков ЛА и заранее задано). Выполнить разделение всех кривых Жордана, начала и концы которых находятся в смежных гомотопных пространствах M_i .

В другой формулировке задачей проектирования технологичных компонентов БКС является выполнение итерационных преобразований P_i исходного множества элементов БС и связей между элементами БС в целях построения i -го количества жгутов электрических проводов a_i , реализующих эти связи и удовлетворяющих комплексу требований $O(a)$ НТД. В данной работе $O(a)$ рассматривается как система, включающая $T(a)$ – технологичность, $R(a)$ – работоспособность, $B(a)$ – безотказность, $E(a)$ – электромагнитная совместимость (ЭМС) [2] проводов в жгуте, реализующих связи между элементами БС.

Технологичность $T(a)$ рассматривается как совокупность двух её составляющих T_1 и T_2 , обеспечивающих технологичность при подключениях к РКУ (T_1), т.е. введение разъёмного подключения, а также технологическое членение БКС ЛА (T_2) путём введения в жгуты дополнительных разъёмов, позволяющих отстыковывать жгуты на границах частей ЛА.

Для оценки технологичности компонентов БКС используются следующие критерии:

- критерий завершенности жгута, т.е. готовности к установке на борт без доработки жгута (обрезки проводов, распайки/обжатия клемм разъёма), для осуществления подключения к элементам БС;
- весовой критерий жгута, характеризующий транспортабельность создаваемой конструкции и её способность к последующему монтажу на ЛА.

Взаимоотношения составляющих $O(a)$ представляют особый интерес. Так, например, $R(a)$ зависит от соблюдения требований $E(a)$. В свою очередь $T(a)$ является противоречит требованию безотказности $B(a)$, т.к. стремление повысить технологичность компонентов БКС приводит к снижению надёжности электрических цепей при последовательном их прохождении через множество разъёмов, имеющих свою наработку на отказ.

Учёт противоречивых требований НТД является особенностью проектирования компонентов БКС ЛА. В условиях сжатых сроков разработки КД конструкторы в спорных ситуациях полагаются на собственный опыт, эвристику и более высокие уровни принятия решений (начальники конструкторских бригад). Отсутствие ранжирования противоречивых требований НТД посредством реализации строгих алгоритмов в модулях поддержки принятия решений современных электротехнических САПР, например, *E3.Series* [10], *Autocad Electrical*, *ElectricS Pro 7* Авиаия и др., не приводят к оптимальному решению в проектировании. Эвристически принимаемые технические решения трудно структурируются, носят индивидуальный характер и не могут быть корректно формализованы в целях совершенствования методов проектирования компонентов БКС ЛА и средств электротехнических САПР.

3 Проектирование компонентов БКС

Начальным этапом в практике проектирования компонентов БКС БС ЛА является графическое представление электрических связей между элементами БС путём разработки схемы ЭЗ БС и последующее преобразование этих связей для разработки схемы Э4, учитывающей заданную компоновку элементов БС на борту ЛА.

Для формального представления процесса проектирования компонентов БКС ЛА, в котором выделена структура сети связей БС, введены новые понятия, характеризующие объект проектирования с использованием теории мультимножеств [11], геометрического комплекса и основных положений теории группы гомологий [9]. Комплекс – это множество симплексов, в котором выделено подмножество одномерных симплексов, являющихся обобщённой математической моделью проводников электрических цепей БС. Мультимножество есть совокупность повторяющихся элементов, содержащихся в компонентах БКС (разъёмы, провода, клеммы) и наделённых соответствующими признаками для различения элементов мультимножества.

Этап разработки схемы ЭЗ БС называется синтезом образа [12] электрических связей, а этап разработки схемы Э4 является синтезом образа компонентов БКС БС. Синтезом образа (модели) компонентов БКС является концепция описания жгута в рамках точного формализма, которая показывает, как строится жгут из заданных образующих по определённым правилам. Изображение (модель) жгута может быть формально представлено на основе понятий алгебры изображений

$$\tau = \langle \alpha, S, R, \rho \rangle, \quad (1)$$

где α – образующие жгута (электрические проводники); S – множество отображений $s: \alpha \rightarrow \alpha'$, устанавливающее какие образующие подобны друг другу при преобразовании каждой электрической цепи из схемы ЭЗ в схему Э4; R – объединение множества образующих в конфигурации (структурные объединения образующих, т.е. жгуты электрических проводников); ρ – правило идентификации (отношений между конфигурациями), выступающее в качестве совокупности норм и требований, предъявляемых к составу и структуре конфигурации.

Начальным этапом в синтезе образа электрических связей БС является построение сильно связных неориентированных графов $G = (V, l)$, где вершины V – элементы БС, а рёбра l – электрические цепи, соединяющие вершины V . У дуги инцидентные вершины (конечные точки) различны [13]. Синтез жгутов осуществляется на основе заданной схемы ЭЗ БС и заданной компоновки блоков БС в монтажном пространстве ЛА.

В качестве описания применяемого метода представлен фрагмент схемы ЭЗ системы смыва осадков и загрязнений лобовых стёкол экипажа среднемагистрального самолёта (рисунк 2) и её графовая модель, дополненная признаками, характеризующими способы подключения к элементам БС (см. рисунок 3).

При построении графовой модели схемы ЭЗ не учитывались электрические цепи, подключаемые на корпус ЛА, а также допущено, что n – количество рёбер, соединяющих две вершины, может быть $n \geq 1$. Данное условие необходимо, т.к. схема ЭЗ БС может содержать $n \geq 1$ электрических цепей, которые соединяют элементы БС. Этот важный аспект, вводимый при построении графов, способствует приближению введённой графовой модели к реальным электрическим схемам. Вершины V_i , графически обозначенные как «○», представляют собой такие элементы БС, подключения к которым осуществляются через разъёмные электрические соединители (разъёмы, наконечники). Вершины V_i , обозначенные как «●», представляют собой элементы БС, подключения к которым осуществляются внутренним монтажом через неразъёмное соединение, например пайкой, применяемой для соединения коммутационных элементов и элементов защиты сети от токов короткого замыкания [14].

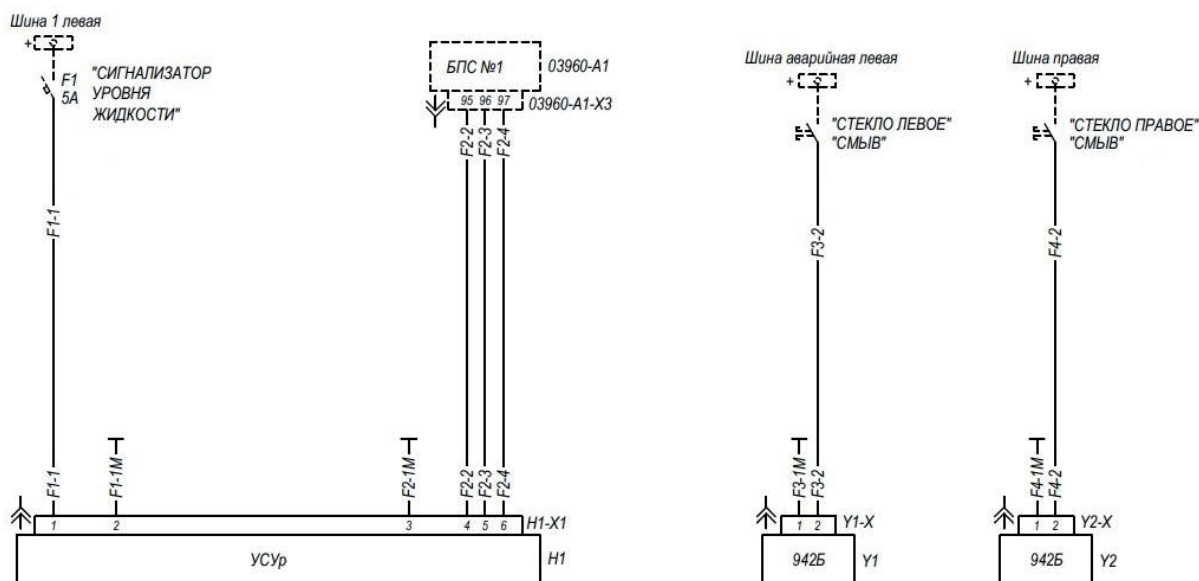


Рисунок 2 – Фрагмент схемы ЭЗ

Введение графических признаков «○» и «●» при построении графовой модели схемы ЭЗ БС, которые обыкновенно не используются при построении графов, обусловлено необходимостью учёта в решаемой задаче технологических и эксплуатационных требований, согласно которым неразъёмные соединения должны иметь возможность отключения и демонтажа с ЛА на период ремонтных и обслуживающих работ [15]. Все элементы, имеющие неразъёмные соединения, подлежат установке в РКУ¹, которые оснащаются разъёмами и проводами внутреннего монтажа, соединяющими клеммы разъёмов с элементами.

Для работы с моделью электрических связей, учитывающей пространственное положение соединяемых вершин, предложено преобразовать графовую модель схемы ЭЗ в топологический граф. Необходимость учёта пространственных свойств связей обусловлена компоновкой элементов БС на борту ЛА, определяющей размещение элементов БС в монтажном пространстве ЛА.

Для построения топологического графа необходимо выполнить преобразования графовой модели схемы ЭЗ так, чтобы модель электрических проводников в топологическом графе не искажала связность ни одной из электрических цепей, представляемых на графовой схеме. Эти преобразования являются подобными, непрерывными, взаимно-однозначными топологическими отображениями [9]. Порядок и условия проведения таких отображений применительно к задаче синтеза образа жгута описаны в работе [8].

Топологический граф, построенный отображением электрических цепей из графовой модели схемы ЭЗ, может быть представлен в виде $G'=(V, L, S)$. Его вершинами V служат элементы БС в качестве выделенных точек (узлов) трёхмерного евклидова пространства, рёбрами L являются Жордановы кривые, соединяющие эти точки (см. рисунок 4), при условии выполнения непрерывных взаимно-однозначных топологических отображений S .

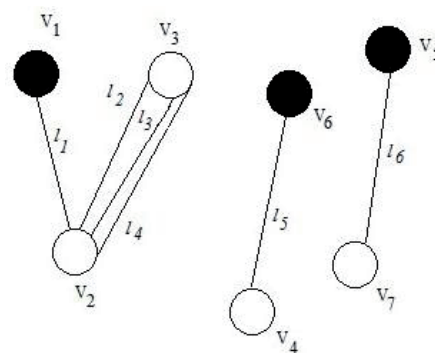


Рисунок 3 – Графовая модель фрагмента схемы ЭЗ

¹ В качестве примеров РКУ на ЛА можно отметить панели автоматов защиты сети, распределительные щитки и распределительные коробки, размещаемые в монтажном пространстве ЛА.

Полученный топологический граф G' представляет собой обобщённую идеальную модель схемы Э4 БС, где V являются блоками соединяемых устройств, а $L = \sum_i^n a_i$ – жгуты проводов, реализующие посредством электрических проводников соединения заданных вершин. Количество проводов a между вершинами соразмерно количеству электрических цепей, соединяющих эти вершины. Провод a является образующим жгута электрических проводов по выражению (1), а жгут L является конфигурацией R из выражения (1).

В разработанной модели жгута проектными переменными являются количество проводов a в жгуте L и количество соединяемых вершин V , а также те признаки и атрибуты, которые характеризуют особенности каждого из них. Среди признаков и атрибутов в проводах a_i можно отметить тип провода, сечение провода и его длину, а вершины V_i характеризуются типами разъёмов, количеством клемм, диаметром и материалом покрытия².

На технологичность жгута существенно влияют способы подключения жгута к блоку БС (вершине V). Для обеспечения требований технологичности проводников жгута полученный топологический граф преобразуется с целью выделения вершин с признаками V_i , графически обозначенных как «○», в отдельные подпространства. В практике проектирования эти действия сопоставлены с подготовкой к проектированию РКУ, т.е. определению их элементного состава и определением габаритов конструкции РКУ.

Условие перевода вершины V_i , имеющей признак неразъёмного соединения «●» (далее – $V●$), в вершину с признаком «○» (далее – $V○$) может быть задано следующими выражениями:

<Если $V_i \in V○$, то преобразование V_i не требуется>;

<Если $V_i \in V●$, то V_i должна быть разделена посредством введения дополнительной вершины V_i' с признаком «○»>.

Топологический граф G' в монтажном пространстве M , учитывающий ограничения $T_i \in T(a) \in O(a)$, в этом случае обозначается $G'(T_i)$ (рисунок 5).

Соединение вновь введённой вершины V_i' с предшествующей вершиной V_i в данном графе выполнено штриховой линией, т.к. данное электрическое соединение выполняется внутренним монтажом РКУ и в данной работе не рассматривается. Разъёмный соединитель РКУ в данном случае является внешней границей жгута и удовлетворяет требованию технологичности при подключении жгутов к съёмным элементам бортовой электросети.

К технологическим требованиям к компонентам БКС ЛА относится необходимость технологического членения жгутов, проходящих через отсеки и отъёмные части ЛА посредством введения технологических разъёмов на границах заданных участков. В качестве примера данной задачи рассматривается введение технологического соединителя при прохождении жгута из негерметичной носовой части ЛА в герметичную часть фюзеляжа.

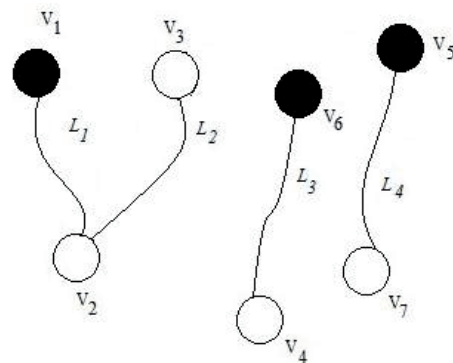


Рисунок 4 – Топологический граф G

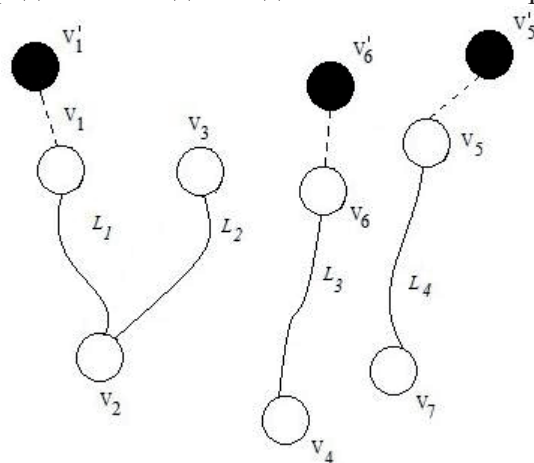


Рисунок 5 – Топологический граф $G'(T_i)$ в монтажном пространстве M

² В проектировании жгута среди признаков и атрибутов не рассматриваются большинство качественных и количественных значений, т.к. их определение соответствует этапу конструирования жгута.

Пусть компоновкой блоков БС КБО ЛА размещение вершины графа V_2 , как элемента рассматриваемой БС, определено в негерметичной зоне носовой части ЛА, а вершины V_1 и V_3 находятся в кабине экипажа. Тогда модели жгутов – дуги L_1, L_2 топологического графа G' (см. рисунок 5) технологически разделяются на границах пространств N_i , выделенных из топологического пространства X и гомотопных ему. Координаты точек такого пространства N , в котором выделен отрезок $I=[0 \leq t \leq 1]$, представляют собой пары (A, t) , где A – точка пространства N , t – число между 0 и 1 (рисунок 6).

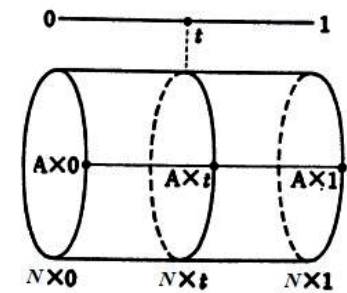


Рисунок 6 – Пространство NXI

В практике создания компонентов БКС ЛА используется не топологическое пространство X и гомотопное ему пространство N , а монтажное пространство M , поэтому необходимо сформулировать условия гомотопической эквивалентности M и N .

Если в пространстве $N \times I$ рассматривать подпространство точек (A, t) при фиксированном t , то оно гомеоморфно монтажному пространству M . Пространства M и N гомотопны, если существует непрерывное отображение $F: N \times I \rightarrow M$ такое, что $F: N \times 0 \rightarrow M$ совпадает с f_0 , а $F: N \times 1 \rightarrow M$ совпадает с f_1 , где F – топологическое отображение пространства N в M (рисунок 7).

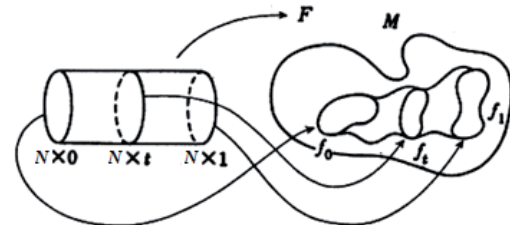


Рисунок 7 – Топологическое отображение пространства N в M

Отдельные подпространства M_i представляют собой топологические классы, подключение к которым из соседних подпространств осуществляется посредством разделения линий связи. Это преобразование осуществляется путём введения в дуги L_1, L_2 топологического графа G' дополнительных вершин с признаком V'_0 для обеспечения возможности отключения жгутов, соединяющих элемент в негерметичной зоне с элементами в герметичной части фюзеляжа ЛА.

Топологический граф G' в монтажном пространстве M , учитывающий ограничение $T_1 \vee T_2 \in T(a) \in O(a)$, в этом случае обозначается $G'(T_2 \vee T_2)$ (рисунок 8).

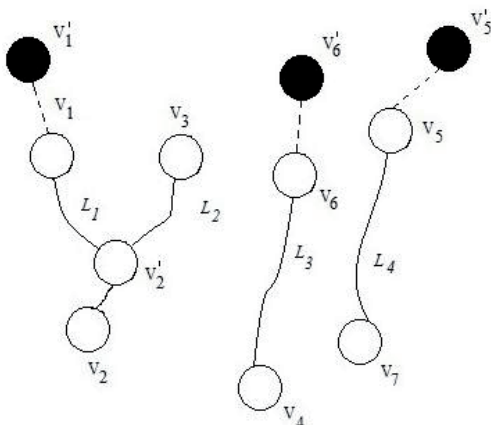


Рисунок 8 – Топологический граф $G'(T_2 \vee T_2)$ в монтажном пространстве M

Количество вводимых вершин V'_0 выбирается в зависимости от количества проводников, их ЭМС, а также функционального резервирования электрических цепей, проводники которых представляют упрощённые модели жгутов L_1, L_2 .

С учётом опыта проектирования было сформировано требование НТД [16] о распределении проводов в электрические соединители через отдельные (только для данной системы) соединители при отнесении проводов данной системы к категории наиболее важных систем ЛА, отказ которых усложняет условия полёта.

Если модель жгута L_1 содержит электрические проводники той же группы ЭМС, что и проводники модели жгута L_2 , и проводники модели жгутов L_1 и

L_2 не являются функционально дублирующими подканалами информационных или питающих электрических цепей, то при выполнении условия соразмерного количества проводников и количества клемм разъёма вершина V'_2 не разделяется на две вершины.

4 Алгоритм обеспечения технологического членения жгута БКС ЛА

Разработан алгоритм (см. рисунок 9), учитывающий основные сценарии, при которых необходимо введение дополнительных разъемов (вершин графа) в целях обеспечения технологичности компонентов БКС ЛА.

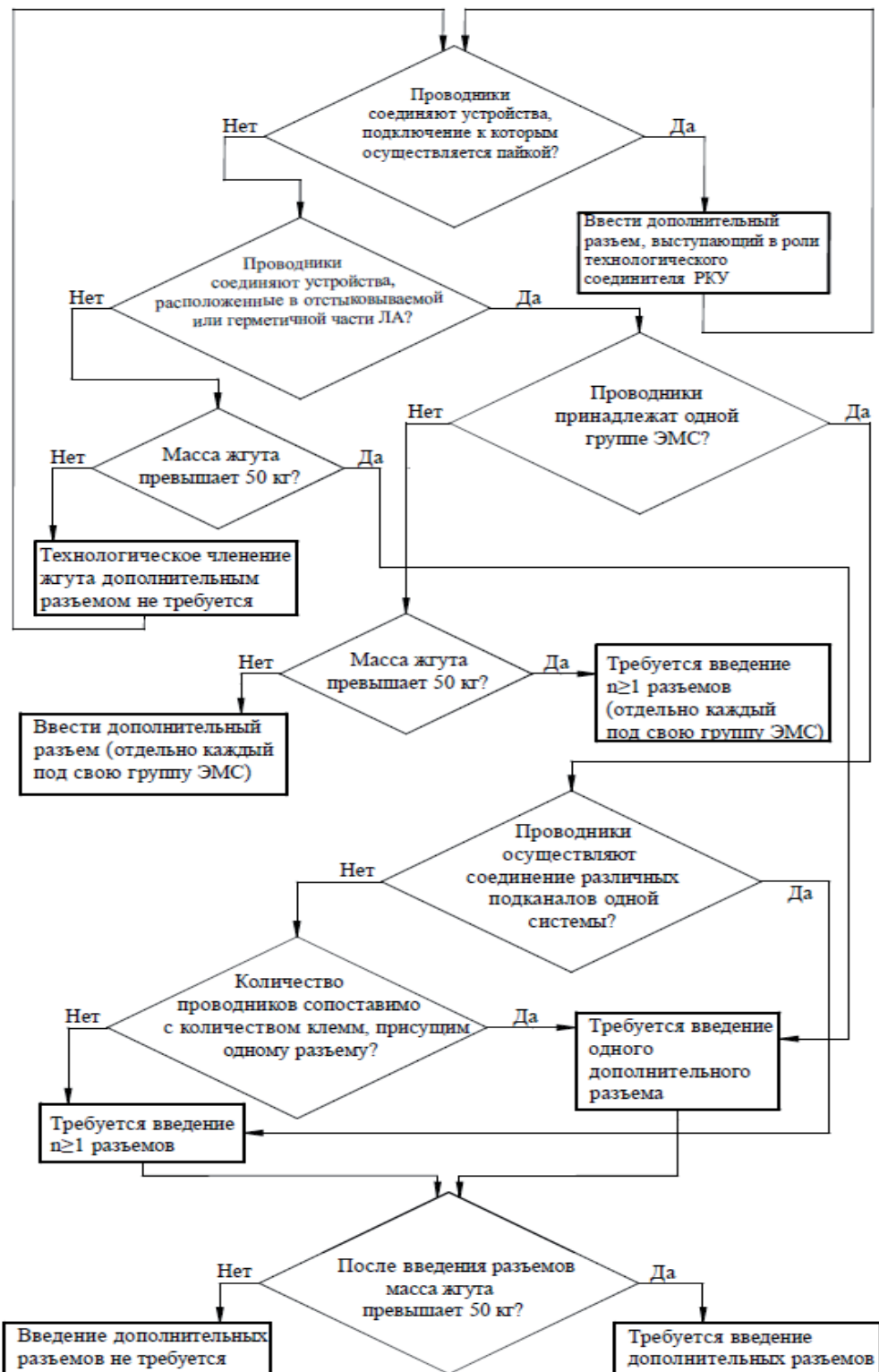


Рисунок 9 – Алгоритм определения целесообразности введения разъёма в электрические цепи БС (согласно РТМ [4] ограничение на массу жгута составляет 50 кг)

Внедрение алгоритма при проектировании компонентов БКС, позволит осуществить поддержку принятия решений о членении жгутов с учётом совокупности ограничений.

В основе человеко-машинной системы автоматизации проектирования компонентов БКС ЛА должны лежать следующие аспекты.

- Технологическое членение жгутов как компонентов БКС необходимо производить с использованием человеко-машинных алгоритмов. Принятие окончательного проектного решения остаётся за проектировщиком.
- С целью формального описания объектов проектирования и использования алгоритмов необходимо присвоение атрибутов и признаков компонентов БКС на начальных этапах проектирования [17].
- Для минимизации негативных воздействий на информационные цепи, соединяющие БС КБО ЛА, необходимо производить анализ ЭМС проводов, под которые проектировщиком выбран конкретный разъём.
- Необходимо учитывать функциональную составляющую линий связи, выполняющих роль дублирования особо ответственных электрических цепей, в целях исключения их прокладки на борту ЛА в непосредственной близости друг от друга и через один разъём.
- Необходимо производить анализ основного атрибута электрических цепей (имя электрического проводника) для определения их дублирования, которое можно исключить без нарушения принципа работы БС. БКС перспективных ЛА характеризует минимизация средств размножения сигналов (распределительные коробки, муфты сращивания, размножение посредством использования перемычек в электрических соединителях), т.к. это влияет на качество и надёжность БКС, доля отказов которой составляет 80-85% от всех отказов авионики [18].

Заключение

Предложенный метод проектирования компонентов БКС ЛА, заключающийся в представлении компонентов БКС и пространства ЛА как топологических подпространств, позволяет провести моделирование компонентов БКС построением топологических графов. Использование графа, вершины которого дополнены признаками, указывающими на необходимость введения разъёма, позволило усовершенствовать процесс проектирования компонентов БКС. Предложен алгоритм действий проектировщика для поддержки принятия решения о целесообразности членения жгута электрических проводов.

Список источников

- [1] *Дитрих Я.* Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. – М.: Мир. 1981. 456 с.
- [2] ОСТ 1 00406-80. Совместимость электромагнитная комплексов радиоэлектронного оборудования самолетов и вертолетов. 1982. 11 с.
- [3] ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. М.: Стандартинформ, 2009. 13 с.
- [4] РТМ 1.4.1028-2003. Изготовление и контроль электрожгутов. М.: НОАО НИАТ, 2003. 193 с.
- [5] *Биктулов С.В., Чупахин Я.Н.* Разработка высокотехнологичных бортовых кабельных сетей // «Известия СНЦ РАН». 2014. Т.16, № 1 (5), С.1309-1315.
- [6] *Биктулов С.В.* Разработка технологичных электрических жгутов бортовых кабельных сетей // «Известия СНЦ РАН». 2016. Т.18, № 4 (3), С.597-603.
- [7] *Пережудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.* Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989. 360 с.
- [8] *Коптев А.Н., Мясников А.Ю.* Теоретические основы проектирования простых жгутов бортовой кабельной сети летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Авиационная и ракетно-космическая техника. 2019. Т.18, №4. С. 76-86. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-4-76-86.
- [9] *Комацу Мацуо.* Многообразие геометрий. М.: Знание, 1981. 208 с.
- [10] *Краснов Д.Г., Степанов Е.М.* Применение программ NX и E3 series для электрической маршрутизации прокладки проводов и жгутов // САПР и моделирование в современной электронике. Брянск, 2019. С.37-

40. DOI: 10.30987/conferencearticle_5e02820fc46cf0.31646625.

- [11] **Петровский А.Б.** Пространства множеств и мультимножеств. М.: Едиториал УРСС, 2003. 248 с.
- [12] **Гренандер У.** Лекции по теории образов. Синтез образов. Том 1. М.: Мир, 1979. 382 с.
- [13] **Зыков А.А.** Основы теории графов. М:Книга по Требованию, 2013. 382 с.
- [14] ОСТ 1 01032-82. Соединения проводов с элементами электрорадиотехнических устройств.
- [15] ОСТ 1 00289-78. Контактные и выключатели электромагнитные. Правила выбора, установки и эксплуатации, 1978. 15 с.
- [16] ОСТ 1 00239-77. Сети электрические бортовые летательных аппаратов. Требования к электрическим жгутам. 1977. 13 с.
- [17] **Коптев А.Н., Мясников А.Ю.** Концептуальные основы проектирования сложных жгутов бортовой кабельной сети летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Авиационная и ракетно-космическая техника. 2020. Т.19, №2. С.19-30. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-19-30.
- [18] **Коптев А.Н., Миненков А.А., Марьин Б.Н., Иванов Ю.Л.** Монтаж, контроль и испытания электротехнического оборудования ЛА. М.: Машиностроение, 1998. 296 с.

Сведения об авторе

Мясников Алексей Юрьевич, 1992 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва в 2016 г. Начальник бригады «Бортовые кабельные сети» Самарского филиала конструкторского бюро АО «Туполев». lesha-myasnikov@yandex.ru



Поступила в редакцию 22.08.2023, после рецензирования 2.09.2023. Принята к публикации 4.09.2023.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-368-379

Designing onboard cable networks components considering the manufacturability requirements

© 2023, A.Yu. Myasnikov

Samara Branch of the Tupolev Design Bureau, Samara, Russia

Abstract

The design of the onboard cable network components of an aircraft that meet the requirements of regulatory and technical documentation is considered. The stages of the life cycle of the aircraft are noted, at which the analysis and evaluation of the technical solutions adopted at the design stage of the aircraft, aimed at adaptability to the installation and dismantling of products and components of the aircraft, take place. The scope of the design documentation required for the manufacture of onboard cable network components is determined. The peculiarity of the design stages and the inconsistency of the requirements of the regulatory and technical documentation used in designing onboard cable network components of the aircraft are indicated. A set of requirements for manufacturability, efficiency, reliability and electromagnetic compatibility of onboard cable network components is formalized. The criteria for the harness manufacturability are determined. A method is proposed for synthesizing the image of the onboard cable network components using a graph which vertices are supplemented with attributes that characterize the features of a wired connection to the elements of onboard systems. An algorithm of the designer's actions is developed when determining the need to introduce a connector into an electrical circuit, taking into account the requirements of the electromagnetic compatibility of wires. Recommendations for designers of aircraft onboard cable network components are formulated.

Key words: *onboard equipment complex, onboard cable network, harness, connector, topological graph, design, manufacturability, aircraft.*

For citation: *Myasnikov AYu. Designing onboard cable networks components considering the manufacturability requirements [In Russian]. Ontology of designing. 2023; 13(3): 368-379. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-368-379.*

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

List of figures

- Figure 1 – Nature of the actions of the onboard cable network components as a technical means
 Figure 2 – Fragment of the E3 scheme
 Figure 3 – Graph model of a fragment of the E3 circuit
 Figure 4 – Topological graph G
 Figure 5 – Topological graph $G' (T_1)$ in mounting space M
 Figure 6 – $N \times I$ space
 Figure 7 – Topological mapping of space N to M
 Figure 8 – Topological graph $G' (T_2 \vee T_2)$ in mounting space M
 Figure 9 – Algorithm for determining the feasibility of introducing a technological connector into the electrical circuits of the onboard system

References

- [1] **Ditrich Ya.** Design and construction: System approach [In Russian]. Moscow: Mir; 1981. 456 p.
- [2] OST 1 00406-80. Electromagnetic compatibility of avionics systems of fixed- and rotor-wing aircraft. General requirements [In Russian]. Moscow: Standartinform Publ., 1982. 11 p.
- [3] GOST 2.701-2008. Unified system for design documentation. Diagrams. Kinds and types. General requirements for fulfillment [In Russian]. Moscow: Standartinform Publ., 2009. 13 p.
- [4] RTM 1.4.1028-2003. Production and control of electrical harnesses [In Russian]. Moscow: NOAO NIAT Publ., 2003. 193 p.
- [5] **Biktulov S., Chupakhin Y.** Development of aircraft hi-tech onboard cable networks [In Russian]. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014; 16(1): 1309-1315.
- [6] **Biktulov S.** Development of technological electrical bundles of onboard cable networks [In Russian]. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016; 18(4): 597-603.
- [7] **Peregudov FI., Tarasenko FP.** Introduction to Systems Analysis [In Russian]. Moscow: Vyshayaa shkola, 1989. 360 p.
- [8] **Koptev AN., Myasnikov AYu.** Development of ordinary harness for aircraft onboard cable networks [In Russian]. In Vestnik of Samara University. *Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019; 18(4): 76-86. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-4-76-86.
- [9] **Komacsu Macsuo.** Variety of geometries [In Russian]. Moscow: Znanie, 1981. 208 p.
- [10] **Krasnov D.G., Stepanov E.M.** Application of the NX and E3 Series programs for electrical routing of wiring and harness. CAD and modeling in modern electronics. Bryansk. 2019. P.37-40. DOI: 10.30987/conferencearticle_5e02820fc46cf0.31646625.
- [11] **Petrovskiy AB.** Spaces of sets and multisets [In Russian]. Moscow: Editorial URSS Publ., 2003. 248 p.
- [12] **Grenander U.** Pattern synthesis. Lectures in pattern theory. V. 1. New-York: Springer-Verlag, 1976. 517 p.
- [13] **Zykov AA.** Fundamentals of graph theory [In Russian]. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2013. 382 p.
- [14] OST 1 01025-82. Shielding of wires, plaits, cables and metallization of aircraft (helicopters). General technical requirements [In Russian]. Moscow: Standartinform Publ., 1983. 54 p.
- [15] OST 1 00289-78. Electromagnetic contactors and switches. Rules for selection, installation and operation [In Russian]. 1978. 15 p.
- [16] OCT 1 00239-77. Networks electric airborne vehicles. Requirements for electrical harnesses [In Russian]. 1977.
- [17] **Koptev AN., Myasnikov AYu.** Conceptual framework of designing complex bundles of aircraft onboard cable network [In Russian]. In Vestnik of Samara University. *Aerospace and Mechanical Engineering*. 2020; 19(2): 19-30. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-19-30.
- [18] **Koptev AN., Minenkov AA., Mar'in BN., Ivanov YuL.** Installation, control and testing of electrical equipment of aircraft [In Russian]. Moscow: Mashinostroenie, 1998. 296 p.

About the author

Alexey Yurievich Myasnikov, (b. 1992) graduated from the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev in 2016. Head of the "Onboard cable networks" team at the Samara branch of the Tupolev design bureau. lesha-myasnikov@yandex.ru.

Received August 22, 2023. Revised September 2, 2023. Accepted September 4, 2023.



Онтологические модели освоения городских территорий с позиций прикладной культурологии¹

© 2023, Д.В. Денисов¹✉, М.Ю. Журавлев², Н.Ю. Медведева², Т.Д. Журавлева²

¹ Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия

² Самарский государственный технический университет (СамГТУ), Самара, Россия

Аннотация

Объектом исследования являются универсальные процессы освоения пространства в градостроительной деятельности. Предлагается онтологическая модель освоения пространства, применимая к зонированию мегаполисов и общественных пространств, допускающая её секторальное и зигзагообразное представления. Территориальное планирование определяется как формализация процессов генезиса и самоорганизации. Формализация включает: восемь этапов процесса самоорганизации; абсолютную и относительную пространственную интерпретацию каждого этапа; набор градостроительных функций по каждому этапу. Данный подход может использоваться для экспертизы зонирования общественных пространств как в составе проектируемого общественного пространства, так и в окружающей застройке. В секторальной онтологической модели освоение пространства представляется как процесс генезиса, направленный от общего к частному и имеющий абсолютную или относительную ориентацию по сторонам света. В зигзагообразной онтологической модели относительная пространственная ориентация устанавливается между рядом расположенными объектами. Новизна исследования состоит в установлении единых принципов структурирования пространства для мегаполисов и их общественных пространств.

Ключевые слова: функциональное зонирование, онтологическая модель, самоорганизация, генезис, открытые общественные пространства, освоение территорий.

Цитирование: Денисов Д.В., Журавлев М.Ю., Медведева Н.Ю., Журавлева Т.Д. Онтологические модели освоения городских территорий с позиций прикладной культурологии // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №3(49). С.380-391. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-380-391.

Благодарности: авторы выражают признательность членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за замечания и рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Адаптивность городской среды отражает современную тенденцию в развитии городов. Современное общественное пространство (площади, парки, скверы) становится всё более многофункциональным и многовариантным. Временные сооружения для проведения различных массовых мероприятий, став неотъемлемым атрибутом современной городской площади, обеспечивают функционирование тех или иных периодических процессов. В функциональном зонировании территорий, включая общественные пространства, преобладают внешние факторы, определяемые спецификой местности, назначением прилегающих

¹ Долгие дебаты в редакции и работа с авторами завершились публикацией этой статьи. Взгляд на процесс проектирования и онтологию проектирования со стороны, не типичной для проектанта и онтолога в информатике, вызывал бурные дискуссии. Но стремление понять иные точки зрения, точки отсчёта и позиции, в т.ч. позиции прикладной культурологии, на освоение городских территорий, а также любовь к Самаре членов редакции преобладали над ожидаемым результатом. Авторы статьи считают, что «этапы взаимодействия с редакцией фактически составляют цикл самоорганизации, который описывается в работе. В этой модели самоорганизация заканчивается тем, что все участники взаимодействия достигают состояния покоя, а генезис завершается демонстрацией результатов (публикацией)». *Прим. ред.*

зданий, сооружений и малых форм с учётом всех экотопологических факторов. В настоящее время с сохранением смысловой и функциональной значимости применяются некоторые принципы проектирования архитектурной среды, восходящие к истории архитектурных сооружений и учитывающие факторы визуального восприятия, целостности композиции, ориентации относительно сторон света. Так, в архитектурной экотопологии [1] за каждым сектором пространства закрепляется набор функций, учитывающих: пространственную ориентированность; неизменность; взаимосвязанность характеристик; наличие некоторого количества производных или коррелирующих характеристик/подфункций. Тенденция к исследованию устойчивой архитектурной среды (включая интеграцию новых экологических технологий, материалов, энергосбережение и энергоэффективность, эстетические и визуально-психологические компоненты проектирования) привела к принятию термина «экоустойчивая архитектура» [2]. Онтологический подход к рассмотрению связей и отношений экоустойчивой среды в единстве её логик представлен в [3].

Длительность и комплексность процессов формирования архитектурных ансамблей и городского ландшафта столь значительны, что логичной представляется точка зрения о реализации в освоении пространства крупнейшего города процессов самоорганизации [4]. В связи с этим содержание проектирования такого рода объектов рассматривается в настоящем исследовании как формализация процессов генезиса и самоорганизации.

Под *генезисом* понимается процесс, направленный от общего к частному, структурированный и свойственный природным процессам, таким, как суточный и годовой циклы, в значительной степени определяющим ритм человеческой деятельности. Число этапов этого процесса определяется традиционным делением пространства на восемь секторов, представляющих основные и промежуточные стороны света.

Процессы *самоорганизации* рассматриваются как процессы, направленные от частного к общему, структурированные также восьмичастно и отражающие этапы человеческой деятельности. Под процессами самоорганизации в градостроительной деятельности понимается реализация в деятельности архитекторов и иных субъектов градостроительной деятельности задач, обеспечивающих устойчивое развитие территорий. Различие между процессами генезиса и самоорганизации состоит в том, что процесс генезиса принимается в качестве первичного, а самоорганизация соотносится с ответной деятельностью человека.

Функционально-топологический подход основывается на топологическом понимании времени, «подразумевающим последовательность не одинаковых моментов времени, а разноразмерных (разнородных) интервалов и их содержательную иерархию» [5]. Освоение пространства в данном подходе предстаёт как смена ряда онтологий, характеризующихся определёнными видами деятельности. По причине высокой интенсивности в реализации одной из функций, составляющих онтологию определённого этапа (сектора), может происходить перенос взаимосвязанных функций и их объединение с функциями иной онтологии.

В биологических системах проблема самоорганизации связана, с одной стороны, с вопросами кооперативного поведения огромного числа организмов в соответствии с «планом творения» [6], с другой – с морфогенезом, «образованием из недифференцированной совокупности клеток целостного организма со сложнейшей структурой» [6].

Общественное пространство характеризуется потенциальной структурированностью. Специфика «плана творения» состоит в его простоте, допускающей интуитивное восприятие. Одним из критериев простоты восприятия этого плана служит малое число этапов, измеряющих эти процессы (равное восьми [7, 8]), но достаточное для описания сложных процессов. Четыре этапа из восьми составляют некую логическую парадигму, и ещё четыре отражают аспекты развития [9]. Системные связи, возникающие между этапами, определяют их качественные характеристики, а их последовательность служит объединению в единое целое.

Восемь этапов формируют базовые представления о функциональном зонировании в таких архитектурных традициях, как индийская вастувидья [10–12], обнаруживающая общие пропорциональные и композиционные особенности с квадратом Серпинского [8], и китайская Фэн-шуй [13]. Эти традиции имеют в своей основе мифы, в которых закодировано описание «плана творения». Относительно его этапов происходит наделение сторон света характеристиками, которые, аналогично проектным параметрам в западной архитектуре, сформулированы по каждому элементу здания, хозяйственным постройкам, объектам городской инфраструктуры [10, 14]. В архитектурных традициях Юго-Восточной Азии речь чаще идёт о планировке отдельных зданий и участков [10], анализе планов древних городов [11] или реконструкции исторических районов [15], т.е. об аспектах, которые обнаруживают немногочисленные связи с отечественными градостроительными практиками. Основываясь на принципе подобия, становится возможным использование базовых представлений древних традиций для моделирования и анализа объектов отечественного градостроения. Поиск единства организационных приёмов [16, 17] предполагает обращение к разнообразным фактам, к данным разных научных дисциплин, к разным мировоззренческим платформам.

В качестве *объекта* настоящего исследования рассматриваются универсальные процессы освоения пространства человеком в градостроительной деятельности. *Предмет исследования* – способы формализации процессов генезиса и самоорганизации в условиях разной геометрии территорий, осваиваемых человеком. В ходе исследования решаются следующие *задачи*: описание процессов самоорганизации посредством метода онтологического моделирования применительно к освоению территорий; анализ градостроительных схем в контексте общей онтологической модели освоения пространства, в т.ч. на примере открытых общественных пространств мегаполиса.

1 Секторальная онтологическая модель пространства мегаполиса

Первые секторальные модели освоения пространства были представлены идеальными моделями города, имевшими «звёздopodobный» характер и насчитывавшими 6–12 лучей. Они возникли в эпоху Возрождения на основе описаний Витрувия [18] и использовались, большей частью, для моделирования крепостных сооружений. В административно-территориальном делении современных крупнейших городов каждый сектор не сужается, как в «звёздподобных» моделях, а расширяется по мере удаления от центра. Например, в Москве для 8 из 12 округов характерно секторальное расположение; в Минске все 9 административных районов расположены секторально. Обращение к секторальной схеме позволяет осуществлять администрирование и управление крупнейшими градостроительными системами как относительно простыми. Как правило, административно-территориальные секторы выстраиваются относительно крупных транспортных коридоров [19].

Анализ исторического центра Санкт-Петербурга и главных площадей Самары [8, 14] показал, что именно в знаковых общественных пространствах крупнейшего города имеет место необходимая для анализа функциональная насыщенность, позволяющая выявлять и описывать действие процессов самоорганизации в градостроительной деятельности.

Понятие «онтология» используется в данной статье для обозначения определённого способа организации человеческой жизнедеятельности в городской среде. Этапы процесса самоорганизации в секторальной модели на рисунке 1 представлен понятиями, позволяющими выявлять, объяснять определённого рода градостроительные функции и случаи их объединения в группы.

Каждый этап онтологической модели условно может быть описан градостроительными функциями, пример которых представлен в таблице 1.

Обоснованием модели, представленной на рисунке 1 и описанной в таблице 1, служат результаты исследований [8, 14, 20–23].

Секторальное освоение пространства регулируется следующими положениями из [8], дополненными пунктом 5:

- 1) один архитектурный объект может наделяться разными функциями относительно нескольких рядом расположенных ансамблей;
- 2) объединение функций нескольких секторов в случаях, если, например, одно здание расположено в двух или более секторах, должно быть функционально обоснованным;
- 3) возможен перенос функций на один или два сектора;
- 4) функции, реализуемые пространственным объектом, со временем могут изменяться;
- 5) функции, установленные для секторального освоения, действуют в иных геометрических решениях с относительной (прямоугольно-зигзагообразное) и абстрактной (линейное) ориентацией, в которой процессы генезиса и самоорганизации получают равную значимость, а градостроительные функции рассматриваются вне их пространственной соотнесённости.

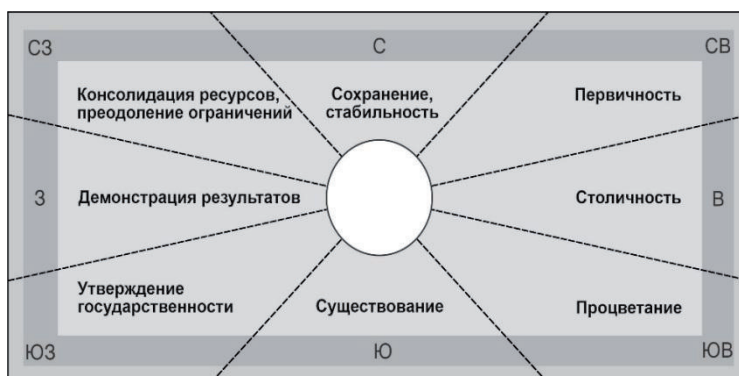


Рисунок 1 – Секторальная онтологическая модель общественных пространств мегаполиса

Таблица 1 - Градостроительные функции общественных пространств мегаполиса (пример)

Секторальное расположение пространств	Градостроительные функции как этапы процесса самоорганизации (генезиса)	Линейное расположение
Северо-Запад	Консолидация ресурсов, преодоление ограничений: склады готовой продукции; больницы; объекты спорта высоких достижений; ...	Генезис ↓«С-З»↓
Север	Сохранение, стабильность: спальные районы; крупные торговые центры; крупные сырьевые и сетевые компании; центры высоких технологий; ...	«С»
Северо-Восток	Первичность: места молитвы, научного познания; памятники основателям и деятелям культуры; пункты транспортного сообщения; ...	«С-В»
Восток	Столичность: законодательная власть; места поклонения и почитания героев; элитные районы; живописные ландшафты; зрелищные сооружения; ...	«В»
Юго-Восток	Процветание: энергоносители (производство, продажа); местные транспортные объекты; объекты автомобильной промышленности; ...	«Ю-В»
Юг	Существование: достижения культуры и науки; интенсивная хозяйственная деятельность; жилая застройка; места поддержания здоровья; ...	«Ю»
Юго-Запад	Утверждение государственности: учреждения исполнительной власти; оборонные объекты; технологические, медицинские и иные центры; ...	«Ю-З»
Запад	Демонстрация результатов: демонстрация воинской доблести; коммерческие и финансовые объекты; учреждения образования; элитные районы; ...	«З»
Северо-Запад		Самоорганизация ↑«С-З»↑

Секторальная схема зонирования каждого крупнейшего города имеет свои особенности. Минск, например, отличается размещением Центрального района, являющегося исторически первым, не в центре города, а в его С-З секторе. В Москве Центральный административный округ (АО) занимает центральное положение, а некоторые округа смещены по отношению к

одноимённым секторам, например: Северо-Восточный АО расположен севернее Центрального АО. В историческом центре Санкт-Петербурга центральное пространство, служащее точкой отсчёта, представлено водной гладью между Петропавловской крепостью, о. Васильевским, Зимним дворцом. Приведённый обзор показывает, что в одном и том же секторе пространства при самых разных условиях могут реализоваться сопоставимые и взаимодополняющие градостроительные функции. Учёт исторических факторов позволяет объяснять конкретное расположение объектов, причины переноса и объединения функций. Соответствующие разъяснения даны в [8]. Данный обзор функций начинается с Севера.

Северный сектор. В северном секторе Москвы стоит отметить спорткомплекс «Олимпийский» (спорт как фактор международной стабильности). В исторической части Санкт-Петербурга северный сектор занимает Петропавловская крепость (аспект сохранения: крепость никогда не участвовала в сражениях, это усыпальница царей; музей). В Минске Советский район (северный сектор) – район с многоэтажной серийной застройкой (спальные районы), в котором размещено объединение «Западтрансгаз» (крупные сетевые системы). На севере Самарской Луки расположена Жигулёвская ГЭС (освоение потенциалов природы, крупные сетевые системы).

С-В сектор. Очень важный сектор, в котором либо реализуются функции молитвенного сосредоточения, научного познания, либо оставляется пустое пространство (озеленение, ландшафт, парковочная площадка) [10]. В Москве, например, в С-В секторе находится национальный парк «Лосиный остров» (ландшафт), а С-В АО представлен: ВДНХ (функция научного познания, которая в силу нахождения округа в северном секторе города объединяется с аспектом сохранения, например, в музейном деле); самым знаковым объектом, скульптурной композицией В. Мухиной «Рабочий и колхозница» (памятники); «площадью трёх вокзалов» (транспортная функция). В Санкт-Петербурге в северо-восточном секторе расположены: Домик Петра I (памятники основателям); крейсер «Аврора» (импульс к Октябрьской революции как аспект первичности) и Финский вокзал (внешние транспортные объекты). В Минске в С-В секторе (Первомайский район) находятся учреждения Национальной академии наук Беларуси, Парк высоких технологий, Национальная библиотека и БГАТУ. Северо-восточнее Самарской Луки расположен аэропорт Курумоч (функция внешнего транспортного объекта).

Восточный сектор. Восточным положением характеризуются как Санкт-Петербург – самая крупная столица на Балтике, Москва – самая восточная столица Европы, так и Самара – столица региона, расположенного вокруг Самарской Луки (аспект столичности). В восточном секторе Москвы находились: охотничьи угодья царей (живописные ландшафты); Немецкая слобода на Яузе, аристократический центр Петровской Москвы (функция элитности); Триумфальные ворота, воздвигнутые в честь победы в Северной войне (почитание героев). В Минске в восточном секторе (Партизанский район) размещены: лесопарк Степянка и др. (рекреационные зоны), цирк, парк культуры и др. (зрелищные сооружения), жильё повышенной комфортности (элитность).

Ю-В сектор. Санкт-Петербург, Москва и Самара связаны отношением «Ю-В – С-З»: Ю-В регионы – более самобытны и самодостаточны; С-З регионы – динамичные, крупные военно-политические и технологические центры. В общем смысле символом процветания современного города становится транспортная функция. В Москве – это технополис «Москва» (бывший АЗЛК), в Минске (Заводской район) – МАЗ и др. (объекты автопрома). Ю-В сектор Санкт-Петербурга представлен: знаковой улицей – Невским проспектом (аспект процветания, включающий места для прогулок, покупок); Московским железнодорожным вокзалом (местные транспортные объекты). Самара расположена в юго-восточном секторе излучины Самарской Луки (аспект столичности /Восток/ дополняется аспектом процветания и транспортной функцией /Ю-В/), а на юго-восток от Самарской Луки находится г. Новокуйбышевск, центр нефтепереработки (производство ГСМ).

Южный сектор. Южный АО округ Москвы является первым по концентрации жилой застройки среди всех округов столицы (функция проживания). Особо может быть отмечен такой культурный объект, как Третьяковская галерея, находящаяся в Замоскворецком (южном) районе Центрального АО (повышение культурного уровня народа). В историческом центре Санкт-Петербурга – Зимний дворец с Эрмитажем (повышение культуры народа), Мариинский дворец, Законодательное Собрание (функция власти). В Минске в Ленинском районе (юго-Ю-В сектор) размещены объекты республиканской власти (резиденция президента, министерства, конституционный суд, исполком СНГ и др.) и культурно-просветительские учреждения.

Ю-З сектор. Юго-западнее Московского Кремля расположены храм Христа Спасителя и рабочая резиденция патриарха Московского и всея Руси. Юго-западный район Центрального АО Москвы – зона сосредоточения большого количества музеев, включая Государственный музей изобразительных искусств им. А.С. Пушкина. МГУ (крупные технологические объекты) находится в Ю-З секторе (функция образования). В историческом центре Санкт-Петербурга находятся тюрьма «Кресты» (утверждение государственности) и судовой (оборонные объекты). В Московском районе (Ю-З сектор) Минска плотность населения в 1,7 раза выше, чем в среднем по городу (перенос функции проживания из южного сектора, занятого госучреждениями), там же находятся крупные медицинские учреждения и университеты.

Западный сектор. В Москве Арбат – западный район Центрального АО, в котором находятся: министерства, Дом Правительства РФ, деловые комплексы Москва-Сити, Центр международной торговли (финансовые, коммерческие объекты). В Санкт-Петербурге западный сектор представлен зданием биржи и университетами (лучшие традиции в образовании).

С-3 сектор. В Санкт-Петербурге в С-3 секторе исторической части города размещены судоремонтные заводы и объекты спорта высоких достижений (преодоление ограничений). В Минске Центральный (северо-западный) район – это исторически первый район города.

2 Секторальные онтологические модели открытых общественных пространств мегаполиса

Анализ городских площадей и парков показал, что факторы, традиционные для архитектурного освоения территорий, такие как роза ветров, транспортная доступность, ландшафт местности, оказываются не столь значимыми. В окружающей застройке общественных пространств не бывает промышленных производств, могут встречаться только отдельные технологические объекты, которые не представляют угрозы для окружающей среды. Отечественные городские парки и площади чаще всего равнодоступны со всех сторон, если не ограничены исторической застройкой. Транспортная доступность при размещении объектов на их территории имеет второстепенное значение, а визуальная связь с основными функциональными элементами доминирует. Далее кратко рассматриваются общественные пространства на примере города Самары (рисунок 2).

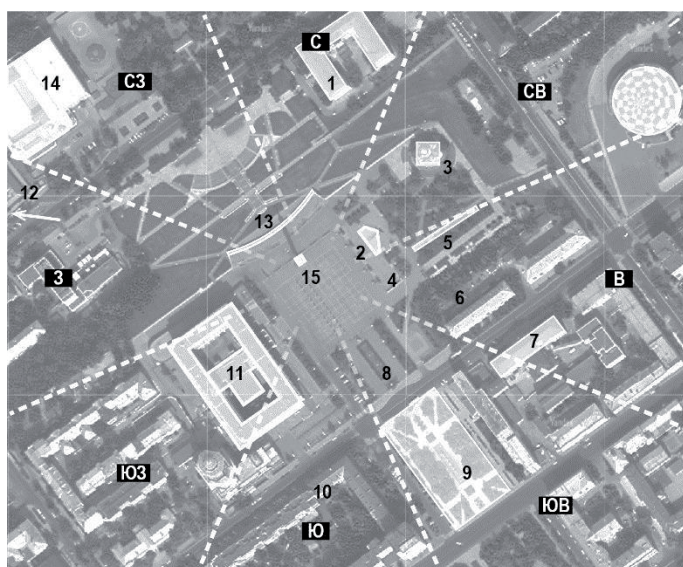
2.1 Городские площади

В архитектурных ансамблях городских площадей крупнейшего города достигается максимальная степень функционального насыщения. Задействуются как утилитарные, так и символические функции, которые обычно рассеиваются по достаточно большим пространственным объёмам и более не воспринимаются как части единого целого. В Самаре одна из центральных – площадь Славы, посвящённая памяти воинского подвига участников Великой Отечественной войны и трудовому подвигу жителей города и области. Площадь Куйбышева – парадная площадь Самары, место проведения всех массовых мероприятий. Её облик в значительной степени определяется окружающей застройкой. Комсомольская площадь Самары является привокальной. Реализуемые градостроительные функции – общие для уровня мегаполиса и для городской площади (см. их краткий перечень в таблице 1). Необходимые пояснения содержатся в [8]. Рассмотрение целесообразно начать также с северного сектора.

Северный сектор. В ансамбле площади Славы этот сектор выражен менее всего: береговой склон и далее гостиница «Волга» (аспект сохранения). В окружающей застройке площади Куйбышева из крупных объектов могут быть отмечены Иверский женский монастырь (аспект сохранения) и жилая застройка (спальные районы). В ансамбле Комсомольской площади Север представлен техническим памятником – паровозом «Лебедянка» (аспект сохранения) и зданием Управления КБЖД (функция управления крупными системами).

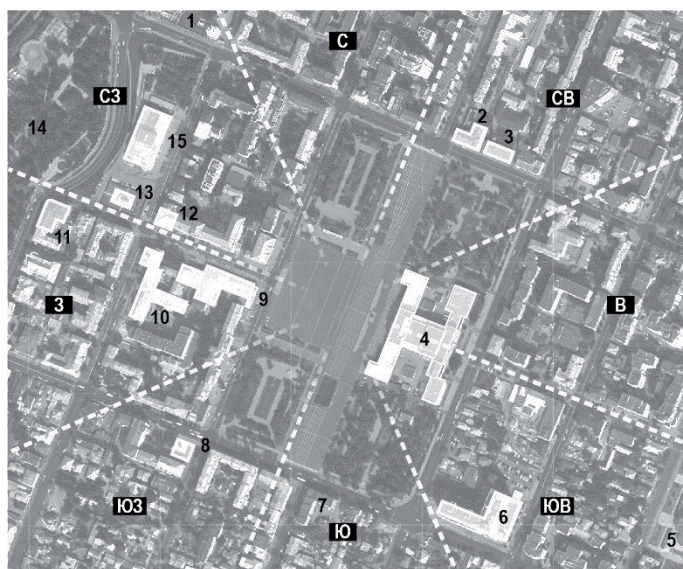
С-В сектор. Центр тяготения ансамбля площади Славы составляет мемориал Вечного огня (аспект первичности). Храм Св. Георгия – северо-восточнее Вечного огня (места сосредоточения), на удалении – памятник Г. Засекину (памятник основателю города). В С-В секторе площади Куйбышева находятся Управление Самарской епархией, Дом актёра (аспект первичности, т.к. раньше это была Соборная площадь, теперь на ней расположен Самарский академический театр оперы и балета имени Д.Д. Шостаковича) и здания университетов (функция научного познания). С-В сектор Комсомольской площади представлен правым крылом Управления КБЖД (функция транспортного объекта) и остановками общественного транспорта.

Восточный сектор. Восток в ансамбле площади Славы представлен Аллеей героев Советского Союза (почитание героев), и сквером (озеленение), а за пределами площади – Самарской губернской думой (функция власти). В восточном секторе площади Куйбышева размещён Самарский академический театр оперы и балета имени Д.Д. Шостаковича (зрелищные объекты). За пределами площади в восточном секторе расположен учебный корпус СамГТУ (образование как функция столичности). Восточнее Комсомольской площади находится торгово-развлекательный комплекс (ТРК) «Гудок» (объединение функций зрелищного объекта и сохранения).



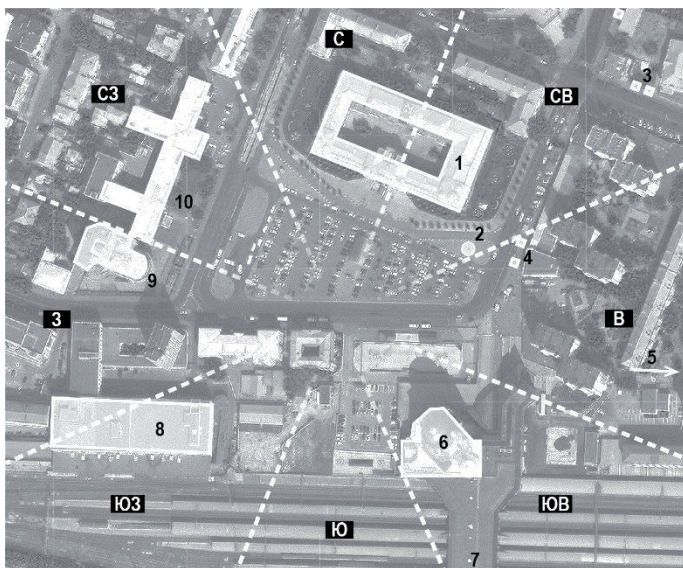
Площадь Славы

1. Гостиница Волга
2. Мемориал Вечного огня и горельеф Скорбящей Матери-Родине
3. Храм св. Георгия
4. Аллея героев Советского Союза
5. Аллея маршалов
6. Сквер
7. Самарская Губернская дума
8. Место для прогулок
9. Сквер 30-летия Победы
10. Жилой квартал
11. Правительство Самарской области
12. Самарская ГРЭС
13. Стена Славы
14. Бассейн ЦСК ВВС
15. Монумент Славы



Площадь Куйбышева

1. Иверский женский монастырь
2. Епархиальное управление
3. Дом актёра
4. Самарский академический театр оперы и балета имени Д.Д. Шостаковича
5. Музей имени П.В. Алабина
6. Отель «Лотте»
7. Жилой квартал
8. Памятник борцам за Советскую власть
9. Дом Офицеров Самарского гарнизона
10. Дом Красной армии
11. Военно-исторический музей
12. Бункер Сталина
13. Памятник Чапаеву
14. Струковский сад
15. Самарский академический театр драмы имени Горького



Комсомольская площадь

1. Управление Куйбышевской железной дороги (КБЖД)
2. Памятник Ю. Деточкину
3. Остановки общественного транспорта
4. Остановки общественного транспорта
5. ТРК «Гудок»
6. Железнодорожный вокзал
7. Пригородный железнодорожный вокзал
8. Магистральный сортировочный центр
9. Куйбышевская дирекция управления движением
10. Клиническая больница "РЖД-Медицина"

Рисунок 2 – Секторальные онтологические модели главных площадей Самары

Ю-В сектор. Юго-восточнее *площади Славы* находится аллея с цветами и фонтанами (аспект процветания). Юго-восточнее *площади Куйбышева* аспект процветания представлен в декоре пятизвездочного отеля «Лотте», фасады которого содержат элементы цветочного орнамента. Юго-восточнее *Комсомольской площади* находятся здание железнодорожного вокзала (транспортный объект).

Южный сектор. В окружающую застройку южного сектора *площади Славы* и *площади Куйбышева* входят жилые здания (функция проживания). В южном секторе *Комсомольской площади* расположены железнодорожные пути и платформы (продолжение функции Ю-В), за которыми находится жилой массив Запанской.

Ю-З сектор. Юго-западнее *площади Славы* – левое крыло здания областной администрации (аспект утверждения государственности). В Ю-З секторе *площади Куйбышева* расположены монумент борцам за Советскую власть и Дом радио (функция технологического центра). К числу технологических центров на *Комсомольской площади* относятся филиал Управления федеральной почтовой связи по Самарской области и Самарское отделение КБЖД.

Западный сектор. В западном секторе от *площади Славы* находится правое крыло здания областной администрации (функция власти) и далее расположен Жигулёвский пивзавод. На *площади Куйбышева* находится военный квартал, включающий Дом Офицеров Самарского гарнизона, Военно-исторический музей, здание штаба Приволжского военного округа, Дом Красной армии и бункер Сталина (демонстрация воинской доблести). К западному сектору примыкает Самарский государственный институт культуры (функция образования). В западном секторе *Комсомольской площади* расположен Самарский колледж железнодорожного транспорта.

С-З сектор. Монумент Славы на *площади Славы*, символ заслуг работников авиапромышленности Куйбышева, внёсших большой вклад в победу в Великой Отечественной войне (функция преодоления ограничений). Самарский драматический театр им. М. Горького на *площади Куйбышева* (функция консолидации). В С-З секторе *Комсомольской площади* размещена Дорожная клиническая больница (функция преодоления).

Изложенное позволяет сформулировать вывод, что в рассмотренных площадях обнаруживается устойчивая реализация градостроительных функций. Закрепление за каждым сектором четырёх-пяти функций обеспечивает гибкость применения секторального подхода.

2.2 Городские парки

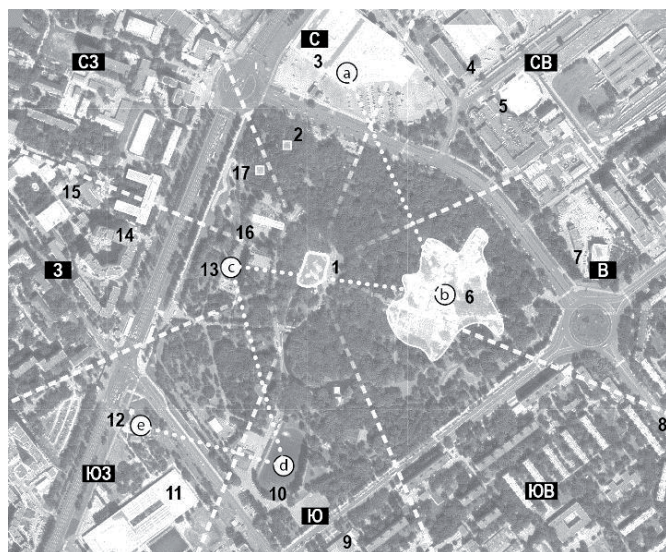
Предметом анализа секторального подхода к освоению пространства в застройке, окружающей парки, лесопарки и лесные массивы, являются те же градостроительные функции. В качестве примеров рассматриваются два городских парка Самары.

Север *лесопарка имени 60-летия Советской власти* представлен лесом (функция сохранения), а южная, являющаяся парковой, освоена человеком. Севернее Московского шоссе – спортивная арена «Солидарность», расположенная в северном секторе подобно спорткомплексу «Олимпийский» в Москве. С-В и Восток выражены в незначительной степени. ТЭЦ, транспортные объекты – в Ю-В секторе, жилая застройка – в южном и Ю-З; областной перинатальный центр – в западном, областная клиническая больница им. В.Д. Середавина – в С-З.

Особенность *парка им. Ю.А. Гагарина* (рисунок 3) – в функциональной определённости каждого участка. В его центре находится пруд. Колесо обозрения размещено в С-З секторе. В С-З и западном секторах расположены монументы жертвам Чернобыльской аварии и политических репрессий. Севернее парка размещён ТРК «Парк Хаус». Трамвайное и троллейбусное депо (транспортная функция) – в С-В секторе. На восток от центра парка расположены детские аттракционы (зрелищные объекты), а за пределами парка – соборная мечеть (объекты поклонения). Улица XXII Партсъезда проходит за пределами рисунка 3 по Ю-В сектору, символизирующему процветание (см. детали в [8]). Южнее парка им. Ю.А. Гагарина находится жилая застройка, Ю-З и западнее – ПГУТИ и Самарский колледж связи (функция образования) и ГТРК Самара (функция демонстрации).

В структуре парка им. Ю.А. Гагарина, включая прилегающую застройку, могут быть выделены пять функциональных центров, сопоставимых с пятью центрами эллинистического города, которые выстраиваются в виде латинской буквы «W». Между этими центрами устанавливаются пространственные отношения в соответствии со схемой 1 и таблицей 1: на север от детских аттракционов (зона а; функция сохранения) за границей парка расположен ТРК «Парк Хаус» (зона b; зрелищные объекты), восточнее – соборная мечеть (места поклонения); на западе от зоны аттракционов – бюст Ю. Гагарину (аспект демонстрации результатов) и детская площадка (зона c); южнее детской площадки – спортивная площадка (зона d; места поддержания здоровья); на запад от спортивной площадки находится ПГУТИ и православный храм (зона e; симметричное положение по отношению к Соборной мечети).

Структурирующее влияние на окружающую застройку общественного пространства, лишённого утилитарной нагрузки, выявленное при анализе городских парков Самары, близко к результатам, полученным при анализе городских площадей.



1. Пруд
2. Монумент жертвам политических репрессий
3. ТРК «Парк Хаус»
4. Троллейбусное депо
5. Трамвайное депо
6. Детские аттракционы
7. Соборная мечеть
8. Улица XXII Партсъезда
9. Жилая застройка
10. Спортивная площадка
11. ПГУТИ
12. Храм в честь Собора самарских святых
13. Детская площадка
14. Колледж связи
15. Гостелерадиокомпания «Самара»
16. Колесо обозрения
17. Монумент жертвам Чернобыльской аварии

а – торговая зона; б – культовая зона; с – административно-представительская зона;
d – спортивная зона; e – культурная зона

Рисунок 3 – Секторальная и зигзагообразная онтологические модели парка им. Ю.А. Гагарина

Закключение

Предложены принципы структурирования пространства для мегаполисов и построения на их основе онтологических моделей общественных пространств. На примере трёх городских площадей и двух парков города Самары рассмотрены секторальный и зигзагообразный способы размещения этапов самоорганизации. Обнаружена устойчивая реализация градостроительных функций для мегаполисов, городских площадей и парков.

Список источников

- [1] **Иовлев В.И.** Архитектурно-экологическая топология этнического пространства. Академический вестник УралНИИпроект РААСН. М., 2011. № 2. С.62–64.
- [2] СПЗС – Совет по «Зелёному» строительству» // НП «Содействие устойчивому развитию архитектуры и строительства. – <http://rsabc.ru/ru/sertifikatsiya/>.
- [3] **Ремизов А.Н.** Логика экоустойчивой архитектуры // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, №4 (22). С. 541–554. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-541-554.
- [4] **Форрестер Дж.** Динамика развития города / [пер. с англ. М.Г. Орловой, ред.: Ю.П. Иванчиков и др.]. М.: Прогресс, 1974. 285 с.
- [5] **Лазарев С.С.** Онтология точности и прогностичности // Вопросы философии. 2004. № 1. С.113–127.
- [6] **Волов В.Т., Китаев Д.Ф.** Синергетика как базовая методология гуманитариев XXI века. Самара: Самарск. научн. центр РАН, 2005. 276 с.
- [7] **Семека Е.С.** Антропоморфные и зооморфные символы в четырёх- и восьмигранных моделях мира // Труды по знаковым системам. Вып. V. Тарту: Тартуский гос. ун-т, 1971. С.92–119.
- [8] Универсальная топология процессов генезиса и самоорганизации: от числовых моделей бытия к секторальной модели освоения пространства / Д.В. Денисов, М.Ю. Журавлёв, Н.Ю. Медведева, Т.Д. Журавлева, Н.Б. Аверина, Д.С. Гарипов, Н.М. Латыпова, И.И. Малков, А.С. Хохрин. Самара: «Слово», 2022. 320 с. www.academia.edu/84193346.
- [9] **Денисов Д.В.** Общие макроалгоритмические закономерности развития текстовых структур: на стыке методологий Запада и Востока. Самара: СамГУПС, 2009. 238 с. <https://www.academia.edu/42111918>.
- [10] **Шастри К.** Ведическая архитектура Васту: Принципы строительства нашего идеального дома / пер. с англ. Ред. Федущак Т.А. 2-е изд., испр. М.: Философская Книга, 2014. 224 с.

- [11] *Sachdev V.* Paradigms for Design: the Vastu Vidya Codes of India // Urban Coding and Planning. Ed. by St. Marshall. London, New York: Routledge Taylor and Francis Group, 2011. P.83–100.
- [12] *Тюлина Е.В.* Храм, мир, текст: вастувидья в традиции пуран. М.: Вост. лит., 2010. 255 с.
- [13] Полная энциклопедия Фэн-шуй. М.: Изд-во ЭКСМО-Пресс, 2001. 386 с.
- [14] Первоначала как фактор организации и освоения пространства: генезис, число, топология, вероятность, классификация: монография / Д.В. Денисов, М.Ю. Журавлев, Н.Ю. Медведева, Е.К. Колесникова, Н.Б. Аверина, Д.С. Гарипов, Н.М. Латыпова. Самара: Изд-во СамГУПС; Книжное изд-во, 2016. 352 с. www.academia.edu/41895697.
- [15] Balkrishna Doshi Unveils The Details Of The Revitalisation Of Bhadra Fort – https://worldarchitecture.org/articles/cevzg/exclusive_balkrishna_doshi_unveils_the_details_of_the_revitalisation_of_bhadra_fort.html.
- [16] *Бергаланфи Л. фон.* Исследования по общей теории систем: Сборник переводов / Общ. ред. и вст. ст. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. С.23–82.
- [17] *Богданов А.А.* Тектология: всеобщая организационная наука. В 2-х т. М.: Экономика, 1989.
- [18] *Витрувий.* Десять книг об архитектуре / Пер. Ф.А. Петровского. Т.1. М.: Изд-во Всесоюзной Академии архитектуры. (Серия «Классики теории архитектуры»). 1936. 331 с.
- [19] Градорегулирование: Основы регулирования градостроительной деятельности в условиях становления рынка недвижимости / Э.К. Трутнев, Л.Е. Бандорин, Т.В. Гудзь, М.Д. Сафарова, К.В. Холопик, М.О. Якубов. М.: Фонд "Институт экономики города", 2008. 296 с.
- [20] *Латова Н.В.* Российская экономическая ментальность на мировом фоне // Общественные науки и современность. 2001. № 4. С. 31–43.
- [21] *Люсий А.А.* Глобальные ориентиры и региональные онтологии культуры (Северо-Юг: российский и мировой) // Философские науки. 2008. № 10. С. 75–85.
- [22] *Загряжская Т.Ю.* Антропология пространства (на франкоязычном материале) // Вестник Московского университета. Серия 19. Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2012. № 4. С. 9–28.
- [23] *Спиридонова В.И.* Российское пространство. Опыт нового знакомства // Философские науки. 2012. № 8. С. 19–30.

Сведения об авторах



Денисов Денис Викторович, 1968 г. рождения. Окончил Самарский государственный университет в 1994 г., кандидат культурологии. (2007). Доцент кафедры лингвистики СамГУПС. В списке 120 научных статей и 7 монографий в области лингвистики текста, санскритско-славянской этимологии, онтологического моделирования, топологии процессов самоорганизации. Author ID (РИНЦ): 679138; Researcher ID (WoS): HNS-6065-2023; ORCID: 0000-0002-5855-1695. denisansk@gmail.com. ✉

Журавлев Михаил Юрьевич, 1984 г. рождения. Окончил Самарский государственный архитектурно-строительный университет (СГАСУ) в 2008 году, кандидат архитектуры (2017). Доцент кафедры архитектуры СамГТУ. Автор и соавтор около 40 научных статей. Author ID (РИНЦ): 649224; Author ID (Scopus): 57210662216; Researcher ID (WoS): O-3999-2016; ORCID: 0000-0002-5820-2196. mihail_zhuravlev@inbox.ru.



Медведева Наталия Юрьевна, 1985 г. рождения. Окончила СГАСУ в 2009 г., член Союза архитекторов России (2021). Старший преподаватель кафедры архитектурно-строительной графики и изобразительного искусства СамГТУ. Автор и соавтор 22 научных статей. ORCID: 0000-0003-2385-9689 Author ID (РИНЦ): 768149; nataliya.medvedeva85@gmail.com.



Журавлева Татьяна Дмитриевна, 1994 г. рождения. Окончила СамГТУ в 2019 г. Аспирант кафедры архитектуры СамГТУ. Автор и соавтор около 10 научных статей. ORCID: 0000-0002-4467-4969; Author ID (РИНЦ): 1013517; Author ID (Scopus): 5721690912; Researcher ID (WoS): AAM-2349-2021. tdmzhuravleva@gmail.com.



Поступила в редакцию 04.05.2023, после рецензирования 11.08.2023. Принята к публикации 17.08.2023.



Ontological models of the development of urban areas from the standpoint of applied cultural studies

© 2023, D.V. Denisov¹✉, M.Y. Zhuravlev², N.Y. Medvedeva², T.D. Zhuravleva²

¹ Samara State Transport University, Samara, Russia

² Samara State Technical University, Samara, Russia

Abstract

The object of research is the universal processes of space development in urban planning. An ontological model of space development is proposed, applicable to the zoning of megacities and public spaces, allowing its sectoral and zigzag representation. Territorial planning is defined as the formalization of the genesis and self-organization processes. The formalization includes eight stages of the self-organization process, absolute and relative spatial interpretation of each stage, and a set of urban planning functions for each stage. This approach can be used to examine the zoning of public spaces both as part of the designed public space and in the surrounding buildings. In the sectoral ontological model, the development of space is presented as a process of genesis, directed from the general to the particular and having an absolute or relative orientation to the cardinal points. In the zigzag ontological model, a relative spatial orientation is established between adjacent objects. The novelty of the study lies in the establishment of common principles for structuring space for megacities and their public spaces.

Key words: functional zoning, ontological model, self-organization, genesis, open public spaces, territory development.

For citation: Denisov DV, Zhuravlev MY, Medvedeva NY, Zhuravleva TD. Ontological models of the development of urban areas from the standpoint of applied cultural studies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 380-391. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-380-391.

Acknowledgment: We express our gratitude to the members of the Editorial Board who made comments and recommendations for improving this manual.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - Sectoral ontological model of the public spaces in a big city

Figure 2 - Sectoral ontological models of the main squares in Samara

Figure 3 - Sectoral and zigzag ontological models of Gagarin Park (Samara)

Table 1 - Urban planning functions of the public spaces in a big city (example)

References

- [1] **Iovlev VI.** Architectural and ecological topology of the ethnic space [In Russian]. Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN. Moscow, 2011, Vol. 2: 62–64.
- [2] SPZS – «Green Building» Council // NP "Promotion of sustainable development of architecture and construction" <http://rsabc.ru/ru/sertifikatsiya/>.
- [3] **Remizov AN.** Logic of sustainable architecture [In Russian]. *Ontology of designing*, 2016; 6(4): 41–554. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-541-554.
- [4] **Forrester J.** Dynamics of city development [In Russian]. Ed. by Yu.P.Ivanilov, A.P.Ivanov, R.E.Oganov ; transl. from English by M.G. Orlova. Moscow, Progress Press, 1974. 285 p.
- [5] **Lazarev SS.** Ontology of accuracy and predictability [In Russian]. *Voprosy filosofii*. 2004; 1: 113–127.
- [6] **Volov VT, Kitaev DF.** Synergistics as the basic methodology of the humanitarians of the XXI century [In Russian]. Samara, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2005. 276 p.
- [7] **Semeka ES.** Anthropomorphic and zoomorphic symbols in four- and eight-term models of the world [In Russian]. *Trudy po znakovym sistemam*. Tartu: Tartu Univ. Press, 1971; 2: 92–119.

- [8] **Denisov DV, Zhuravlev MY, Medvedeva NY, Zhuravleva TD, Averina NB, Garipov DS, Latypova NM, Malkov II, Khokhrin AS.** Universal topology of the genesis and self-organization processes: from numerical models of being to a sectoral model of space development [In Russian]. Samara, Slovo Publ., 2022. 320 p.
- [9] **Denisov DV.** General macro-algorithmic regularities in the development of text structures: at the intersection of the methodologies of the West and the East [In Russian]. Samara, SSTU Press, 2009. 238 p.
- [10] **Shastri K.** Vedic architecture of Vastu: Principles of building our ideal home [In Russian]. Moscow, 2014. 224 p.
- [11] **Sachdev V.** Paradigms for Design: the Vastu Vidya Codes of India // Urban Coding and Planning. Ed. by St. Marshall. London, New York: Routledge Taylor and Francis Group, 2011: 83–100.
- [12] **Tyulina EV.** Temple, world, text: Vastu Vidya in the tradition of the Puranas [In Russian]. Moscow East literature Press, 2010. 255 p.
- [13] The complete Feng Shui Encyclopedia [In Russian]. Moscow, EKSMO-Press, 2001. 386 p.
- [14] **Denisov DV, Zhuravlev MY, Medvedeva NY, Kolesnikova EK, Averina NB, Garipov DS, Latypova NM.** Origins as a factor in the organization and development of space: genesis, number, topology, probability, classification [In Russian]. Samara, SSTU Press; Book Publ., 2016. 352 p.
- [15] **Balkrishna D.** Unveils the details of the revitalisation of Bhadra Fort – https://worldarchitecture.org/articles/cevzg/exclusive_balkrishna_doshi_unveils_the_details_of_the_revitalisation_of_bhadra_fort.html.
- [16] **Bertalanffy L. von.** Studies in General Systems Theory: Collection of Translations [In Russian] / General. ed. and introd. by V.N. Sadovsky and E.G. Yudin. Moscow: Progress Publ. house, 1969. pp. 23–82.
- [17] **Bogdanov AA.** Tectology: a general organizational science [In Russian]. In 2 Vol. Moscow: Economics Publ. house, 1989.
- [18] **Vitruvius.** The ten books on architecture [In Russian]. Transl. by F.A. Petrovskij. Vol. 1. Moscow, All-Union Academy of Architecture Publ. house. 1936. 331 p.
- [19] Urban regulation: Fundamentals of regulation of urban development in the context of the formation of the real estate market [In Russian]. Moscow: "Institute of Urban Economics" Foundation, 2008. 296 p.
- [20] **Latova NV.** Russian economic mentality against the global background [In Russian]. Obshchestvennyye nauki i sovremennost', 2001; 4: 31–43.
- [21] **Lyusyj AA.** Global Landmarks and Regional Ontologies of Culture (North-South: Russian and Global) [In Russian]. Filosofskie nauki, 2008; 10: 75–85.
- [22] **Zagryazkina TY.** Anthropology of space (based on French material) [In Russian]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 19. Lingvistika i mezhkul'turnaya kommunikaciya. 2012; 4: 9–28.
- [23] **Spiridonova VI.** Russian space. New acquaintance experience [In Russian]. Filosofskie nauki, 2012; 8: 19–30.

About the authors

Denis Victorovich Denisov (b. 1968) graduated from the Samara State University in 1994, PhD in Culture Studies (2003). He is an associate professor at the Samara State Transport University (Department of linguistics). He is a co-author of about 120 scientific articles and 7 monographs in the field of text linguistics, Sanskrit-Slavic etymology, ontological modeling, and the topology of self-organization processes. Author ID (РИНЦ): 679138; Author ID (Scopus): 57216910025; Researcher ID (WoS): HNS-6065-2023; ORCID: 0000-0002-5855-1695. denisansk@gmail.com. ✉

Mikhail Yuryevich Zhuravlev (b. 1984) graduated from the Samara State University of Architecture, Building and Civil Engineering in 2008, PhD in Architecture (2017). He is an associate professor at the Samara State Technical University (Department of Architecture). He is a co-author of about 40 scientific articles and abstracts. Author ID (RSCI): 649224; Author ID (Scopus): 57210662216; Researcher ID (WoS): O-3999-2016; ORCID: 0000-0002-5820-2196. mihail_zhuravlev@inbox.ru.

Natalia Yuryevna Medvedeva (b. 1985) graduated from the Samara State University of Architecture, Building and Civil Engineering in 2009. She is a member of the Union of Architects of Russia (2021). She is a senior lecturer at the Samara State Technical University (Department of Architecture-building Graphics and Fine Art) and a co-author of 22 scientific works. ORCID: 0000-0003-2385-9689 Author ID (RINC): 768149; nataliya.medvedeva85@gmail.com.

Tatyana Dmitrievna Zhuravleva (b. 1994) graduated from the Samara State Technical University in 2019. She is a postgraduate student of the Department of Architecture of the Samara State Technical University. She is the author and a co-author of about 10 scientific articles. ORCID: 0000-0002-4467-4969; Author ID (RSCI): 1013517; Author ID (Scopus): 5721690912; Researcher ID (WoS): AAM-2349-2021. tdmzhuravleva@gmail.com.

Received May 4, 2023. Revised August 11, 2023. Accepted August 17, 2023.

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.89, 004.832

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-392-404



Поиск зависимостей в данных на основе методов удовлетворения табличных ограничений

© 2023, А.А. Зуенко ✉, О.Н. Зуенко

Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова,
ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

Аннотация

Работа посвящена поиску в данных особого типа закономерностей, называемых частыми паттернами. Под частым паттерном понимается некоторая совокупность признаков, которая характеризует большое количество объектов обучающей выборки. Существующие методы выявления паттернов, как правило, не позволяют гибко учитывать необходимые требования к их виду. Изменение условий, которым должны удовлетворять искомые закономерности, приводит к трудоёмкой модификации используемых алгоритмов и снижению производительности вычислений. В статье предлагается подход на основе парадигмы программирования в ограничениях, свободный от перечисленных недостатков. Подход основан на оригинальном способе представления обучающей выборки с помощью специализированных табличных ограничений – сжатых таблиц *D*-типа, на авторском методе поиска с возвратами, а также на специализированных правилах редукции для табличных ограничений. Особое внимание уделяется решению задачи поиска замкнутых паттернов, которая входит как часть в решение рассматриваемых в работе задач машинного обучения и включает учёт дополнительных требований к виду искомым паттернов. В качестве дополнительных требований к виду паттерна рассматриваются ограничения на частоту встречаемости замкнутого паттерна, а также условия на вхождение некоторого элемента (признака) в паттерн. К основным правилам редукции сжатых таблиц *D*-типа добавляются правила, учитывающие особенности анализируемых паттернов. Преимуществом подхода является то, что учёт и анализ новых ограничений позволяет на ранних стадиях процесса поиска исключать из рассмотрения заведомо неперспективные кандидаты в паттерны, что способствует сокращению количества этапов вычислений (узлов дерева поиска) и позволяет снизить расход оперативной памяти, требуемой для реализации этих этапов.

Ключевые слова: программирование в ограничениях, извлечение паттернов, правила редукции, машинное обучение, табличные ограничения.

Цитирование: Зуенко А.А., Зуенко О.Н. Поиск зависимостей в данных на основе методов удовлетворения табличных ограничений // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №3(49). С.392-404. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-392-404.

Благодарности: работа выполнена в рамках НИР «Разработка теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур Арктической зоны Российской Федерации» (регистрационный номер 122022800547-3).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В статье для решения задач машинного обучения (МО), связанных с извлечением паттернов, предлагается новый подход на основе парадигмы программирования в ограничениях. Данную парадигму предлагается применять для генерации кандидатов в искомые паттерны.

Любой метод удовлетворения ограничений содержит две обязательные компоненты: одна из них реализует рассуждения на ограничениях, а другая служит для разбиения пространства поиска на меньшие подпространства для их дальнейшего исследования [1]. Рассуждения на ограничениях носят дедуктивный характер и сводятся к последовательному усечению исходных областей определения переменных путём исключения из них «лишних» значений, т.е. значений, которые не способны образовывать ни одного решения.

Статья посвящена разработке авторских методов поиска в данных особого типа закономерностей (причинно-следственных отношений), называемых частыми паттернами. Под частым паттерном понимается совокупность признаков, которая характеризует большое количество объектов обучающей выборки. Существующие методы выявления паттернов не позволяют гибко учитывать дополнительные требования к их виду [2]. Учёт новых условий, которым должны удовлетворять искомые закономерности, приводит к трудоёмкой модификации ранее используемых алгоритмов. Анализ подобных дополнительных условий влечёт снижение производительности вычислений.

В отличие от исследований, посвящённых использованию технологии программирования в ограничениях для выявления зависимостей в данных [3–6], предлагаемый подход основан на оригинальном способе представления обучающей выборки с помощью специализированных табличных ограничений – сжатых таблиц D -типа [7], а не на основе представления в виде объектно-признаковой таблицы (бинарной матрицы). Особое внимание уделяется решению задачи поиска замкнутых паттернов, которые являются своеобразным базисом в пространстве рассматриваемых закономерностей. Решение задачи поиска замкнутых паттернов входит как часть в решение рассматриваемых в работе задач МО, включающих учёт и анализ дополнительных требований к виду искомым паттернов. В качестве дополнительных требований к виду паттерна рассмотрены ограничения на частоту встречаемости замкнутого паттерна, а также условия на вхождение некоторого элемента (признака) в паттерн. В работе применяется авторский метод поиска с возвратами, а также специализированные правила редукции для табличных ограничений. Предлагаемый подход позволяет легко адаптироваться к дополнительным требованиям, накладываемым на паттерны. Для этого к основным правилам редукции сжатых таблиц D -типа, используемым при поиске замкнутых паттернов, добавляются новые правила, учитывающие интересующие особенности анализируемых закономерностей.

1 Задача удовлетворения табличных ограничений

При использовании парадигмы программирования в ограничениях решаемая задача представляется, как задача удовлетворения ограничений [8]. Задача удовлетворения ограничений заключается в поиске решений для сети ограничений [9]. Сеть ограничений задаётся тремя компонентами $\langle X, D, C \rangle$: X – множество переменных $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, D – множество доменов переменных $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, C – множество ограничений $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, которые регламентируют допустимые сочетания значений переменных. Каждый домен D_i описывает множество допустимых значений $\{v_1, \dots, v_k\}$ для переменной X_i .

В работе [7] выполнен обзор табличных ограничений, к которым, в частности, относятся сжатые таблицы (компактные таблицы) и смарт-таблицы [10–13].

В настоящей статье используются два типа табличных ограничений для компактного представления многоместных отношений. Первый тип – это сжатые таблицы C -типа, а второй тип – это сжатые таблицы D -типа.

Пример 1. Пусть дано отношение в виде бинарной матрицы (см. таблицу 1). В рамках МО данная бинарная матрица может рассматриваться как обучающая выборка. Строки мат-

рицы соответствуют объектам, а столбцы – атрибутам. Можно предположить, например, что объекты – это какие-то транзакции покупок, а атрибуты – определённые товары.

Данная бинарная матрица может быть записана как сжатая таблица *C*-типа:

$$R[XY] = \begin{bmatrix} \{1, 2, 3\} & \{a\} \\ \{1, 2, 4\} & \{b\} \\ \{2, 4, 5\} & \{c\} \\ \{2, 3\} & \{d\} \end{bmatrix}.$$

Домен переменной *X* – это множество объектов {1, 2, 3, 4, 5}, домен переменной *Y* – это множество атрибутов {*a*, *b*, *c*, *d*}. Каждый кортеж данной сжатой таблицы *C*-типа компактно описывает множество ячеек бинарной матрицы, где стоят единицы (т.е. определённое множество элементарных кортежей). Например, первый кортеж компактно описывает множество ячеек первого столбца бинарной матрицы: (1, *a*), (2, *a*), (3, *a*). Вся таблица *C*-типа интерпретируется как объединение множеств элементарных кортежей, описываемых её отдельными строками. Обучающая выборка также может быть представлена в виде сжатой таблицы *D*-типа:

$$K[XY] = \begin{bmatrix} \{1, 2, 3\} & \{b, c, d\} \\ \{1, 2, 4\} & \{a, c, d\} \\ \{2, 4, 5\} & \{a, b, d\} \\ \{2, 3\} & \{a, b, c\} \end{bmatrix}.$$

Данный тип табличных ограничений заключён в обратные скобки.

Каждая строка таблицы $K[XY]$ соответствует столбцу исходной бинарной матрицы. Например, первая строка $K[XY]$ соответствует первому столбцу бинарной матрицы и компактно описывает следующее логическое выражение:

$$(Y \in \{a\}) \rightarrow (X \in \{1, 2, 3\}).$$

Эта формула после замены операции импликации может быть записана следующим образом:

$$(Y \notin \{a\}) \vee (X \in \{1, 2, 3\}).$$

Последнее выражение эквивалентно следующей записи:

$$(Y \in \{b, c, d\}) \vee (X \in \{1, 2, 3\}).$$

Сжатая таблица *D*-типа целиком компактно описывает множество истинности конъюнкции импликаций, соответствующих каждой её строке.

При определении рассматриваемых табличных ограничений могут использоваться два типа фиктивных компонент: пустая компонента (“ $\emptyset$ ”), которая не содержит значений, и полная компонента (“*”), которая содержит все значения из соответствующего домена.

Стоит отметить, что исходное отношение (бинарная матрица) может быть представлено в виде сжатых таблиц *C*- и *D*-типа не единственным способом. Например, каждый кортеж сжатой таблицы может отображаться не в столбец, а в строку исходной бинарной матрицы.

Как и к обычным таблицам, к сжатым таблицам также можно применять операции реляционной алгебры. Эти операции проводятся с использованием специализированных теорем без разложения сжатых таблиц на обычные таблицы [14].

Таблица 1 – Пример бинарной матрицы

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
1	1	1		
2	1	1	1	1
3	1			1
4		1	1	
5			1	

2 Постановки задачи выявления замкнутых паттернов

Задача поиска замкнутых паттернов состоит в том, чтобы на основе исходного представления обучающей выборки в виде бинарной матрицы (объектно-признаковой таблицы), найти все замкнутые паттерны.

Пусть $I = \{1, \dots, n\}$ – множество идентификаторов элементов или атрибутов, а $T = \{1, \dots, m\}$ – множество идентификаторов транзакций или объектов. Паттерн p (элементный набор) – это любое подмножество множества I . Транзакционная база данных – это множество $D \subseteq I \times T$. Множество элементов, соответствующих транзакции t , обозначается $D[t] = \{i \mid (i, t) \in D\}$. Транзакция t содержит паттерн p тогда и только тогда, когда множество $D[t]$ содержит p (т.е. $p \subseteq D[t]$). Покрытие паттерна p , обозначается $T_D(p)$, – это множество транзакций, содержащих p (т.е. $T_D(p) = \{t \in T \mid p \subseteq D[t]\}$). Пусть дано подмножество транзакций $S \subseteq T$, тогда $I_D(S) = \bigcap_{t \in S} D[t]$ описывает множество общих элементов S . Замыкание паттерна p в D , обозначается $Close(p) = I_D(T_D(p))$, – это множество общих элементов его покрытия $T_D(p)$. Паттерн p является замкнутым тогда и только тогда, когда $Close(p) = p$.

Для решения задач, связанных с выявлением паттернов, используются различные алгоритмы, например алгоритм *Apriori* [15]. Выявление замкнутых паттернов — операция, требующая много вычислительных ресурсов и времени, особенно если кроме свойства замкнутости паттерна приходится анализировать дополнительные требования к виду искомым закономерностей. Наиболее популярным требованием к виду паттерна является ограничение на частоту его встречаемости в обучающей выборке.

Абсолютная частота паттерна (абсолютная поддержка паттерна) p – это мощность его покрытия, т.е. $freq_D(p) = |T_D(p)|$. Пусть дана константа $\theta \in N$, называемая минимальной абсолютной поддержкой паттерна (порогом абсолютной поддержки паттерна), тогда паттерн p является частым, если $freq_D(p) \geq \theta$. Задача нахождения частых замкнутых паттернов заключается в нахождении всех паттернов p , таких что $freq_D(p) \geq \theta$ и $Close(p) = p$. Большинство алгоритмов, в том числе модификации алгоритма *Apriori*, используют при поиске паттернов с ограничением на частоту встречаемости свойство антимонотонности: с ростом мощности множества элементов паттерна его покрытие уменьшается либо остаётся тем же. Из данной формулировки следует, что любое k -элементное множество будет часто встречающимся тогда и только тогда, когда все его $(k-1)$ -элементные подмножества будут часто встречающимися.

Могут быть сформулированы и другие дополнительные ограничения на вид искомого паттерна, которые можно классифицировать следующим образом:

- ограничения на наличие/отсутствие элемента в паттерне;
- ограничения на подпаттерн и суперпаттерн;
- ограничения на количество элементов в паттерне;
- агрегатные ограничения, представляющее собой количественные ограничения на совокупности элементов в паттерне, где агрегатной функцией может быть сумма, среднее значение, максимум, минимум и т.д.

Например, если в качестве элементов транзакций выступают покупки в некотором магазине, то в качестве агрегатного ограничения может рассматриваться сумма счёта (по чеку), превышающая какую-либо сумму (например, 2000 рублей).

Для демонстрации возможностей предлагаемого подхода в работе рассматривается два типа дополнительных ограничений: ограничения на наличие/отсутствие элемента в паттерне и ограничения на частоту встречаемости паттерна в обучающей выборке.

3 Метод решения задачи выявления замкнутых паттернов

Разработанный метод состоит из двух этапов: на первом этапе генерируются кандидаты в замкнутые паттерны, на втором выполняется проверка, удовлетворяют ли кандидаты требованиям к замкнутым паттернам. В терминах табличных ограничений (см. раздел 1) обучающая выборка представляется как сжатая таблица D -типа, а каждый кандидат в замкнутые паттерны и искомый паттерн представляется, как сжатая таблица C -типа $[A, B]$, которая состоит из одной строки, где $A \subseteq T, B \subseteq I$. B – это собственно паттерн, а A – его покрытие.

В примере 1 показано, как кортеж сжатой таблицы D -типа может быть соотнесён с каждым столбцом исходной бинарной матрицы, которая моделирует обучающую выборку. Для этого примера задача нахождения замкнутых паттернов может быть интерпретирована как нахождение значимых комбинаций одновременно приобретаемых товаров. Замкнутые паттерны обеспечивают минимальное представление всех паттернов, т.е. можно получить все паттерны из замкнутых.

Схему вычислений, проводимых в рамках предложенного метода нахождения замкнутых паттернов, можно представить в следующем виде.

Первый этап. На этом этапе важно исключить как можно больше явно неперспективных случаев. Для этого необходимо: 1) представить обучающую выборку в виде сжатой таблицы D -типа; 2) преобразовать сжатую таблицу D -типа в эквивалентную сжатую таблицу C -типа с помощью методов ветвления и отсечения неперспективных ветвей дерева поиска. Каждый из полученных кортежей является кандидатом в паттерны.

Разработанный метод нахождения замкнутых паттернов включает систематическое исследование пространства поиска и построение дерева поиска следующим образом. Каждый уровень дерева поиска отображается в одну из строк сжатой таблицы D -типа, а узел отображается в определённую компоненту этой строки. Каждое решение задачи удовлетворения ограничений формируется путём выбора одной компоненты из каждой строки сжатой таблицы D -типа. Фрагмент дерева поиска для примера 1, построенного на основе сжатой таблицы $K[XY]$, показан на рисунке 1.

Второй этап. Для каждого кандидата в замкнутые паттерны, описанного сжатым кортежем $[A, B]$, выполняется следующая проверка.

- 1) для объектов A вычисляется $I_D(A)$. Это вычисление выполняется путём перемножения булевых векторов, соответствующих объектам из множества A .
- 2) $I_D(A)$ сравнивается с множеством B , в случае несовпадения – вывод отрицательный. Иначе проверка прошла успешно.

На рисунке 1 серым фоном обозначены кандидаты в паттерны, не прошедшие проверку.

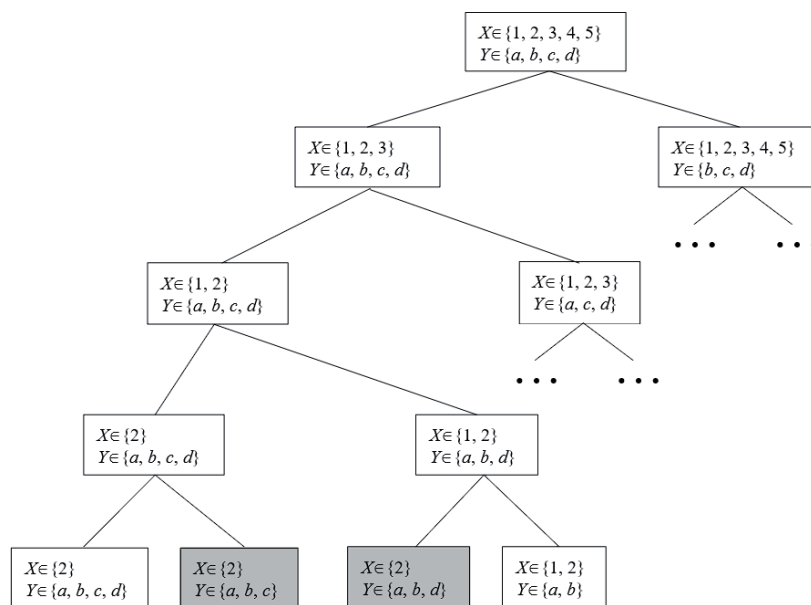


Рисунок 1 – Фрагмент дерева поиска для задачи нахождения замкнутых паттернов

Все замкнутые паттерны, найденные в примере 1 и прошедшие проверку, - это сжатые кортежи, которые можно объединить в одну сжатую таблицу *C*-типа:

$$\begin{bmatrix} \{1,2,3\} & \{a\} \\ \{1,2,4\} & \{b\} \\ \{2,4,5\} & \{c\} \\ \{1,2\} & \{a,b\} \\ \{2,4\} & \{b,c\} \\ \{2,3\} & \{a,d\} \\ \{2\} & \{a,b,c,d\} \end{bmatrix}.$$

Общая алгоритмическая сложность двух стадий предложенного метода может быть вычислена как: $O((|T||I|+2*|I|+2*|T|-\min(|T|,|I|))*2^{\min(|T|,|I|)})$. Более подробно описанные этапы изложены в [16].

Ускорение базового метода поиска. Известны три способа ускорения базового метода поиска: 1) использование отношений частичного порядка на множестве объектов и признаков; 2) сужение пространства поиска за счёт распространения ограничений; 3) использование дополнительных ограничений. Первый способ разобран в [16]. В данной работе рассматриваются 2-й и 3-й способы.

В статье реализуется идея, согласно которой распространение ограничений проводится на каждом шаге процедуры поиска с возвратами.

Утверждение 1 (Y1). Если в сжатой таблице *D*-типа имеется пустой столбец (столбец, содержащий все пустые компоненты), то этот столбец удаляется из таблицы.

Утверждение 2 (Y2). Если в сжатой таблице *D*-типа имеется пустая строка (строка, содержащая все пустые компоненты), то таблица пуста (задача удовлетворения ограничений не имеет решения).

Утверждение 3 (Y3). Если в сжатой таблице *D*-типа имеется строка, содержащая только одну непустую компоненту, то элементы, не принадлежащие этой компоненте, удаляются из соответствующего домена.

Утверждение 4 (Y4). Если в сжатой таблице *D*-типа имеется строка, содержащая хотя бы одну полную компоненту, то эта строка удаляется из сжатой таблицы *D*-типа.

Утверждение 5 (Y5). Если компонента сжатой таблицы *D*-типа содержит элемент, не принадлежащий соответствующему домену, то этот элемент удаляется из компоненты.

Пример 2. Пусть имеется обучающая выборка (таблица 2). Эта бинарная матрица моделируется следующей сжатой таблицей *D*-типа:

Таблица 2 – Пример применения правил редукции

$$\begin{matrix} & X & Y \\ 1 & \{1,2,3,4\} & \{a,b,c,d\} \\ 2 & \{1,2\} & \{b,c,d\} \\ 3 & \{1,2\} & \{a,c,d\} \\ 4 & \{3,4\} & \{a,b,d\} \\ 5 & \{3,4\} & \{a,b,c\} \end{matrix}.$$

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
1	1	1		
2	1	1		
3			1	1
4			1	1

Здесь в заголовках столбцов перечислены имена соответствующих переменных и доменов этих переменных.

Пусть на первом шаге поиска выбрана первая компонента первой строки (компонента {1, 2}), т.е. домен переменной *X* равен множеству {1, 2}. Тогда согласно утверждению **Y4**,

первая и вторая строки удаляются из сжатой таблицы. Первые компоненты третьей и четвёртой строк становятся равны пустому множеству на основании утверждения **У5**. Тогда:

$$\begin{array}{cc} X & Y \\ \{1,2\} & \{a,b,c\} \\ 3 \left] \emptyset \right. & \{a,b,d\} \left[\\ 4 \left] \emptyset \right. & \{a,b,c\} \left[\end{array}$$

Согласно утверждению **У3**, домен переменной Y сокращается до множества $\{a, b\}$, а оставшиеся строки удаляются на основании **У4**. Таким образом, все строки удаляются без формирования пустых строк, что означает нахождение решения. Получившееся решение описывается следующим сжатым кортежем в пространстве X, Y : $[\{1,2\}, \{a, b\}]$. Это решение является одним из замкнутых паттернов.

4 Ограничения на частоту встречаемости замкнутых паттернов

При нахождении частых паттернов сжатые таблицы сокращаются более активно по сравнению с нахождением просто замкнутых паттернов. Это происходит вследствие того, что к базовым правилам редукции **У1-У5** добавляются два дополнительных правила.

Утверждение 6 (У6). Компоненты сжатой таблицы D -типа, соответствующие переменной X и имеющие мощность меньше определённой границы θ , заменяются пустыми компонентами.

Утверждение 7 (У7). Если мощность домена переменной X меньше определённой границы θ , то задача удовлетворения ограничений не имеет решения.

Пример дерева поиска для задачи нахождения частых замкнутых паттернов показан на рисунке 2.

Условия задачи формулируются на основе исходных данных из примера 1, но налагается дополнительное ограничение $\theta = 2$ на частоту встречаемости паттерна. Во время вывода используются приведённые правила редукции. Данное дерево содержит существенно меньше узлов, нежели дерево на рисунке 1, которое не удаётся полностью поместить на рисунок.

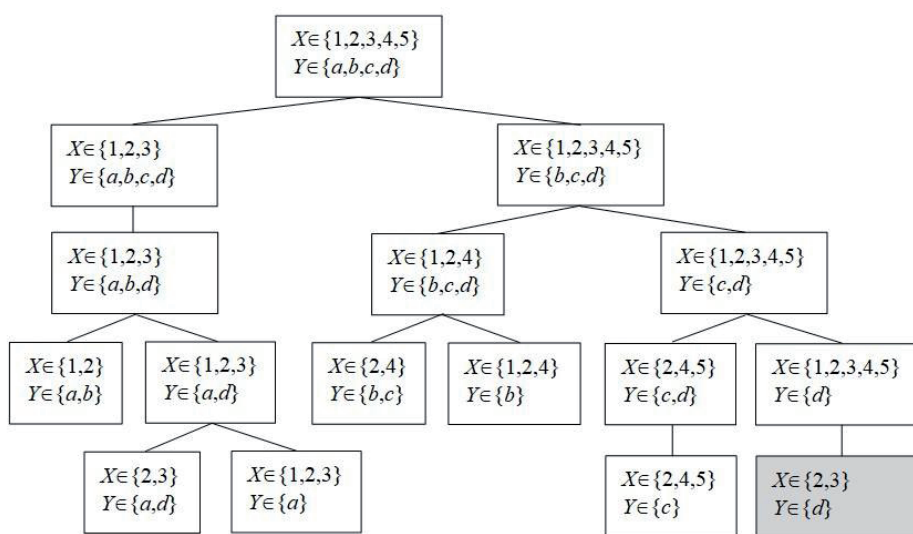


Рисунок 2 – Пример дерева поиска для задачи нахождения частых замкнутых паттернов

5 Ограничения на наличие/отсутствие элемента в замкнутом паттерне

5.1 Ограничение на наличие элемента в паттерне

Требуется найти все паттерны, содержащие некоторый заданный элемент y из домена переменной Y , т.е. требуется найти такие p , что $y \in p, y \in I$.

Пусть обучающая выборка представлена с помощью сжатой таблицы D -типа. В этом случае в процессе вывода, помимо базовых утверждений **У1-У5**, применяются следующие утверждения.

Утверждение 8 (У8). В кортеже, где в компоненте Y отсутствует значение y , которое должно содержаться в искомым паттернах, данная компонента заменяется на пустую.

Утверждение 9 (У9). Если в домене атрибута Y отсутствует значение y , которое должно содержаться в искомым паттерне, то задача удовлетворения ограничений не имеет решения.

Пусть в качестве обучающей выборки выступает бинарная матрица из примера 1, представленная в виде сжатой таблицы D -типа $K[XY]$. Необходимо, чтобы искомым паттерны содержали элемент “ c ”. При этом ограничение на частоту встречаемости искомым паттернов имеет вид $freq_D(p) \geq 2$.

Третий кортеж исходной сжатой таблицы D -типа $K[XY]$ отличается от других кортежей таблицы тем, что его компонента Y не содержит значения “ c ”. Эту компоненту следует заменить на пустую, поскольку при генерации искомым паттернов данная компонента никогда не может быть выбрана, а следовательно всегда выбирается компонента X рассматриваемого кортежа. Тогда текущие домены переменных станут: $X \in \{2, 4, 5\}$, $Y \in \{a, b, c, d\}$, а исходная таблица $K[XY]$ с учётом новых доменов преобразуется на основе утверждений **У1-У5** к следующему виду:

$$\begin{array}{cc} X & Y \\ \{2, 4, 5\} & \{a, b, c, d\} \\ 1 \left[\begin{array}{cc} \{2\} & \{b, c, d\} \\ \{2, 4\} & \{a, c, d\} \\ \{2\} & \{a, b, c\} \end{array} \right. \end{array}.$$

Из анализа требования к частоте встречаемости паттерна получается:

$$\begin{array}{cc} X & Y \\ \{2, 4, 5\} & \{a, b, c, d\} \\ 1 \left[\begin{array}{cc} \emptyset & \{b, c, d\} \\ \{2, 4\} & \{a, c, d\} \\ \emptyset & \{a, b, c\} \end{array} \right. \end{array}.$$

По сравнению с предыдущей сжатой таблицей D -типа в кортежах все компоненты X , мощность которых меньше заданного порога встречаемости ($\theta = 2$), заменяются пустыми компонентами (согласно **У6**). Тогда, применяя утверждения **У1-У5**, получаются следующие новые домены переменных: $X \in \{2, 4, 5\}$, $Y \in \{b, c\}$, а «остаток» сжатой таблицы D -типа будет иметь вид:

$$\begin{array}{cc} X & Y \\ \{2, 4, 5\} & \{b, c\} \\ \left[\begin{array}{cc} \{2, 4\} & \{c\} \end{array} \right[\end{array}.$$

Дерево поиска для рассмотренного примера представлено на рисунке 3. Таким образом, в качестве решения имеются следующие паттерны: $[\{2,4\} \{b,c\}]$ и $[\{2,4,5\} \{c\}]$. Видно, что они удовлетворяют как требованию на вхождение в паттерн элемента “с”, так и требованию к частоте встречаемости искомым паттернов. Анализируя рисунок 3, можно сделать вывод, что других замкнутых паттернов с заданным набором ограничений не существует.

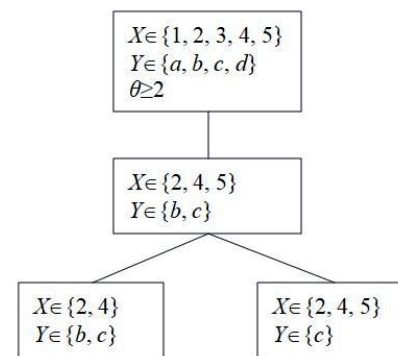


Рисунок 3 – Дерево поиска для задачи нахождения паттернов с заданным элементом (пример)

5.2 Ограничение на отсутствие элемента в паттерне

Пусть требуется найти все паттерны, не содержащие некоторый заданный элемент y из домена переменной Y , т.е. требуется найти такие p , что $y \notin p, y \in I$. В этом случае к базовым утверждениям **У1-У5** добавляются следующие утверждения.

Утверждение 10 (У10). В кортеже, где в компоненте Y отсутствует значение y , которое не должно содержаться в искомым паттернах, компонента X заменяется на пустую.

Утверждение 11 (У11). Если в сжатой таблице отсутствует кортеж, компонента Y которого не содержит значение y , то задача удовлетворения ограничений не имеет решения.

Пример 3. Пусть имеется обучающая выборка из примера 1 и требуется найти замкнутые паттерны, которые не должны содержать элемент “a” (т.е. $a \notin p$), при этом паттерны должны удовлетворять требованию $freq_D(p) \geq 2$.

В качестве исходной берётся сжатая таблица D -типа $K[XY]$ из примера 1. Поскольку получаемые паттерны не должны содержать элемент “a”, то всегда должна выбираться компонента Y , не содержащая данный элемент, – это компонента Y первого кортежа таблицы $K[XY]$. Это означает, что компоненту X первого кортежа таблицы $K[XY]$, следует заменить на пустую компоненту. В результате, согласно **У1-У5**, получается:

	X	Y
	$\{1, 2, 3, 4, 5\}$	$\{b, c, d\}$
2	$\{1, 2, 4\}$	$\{c, d\}$
3	$\{2, 4, 5\}$	$\{b, d\}$
4	$\{2, 3\}$	$\{b, c\}$

Дерево поиска представлено на рисунке 4. Пусть в полученной сжатой таблице выбирается компонента X первой строки. Тогда текущие домены переменных описываются следующим образом: $X \in \{1, 2, 4\}$, $Y \in \{b, c, d\}$. После «настройки» упрощённой сжатой таблицы на новый домен переменной X , получается:

	X	Y
	$\{1, 2, 4\}$	$\{b, c, d\}$
3	$\{2, 4\}$	$\{b, d\}$
4	$\{2\}$	$\{b, c\}$

В процессе вывода используется тот факт, что искомым паттерн должен иметь порог абсолютной частоты встречаемости $\theta=2$. Следовательно, к полученной сжатой таблице

можно применить утверждение **У6**. Тогда новые домены переменных: $X \in \{1, 2, 4\}$, $Y \in \{b, c\}$. Применяя **У1-У5**, получается сжатая таблица D -типа, состоящая из одной строки:

X	Y
$\{1, 2, 4\}$	$\{b, c\}$
$\{2, 4\}$	$\{b\}$

В результате прохода по данной ветке листовые вершины дерева поиска получаются путём выбора одной из компонент сжатой таблицы (см. рисунок 4). Всего в данном дереве поиска получаются три паттерна с заданной частотой встречаемости и не содержащие элемент “ a ”: $\{2, 4\} \{b, c\}$, $\{1, 2, 4\} \{b\}$, $\{2, 4, 5\} \{c\}$.

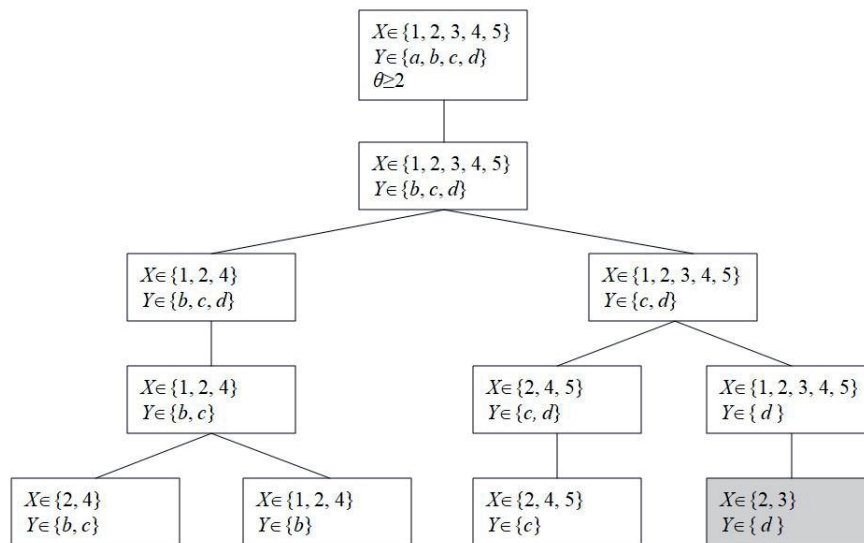


Рисунок 4 – Дерево поиска для задачи нахождения паттернов, не содержащих заданный элемент (пример)

Заключение

В работе представлен оригинальный подход для решения задач, связанных с нахождением замкнутых паттернов при наличии дополнительных требований к их виду. Рассмотренные задачи решаются как задачи удовлетворения табличных ограничений с применением авторской процедуры систематического поиска и методов распространения ограничений.

Новизной исследований является то, что обучающую выборку предложено представлять в виде специального типа табличных ограничений - сжатых таблиц D -типа. Такое представление информации и предложенный способ построения дерева поиска позволяют ускорить процесс вычислений: для некоторых типов входных данных приведённая оценка вычислительной сложности авторского метода нахождения замкнутых паттернов оказывается лучше, чем оценка большинства методов-прототипов [16]. Дополнительное сокращение количества узлов дерева поиска достигается за счёт применения разработанных процедур распространения табличных ограничений, основанных на эквивалентных преобразованиях сжатых таблиц D -типа с использованием специализированных правил редукции.

Предлагаемый подход позволяет легко адаптироваться к дополнительным требованиям, накладываемым на паттерны. Для этого к основным правилам редукции сжатых таблиц D -типа, используемым при поиске замкнутых паттернов, добавляются правила, учитывающие интересные особенности анализируемых закономерностей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Russel S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Prentice Hall, 2010. 1132 p.
- [2] *Bisaria J., Shivastava N., Pardasani K.R.* A rough set model for constraint driven mining of sequential patterns. *Int. J. of Computer and Network Security*. 2009; 1(1).
- [3] *Gan W., Lin J.C.W., Fournier-Viger P., Chao H.C., Tseng V.S., Yu P.S.* A survey of utility-oriented pattern mining. *Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2021. Vol. 33(4). P.1306–1327. DOI: 10.1109/TKDE.2019.2942594.
- [4] *Hien A., Loudni S., Aribi N., Lebbah Y., Laghzaoui M., Ouali A., Zimmermann A.* A Relaxation-Based Approach for Mining Diverse Closed Patterns. In: book *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. February 2021. P.36–54. DOI:10.1007/978-3-030-67658-2_3.
- [5] *Belaid M., Bessi'ere C., Lazaar N.* Constraint Programming for Association Rules. In: *Proc. Of the Int. Conf. on Data Mining*. May 2019. P.127–135. DOI:10.1137/1.9781611975673.15.
- [6] *Jabbour S., Mazouri F., Sais L.* Mining Negatives Association Rules Using Constraints. *Procedia Computer Science*. 2018. Vol.127. P.481–488. DOI: 10.1016/j.procs.2018.01.146.
- [7] *Zuenko A.* Representation and processing of qualitative constraints using a new type of smart tables. In: *Proc. of the 4th Int. Conf. on Computer Science and Application Engineering*. October 2020. P.1–7. DOI:10.1145/3424978.3425023.
- [8] *Mackworth A.* Consistency in networks of relations // *Artificial Intelligence*. 8(1), 1977. P.99–118.
- [9] *Кузнецов С.О.* Автоматическое обучение на основе формальных понятий // *Автоматика и телемеханика*, 2001. № 12, С.3–27. DOI: 10.1023/A:1012435612567.
- [10] *Yap R., Wang W.* Generalized Arc Consistency algorithms for table constraints: a summary of algorithmic ideas. In: *Proc. of the AAAI Conf. of Artificial Intelligence*. April 2020. P.13590–13597. DOI:10.1609/aaai.v34i09.7086.
- [11] *Ingmar L., Schulte C.* Making compact-table compact. In: *Proc. of the Int. Conf. of Principle and Practice of Constraint Programming*. Cham. 2015 August 23. P.271–287. DOI: 10.1007/978-3-319-98334-9_14.
- [12] *Mairy J.-B., Deville Y., Lecoutre C.* The smart table constraint. In: *Proc. of the Int. Conf. of Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research*. Cham. 2015 April 16. P.271–287. DOI:10.1007/978-3-319-18008-3_19.
- [13] *Bennai S., Amroun K., Loudni S.* Exploiting Data Mining Techniques for Compressing Table Constraints. In: *Proc. of the 31st Int. Conf. on Tools with Artificial Intelligence*. November 2019. P.42–49. DOI:10.1109/ICTAI.2019.00015.
- [14] *Кулик Б.А., Зуенко А.А., Фридман А.Я.* Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. 235 с.
- [15] *Agrawal R., Imieli'nsky T., Swami A.* Mining association rules between sets of items in large databases. In: *Proc. of the 1993 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data*. Washington, United States, January 1993.
- [16] *Зуенко А.А.* Метод машинного обучения для выявления замкнутых множеств общих признаков объектов с применением технологии программирования в ограничениях // *Автоматика и телемеханика*, 2022. №12. С.156–168. DOI: 10.31857/S000523102212011X.

Сведения об авторах



Зуенко Александр Анатольевич, 1983 г.р., к.т.н., ведущий научный сотрудник Института информатики и математического моделирования – обособленного подразделения ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук». Области научных интересов: программирование в ограничениях; моделирование слабо формализованных предметных областей. ORCID: 0000-0001-5431-7538; Author ID (RSCI): 528493; Author ID (Scopus): 26536974000; Researcher ID (WoS): E-7944-2017. zuenko@iimm.ru. ✉



Зуенко Ольга Николаевна, 1980 г.р., младший научный сотрудник Института информатики и математического моделирования – обособленного подразделения ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук». Область научных интересов - машинное обучение. ORCID: 0000-0002-7165-6651; Author ID (RSCI): 1069604; Author ID (Scopus): 57222359556; Researcher ID (WoS): HKN-6360-2023. ozuenko@iimm.ru.

Поступила в редакцию 01.07.2023, после рецензирования 25.08.2023. Принята к публикации 29.08.2023.



Finding dependencies in data based on methods of satisfying table constraints

© 2023, A.A. Zuenko✉, O.N. Zuenko

Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling, Apatity, Russia

Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»,

Abstract

The work deals with the search for a special type of regularities in data, called frequent patterns. A frequent pattern is understood as a certain set of attributes that characterizes a sufficiently large number of objects of the training sample. There are many methods for pattern discovery, but they usually do not allow flexible consideration of necessary requirements for their type. Taking into account the new conditions that the desired patterns must meet leads in practice to a time-consuming modification of used algorithms and a decrease in computing performance. This article proposes a new approach based on the constraint programming paradigm, which is free from the listed disadvantages. The approach is based on the original way of presenting the training sample using specialized table constraints – compressed D-type tables, on the author's method of backtracking, as well as on specialized reduction rules for table constraints. Particular attention is paid to solving the closed patterns discovery problem, which is included as part of the solution of all machine learning problems considered in the work, which means taking into account additional requirements for the type of patterns. As additional requirements to the type of pattern, constraints on the frequency of occurrence of a closed pattern, as well as conditions for the occurrence of some element (attribute) into the pattern, are considered. To the basic rules for the reduction of compressed D-type tables, rules are added that take into account the interesting attributes of the analyzed patterns. The advantage of the approach is that the taking into account and analyzing new constraints makes it possible to speed up the calculation process.

Key words: *constraint programming, pattern extraction, reduction rules, machine learning, table constraints.*

For citation: Zuenko AA, Zuenko ON. Finding dependencies in data based on methods of satisfying table constraints [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 392–404. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-392-404.

Acknowledgment: The work was carried out within the framework of the current research topic «Development of theoretical and organizational and technical foundations of information support for managing the viability of regional critical infrastructures of the Arctic zone of the Russian Federation» (registration number 122022800547-3).

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - A fragment of the search tree for the closed pattern discovery problem

Figure 2 - Example of the search tree for the frequent closed pattern discovery problem

Figure 3 - Example of the search tree for the pattern discovery problem with a given element

Figure 4 - Example of the search tree for the pattern discovery problem without a given element

Table 1 - Example of a binary matrix

Table 2 - Example of application of reduction rules

References

- [1] *Russel S, Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Prentice Hall, 2010. 1132 p.
- [2] *Bisaria J, Shivastava N, Pardasani KR.* A rough set model for constraint driven mining of sequential patterns. *Int. J. of Computer and Network Security*. 2009; 1(1).
- [3] *Gan W, Lin JCW, Fournier-Viger P, Chao HC, Tseng VS, Yu PS.* A survey of utility-oriented pattern mining. *Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2021; 33(4): 1306–1327. DOI: 10.1109/TKDE.2019.2942594.

- [4] **Hien A, Loudni S, Aribi N, Lebbah Y, Laghzaoui M, Ouali A, Zimmermann A.** A Relaxation-Based Approach for Mining Diverse Closed Patterns. In: book Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. 2021 February. P.36-54. DOI:10.1007/978-3-030-67658-2_3.
- [5] **Belaid M, Bessi`ere C, Lazaar N.** Constraint Programming for Association Rules. In: Proc. Of the Int. Conf. on Data Mining. 2019 May. P.127–135. DOI:10.1137/1.9781611975673.15.
- [6] **Jabbour S, Mazouri F, Sais L.** Mining Negatives Association Rules Using Constraints. Procedia Computer Science. 2018; 127: 481–488. DOI: 10.1016/j.procs.2018.01.146.
- [7] **Zuenko A.** Representation and processing of qualitative constraints using a new type of smart tables. In: Proc. of the 4th Int. Conf. on Computer Science and Application Engineering. October 2020. P.1–7. DOI:10.1145/3424978.3425023.
- [8] **Mackworth A.** Consistency in networks of relations // Artificial Intelligence. 8(1), 1977. P.99–118.
- [9] **Kuznetsov S.** Automatic learning based on the Analysis of Formal Concepts [In Russian]. Automation and Telemechanics, 2001; 12: 3–27. DOI: 10.1023/A:1012435612567.
- [10] **Yap R, Wang W.** Generalized Arc Consistency algorithms for table constraints: a summary of algorithmic ideas. In: Proc. of the AAAI Conf. of Artificial Intelligence. April 2020. P.13590–13597. DOI:10.1609/aaai.v34i09.7086.
- [11] **Ingmar L, Schulte C.** Making compact-table compact. In: Proc. of the Int. Conf. of Principle and Practice of Constraint Programming. Cham, 2015 August 23. P.271–287. DOI: 10.1007/978-3-319-98334-9_14.
- [12] **Mairy J-B, Deville Y, Lecoutre C.** The smart table constraint. In: Proc. of the Int. Conf. of Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research. Cham, 2015 April 16. P.271-287. DOI:10.1007/978-3-319-18008-3_19.
- [13] **Bennai S, Amroun K, Loudni S.** Exploiting Data Mining Techniques for Compressing Table Constraints. In: Proc. of the 31st Int. Conf. on Tools with Artificial Intelligence. 2019 November, P.42–49. DOI:10.1109/ICTAI.2019.00015.
- [14] **Kulik BA, Zuenko AA, Fridman AYa.** Algebraic approach to the intellectual processing of data and knowledge [In Russian] Saint-Petersburg: Izd-vo Politekh. un-ta; 2010. 235 p.
- [15] **Agrawal R, Imieli`nsky T, Swami A.** Mining association rules between sets of items in large databases. In: Proc. of the 1993 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data. Washington, United States, January 1993.
- [16] **Zuenko AA.** A machine learning method to reveal closed sets of common feature of objects using constraint programming [In Russian]. *Automation and Telemechanics*. 2022; 12: 156-168. DOI: 10.31857/S000523102212011X.

About the authors

Alexander Anatolyevich Zuenko (b. 1983). Graduated from the Petrozavodsk State University (Apatity, Russia) in 2005, PhD (2009), a senior researcher at the Institute for Informatics and Mathematical Modeling, a Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS). He is a member of Russian Association of Artificial Intelligence. He is a co-author of more than 150 publications and monographies in the field of constraint programming and modeling in poorly formalized subject domains. ORCID: 0000-0001-5431-7538; Author ID (RSA): 528493; Author ID (Scopus): 26536974000; Researcher ID (WoS): E-7944-2017. zuenko@iimm.ru ✉.

Olga Nikolaevna Zuenko (b. 1980). Graduated from the Petrozavodsk State University (Apatity, Russia) in 2002, a junior researcher at the Institute for Informatics and Mathematical Modeling, a Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS). She is a co-author of 7 publications in the field of machine learning. ORCID: 0000-0002-7165-6651; Author ID (RSA): 1069604; Author ID (Scopus): 57222359556; Researcher ID (WoS): HKN-6360-2023. ozuenko@iimm.ru.

Received July 2, 2023. Revised August 25, 2023. Accepted August 29, 2023.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 37.03+004+008

Научная статья

DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-405-423



Онтология направляемого развития научных способностей молодёжи. Часть 1: основные понятия и модели

© 2023, С.А. Пиявский

Самарский филиал Московского городского педагогического университета, Самара, Россия

Аннотация

В статье предпринята попытка анализа новых тенденций в работе с одарённой молодёжью. Представлена новая форма системной, организационной и научно-направляемой самостоятельной деятельности мотивированного школьника или студента. Эта деятельность, во-первых, направлена на удовлетворение познавательных интеллектуальных, а также иных потребностей учащегося и эффективное развитие его творческого потенциала; во-вторых, связана с последовательным решением исследовательских задач с заранее неизвестными результатами, возрастающей новизной, актуальностью и сложностью; в-третьих, поддерживается специально организованной единой развивающей научно-образовательной средой в рамках образовательной организации, региона, отрасли, страны; наконец, предполагает научно-обоснованную унифицированную оценку развивающего эффекта и научной значимости текущих результатов деятельности. Обсуждаются характеризующие эту деятельность основные понятия и иллюстрирующие их примеры и математические модели. К ним относятся авторская структуризация функций и уровней исследовательской деятельности, многоплановая система критериев оценки научно-развивающих результатов исследовательских работ, выполняемых молодыми исследователями, функциональный профиль, функциональный рейтинг и профессиональный функциональный рейтинг молодого исследователя, рассчитываемые по результатам оценки выполненного им исследования. Впервые предложена математическая модель формирования допустимых вариантов исследовательской деятельности, позволяющая формировать оптимальную развивающую методическую структуру планируемых исследований. Особенностью предлагаемого подхода является использование порядковых оценочных шкал с преобразованием результатов их применения в количественные оценки на основе метода уверенных суждений лиц, принимающих решения. Введённые понятия объединены в виде графической схемы онтологии направляемого развития научных способностей молодёжи.

Ключевые слова: одарённая молодёжь, исследовательская деятельность, направляемое развитие, многокритериальность, моделирование, онтология, образовательный процесс.

Цитирование: Пиявский С.А. Онтология направляемого развития научных способностей молодёжи. Часть 1: основные понятия и модели // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №3(49). С.405-423. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-405-423.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Проблема выявления и развития одарённости интересует и государства, и семьи. В каждой стране исторически сформирована система выявления, поддержки, развития и использования обществом творчески одарённых в сфере науки и техники молодых людей в их личных, корпоративных, государственных и общественных интересах. Происходящая информатизация и интеллектуализация всех общественных процессов позволяет ожидать качественное развитие этих систем благодаря преимуществам, предоставляемым интеллектуальными

информационными технологиями. Основные задачи, которые предстоит решить на пути формирования новых систем работы с творчески одарённой молодёжью в сфере науки и техники (далее – одарённая молодёжь, молодые исследователи), таковы:

- определить основные понятия, характеризующие исследовательскую одарённость и пути её развития;
- научиться измерять текущее положение личности в пространстве её творческого развития (условно это можно охарактеризовать как «статику» рассматриваемого предмета);
- выявить структуру факторов, влияющих на локальное изменение положения (т.е. развитие) личности в её творческом пространстве («кинематика»);
- выявить и научиться моделировать закономерности длительного изменения положения (развития) личности в её творческом пространстве под воздействием влияющих факторов («динамика»);
- определить структуру внешней среды, в которой развивается личность, включая интересы и возможности внешних акторов, действующих в интересах творческого развития личности;
- предложить спектр моделей и методов, позволяющих внешним акторам совместно с развивающейся личностью формировать и реализовывать как наиболее рациональную стратегию её развития, так и внешнюю среду.

Полезно обобщить накапливаемый при решении этих задач опыт и основанные на нём прогнозы в виде соответствующей онтологии. Это позволит в концентрированной форме обратить внимание на ключевые новые понятия, которые отражают изменения в работе с одарённой молодёжью в их системном единстве. В статье делается попытка начать построение варианта такой онтологии на основе многолетних исследований автора, нашедших применение в «Единой Самарской областной системе мер по выявлению и развитию творчески одарённой молодёжи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области» [1, 2]. Публикуемая первая часть статьи отражает исследования, относящиеся к первым трём из перечисленных задач.

1 Основные понятия

Способности - это индивидуальные особенности личности, помогающие ей успешно заниматься определённой деятельностью [3]. Способности развиваются из задатков, которые являются врождёнными и впоследствии развиваются в течение жизни человека в процессе его предметной деятельности [4].

Одарённость - это системное, развивающееся в течение жизни качество психики, которое определяет возможность достижения человеком более высоких, незаурядных результатов в одном или нескольких видах деятельности по сравнению с другими людьми [5]. Отсюда следует, что одарённость – это наличие у личности более высоких способностей, определяемое по результатам её деятельности. Одарённость определяет возможность получения результатов. Если результаты уже налицо, можно говорить о таланте или гениальности (в зависимости от их масштабов). Одарённость характеризуется: видами деятельности личности, содержанием и результатами деятельности, качествами личности, определяющими высокие результаты деятельности.

2 Виды исследовательской деятельности

В качестве вида деятельности рассматривается исследовательская деятельность (ИД) в сфере науки и техники, а в качестве одарённости - исследовательская одарённость (ИО).

ИД по определению [6, 7] - это специфическая человеческая деятельность *в специально организованной среде*, которая регулируется сознанием и активностью личности, направлена на удовлетворение познавательных интеллектуальных *и иных* потребностей, продуктом которой является новое знание, полученное в соответствии с поставленной *или модифицируемой* целью и в соответствии с объективными законами и наличными обстоятельствами, определяющими реальность и достижимость цели (слова, выделенные курсивом, добавлены автором).

Таким образом, ИО предполагает новизну полученного результата и носит творческий характер. Это отличает её, применительно к учащейся молодежи, от академической одарённости, которая характеризует способность к высокоэффективному усвоению и применению знаний, умений и навыков. Грань между двумя этими видами одарённости молодых людей отражается в том, что для демонстрации ИО проводятся конференции научно-исследовательских работ (НИР) учащихся, а для демонстрации академической одарённости – предметные олимпиады.

Специфика ИД определяет структуру и уровень развития качеств, необходимых для её успешного осуществления. Эти качества в различном темпе развиваются (или угасают) в течение всей жизни личности. Далее рассматривается зрелый период их развития, на котором человек в сопоставимой мере является как объектом, так и субъектом своего развития. До этого периода он, в основном, был объектом, а после его завершения - он уже субъект, не связанный ограничениями, налагаемыми на свою самостоятельность, в частности родителями и образовательной системой. Выделенный период развития молодого исследователя можно назвать периодом *направляемого развития*, тогда как предшествующий ему – период *управляемого развития*, а последующий – период *саморазвития*.

Каждый период характеризуется степенью сформированности к его началу *задатков* исследовательских способностей. Проследить этот процесс помогает таблица (см. [8, с.21-23]), построенная на основе [9]. Как следует из этой таблицы, к началу младшей школы у ребёнка сформированы такие существенные для успешной ИД качества как:

- любознательность, творческий интерес;
- эмоциональность, увлечённость;
- стремление к творческим достижениям;
- стремление к лидерству;
- способность генерировать идеи;
- фантазия, воображение;
- ассоциативность мышления;
- способность отстаивать свои творческие позиции;
- целеустремлённость;
- высокий темп творческой деятельности;
- работоспособность личности в творческой деятельности.

На их основе в младшей школе начинается формирование таких качеств личности, как:

- стремление к получению высокой внешней оценки;
- умение описывать явления, процессы;
- умение давать определения, объяснять, доказывать, обосновывать;
- сообразительность, оперативность памяти;
- способность к планированию и рациональному использованию времени;
- способность к самоорганизации, мобилизации;
- самоконтроль;
- способность к координации, перестройке деятельности;
- прилежание.

В возрасте 10–14 лет (в средней школе) происходит развитие таких качеств, как:

- чувство долга и ответственности;
- способность анализировать, сравнивать;
- способность выделять главное, основное;

- способность отказаться от навязчивой идеи, преодолеть инерцию мышления;
- независимость суждений;
- критичность мышления, способность к оценочным суждениям;
- способность к самоанализу, рефлексии;
- комплекс нравственных качеств личности и коммуникативно-творческих способностей;
- стремление и способности личности достигать гармонии, простоты и красоты человеческих отношений в процессе коллективной творческой деятельности.

Это создаёт предпосылки для реализации мотивированным учащимся отдельных элементов ИД, но не в целостном её понимании. Полноценная ИД является уделом зрелых, сложившихся людей. Однако миллионы подростков и молодых людей с энтузиазмом занимаются деятельностью, которую называют научно-исследовательской. Мотивированные учащиеся школ и ВУЗов выполняют НИР и с успехом представляют их на региональные, национальные и международные конференции и конкурсы, на которых получают гранты на продолжение и развитие этих работ. Из определения одарённости следует, что её развитие возможно именно в процессе целостной ИД. Кажущееся противоречие снимается с учётом введённого Л.С. Выготским [10] понятия зон ближайшего развития.

Зоны ближайшего развития – это сферы деятельности, в которых обучаемый ещё не в состоянии действовать самостоятельно, однако может работать под содержательным руководством. В процессе его деятельности происходит интериоризации, т.е. переход в интрапсихический процесс, при котором осуществляется освоение и присвоение обучаемым соответствующих форм и методов деятельности. Таким образом, ключевым фактором научного развития является собственная творческая деятельность индивидуума. Для этого, особенно в начальный период, необходима внешняя поддержка деятельности личности, а именно восполнение извне недостающих элементов в собственной деятельности, необходимых для того, чтобы обеспечить целостность процесса научно-технического творчества. Например, научное руководство, соавторство, привлечение других лиц для выполнения обеспечивающих работ. Для возраста обучаемого 10-15 лет такой личностью является, как правило, учитель-предметник, осуществляющий руководство ИД.

В управляемый период молодой исследователь развивается в составе *исследовательской пары «ученик–учитель»*. Эта совместная деятельность имеет иную цель, чем «настоящая» ИД. Её продуктом является в подавляющем большинстве не получение нового знания, а развитие личных качеств молодого исследователя благодаря его со-деятельности в составе исследовательской пары в своей зоне ближайшего развития. Такая деятельность получила название *учебно-исследовательской*. Ведущую роль в исследовательской паре играет научный руководитель, который управляет как содержательно (беря на себя всю творческую составляющую) так и организационно.

*Учебно-исследовательская деятельность*¹ (УИД) – это «такая форма организации учебно-воспитательной работы, которая имеет целью развитие исследовательских способностей в процессе решения учениками творческой, исследовательской задачи с заранее неизвестными для них и их руководителей результатами, предполагающей наличие основных этапов, характерных для научного исследования: постановку проблемы, изучение теории, посвящённой данной проблематике, подбор методик исследования и практическое овладение ими, сбор собственного материала, его анализ и обобщение, научный комментарий, собственные выводы» (курсив и синтаксические правки добавлены автором).

Это определение вписывается в закономерность развития общих способностей, являющихся предпосылками к успешной ИД, у массового контингента школьников, как это преду-

¹Кекух О.Л. Организация творческой исследовательской деятельности учащихся как средство повышения качества образования. 31.10.2012. <https://nsportal.ru/shkola/rodnoy-yazyk-i-literatura/library/2012/10/31/organizatsiya-tvorcheskoy-issledovatel'skoy>.

смотрено действующим образовательным стандартом. В процессе этой деятельности определяются мотивированные молодые люди, демонстрирующие признаки одарённости.

Опыт показал, что ограничение в развивающей работе с одарённой молодежью тем содержанием, которое следует из определения УИД, может резко затормозить её возможное развитие. Во-первых, социальная эволюция развитого общества привела к тому, что молодёжь, начиная со старшего школьного возраста, стала значительно более субъектной. Во-вторых, в связи с цифровизацией интеллектуальной коммуникативной среды доступная для этой категории зона ближайшего развития стала существенно расширяться, и школьный учитель перестаёт оставаться её компетентным представителем. В-третьих, в соответствии с [8, 9] в старшей школе (15-17 лет) происходит формирование таких качеств как:

- личная значимость творческой деятельности;
- стремление к самообразованию, самовоспитанию творческих способностей;
- убеждённость в социальной значимости творческой деятельности в избранной области;
- способность к овладению методологией творческой деятельности;
- высокое оценочное место творчества среди наиболее значимых для личности творческих качеств;
- способность систематизировать, классифицировать;
- перенос знаний, умений в новые ситуации;
- стремление и способности личности достигать гармонии, простоты и красоты процесса в результате творческой деятельности;
- самооценка творческих способностей и достижений.

Для мотивированных УИД учащихся созревание этих качеств идёт наиболее эффективно, и зона ближайшего развития, в которую может их ввести учитель-предметник, уже недостаточно заманчива и перспективна. Поэтому к руководству выполнением НИР молодыми исследователями привлекаются научные консультанты, непосредственно занятые ИД.

В связи с этим, наряду с понятием УИД, предлагается ввести новое понятие «*продвинутая УИД*», занимающее промежуточное положение между УИД и ИД. Субъектами и одновременно объектами этой деятельности являются одарённые школьники старших классов, студенты и магистранты ВУЗов, их научные руководители и консультанты, которыми являются, как правило, преподаватели ВУЗов, учёные и специалисты, выполняющие НИР.

Вовлечение в исследовательские пары научных консультантов превращает их в исследовательские мини-коллективы «ученик–учитель–консультант» (У+У+К) и позволяет придать системный характер научно-образовательной среде, охватывающей период развития молодого исследователя от 14-15 до 22-23 лет, соединив в единую цепь: *выявление–становление–перерастание* и связав с тремя возрастными периодами: довузовский–вузовский–послевузовский. При этом научно-образовательная развивающая среда представляет собой зону ближайшего развития, через которую в процессе взросления проходит молодой исследователь. На этапе выявления происходит деятельное знакомство молодого исследователя с содержанием зоны ближайшего развития. В случае успеха он мотивируется к дальнейшей деятельности и на этапе становления укрепляется в своём познавательном, интеллектуальном и ином интересе. На этапе перерастания он начинает ощущать недостаточность научного руководства, т.к. это совпадает для него с необходимостью готовиться к переходу на следующий образовательный (для школьника) или трудовой (для студента) уровень. Необходимым становится включение в учебно-исследовательский мини-коллектив научного консультанта, представляющего следующий уровень, как в содержательно-творческом, так и в карьерно-организационном отношении. Структура результатов ИД на каждом из этапов изменяется: всё меньшую долю занимает развивающий эффект и всё большую долю – получение нового знания.

Такой большой (по времени и содержанию) путь развития молодого исследователя в направляемый период требует от участвующих в нём субъектов рационального поведения,

т.е. эффективного расходования духовных и материальных ресурсов с учётом индивидуальных особенностей развивающейся личности и складывающихся жизненных обстоятельств.

Продвинутая УИД – это форма системной, ориентированной на ряд лет организационной и научно-направляемой самостоятельной деятельности мотивированного школьника или студента, которая:

- направлена на удовлетворение его познавательных интеллектуальных, а также иных потребностей и эффективное развитие своего творческого потенциала;
- связана с последовательным решением исследовательских задач с заранее неизвестными результатами, возрастающей новизной, актуальностью и сложностью;
- поддерживается специально организованной единой развивающей научно-образовательной средой в рамках образовательной организации, отрасли, страны;
- предполагает научно-обоснованную унифицированную оценку развивающего эффекта и научной значимости текущих результатов этой деятельности.

3 Содержание ИД

Функциональное содержание ИД согласно [6] включает: постановку проблемы, вычленение объекта исследования, проведение эксперимента, описание и объяснение фактов, полученных в эксперименте, создание гипотезы (теории), предсказание и проверку полученного знания. Всё перечисленное определяет специфику и сущность этой деятельности.

С учётом результатов анализа публикаций (см. [8], подраздел 2.2) и опираясь на опыт автора, предлагается использовать следующие *девять функций ИД*, характеризующих отдельные этапы любого исследования.

- 1) Поиск проблемы.
- 2) Постановка, осознание, формализация темы исследования.
- 3) Формирование ключевой идеи и плана решения проблемы.
- 4) Выбор, освоение и реализация необходимого обеспечения.
- 5) Реализация отдельных элементов исследования.
- 6) Синтез решения.
- 7) Оформление решения.
- 8) Ввод в научный обиход, защита, внедрение и сопровождение решения.
- 9) Внутренний критический анализ решения.

Эта структуризация выделяет базовые функции ИД безотносительно к тому, на каком уровне (академика или аспиранта) она протекает. В зависимости от уровня эти функции наполняются различным содержанием и для их выполнения требуется соответствующая научная квалификация. Творческая деятельность в сфере науки и техники описывается *уровнями* научно-технического творчества и *функциями* ИД. Основываясь на принятой в России классификации учёных степеней, отражающей качественные отличия уровней научно-технического творчества, можно выделить *четыре уровня ИД*: фрагментов (инженер), задач (кандидат наук), проблем (доктор наук), направлений (член академии наук).

Обращение к высшим уровням творчества полезно при рассмотрении развития исследовательских компетенций в ВУЗе и даже в школе. История науки даёт примеры, когда в молодом возрасте решались задачи высокого творческого уровня, а опыт и моделирование показывают, что знакомство одарённой молодёжи в научно-популярном плане с крупными научными проблемами и направлениями является составной частью её развития.

С учётом стремления устранить «стену» между ИД и продвинутой УИД целесообразно выстроить иерархию из шести уровней.

- 0) предварительный («неофит»),

- 1) первоначальный (лаборант),
- 2) фрагментов (инженер),
- 3) задач (кандидат наук),
- 4) проблем (доктор наук),
- 5) направлений (член академии наук).

Таким образом, положение исследователя в его творческом пространстве в текущий момент времени определяется тем, на каком исследовательском уровне он владеет каждым из функциональных исследовательских элементов (таблица 1, рисунок 1). Выявить это позволяет анализ текущего результата его деятельности, т.е. последней из выполненных НИР.

Таблица 1 – Пример текущего положения молодого исследователя в пространстве творческого развития

Функция	Исследовательский уровень реализации функции по оценке последней выполненной НИР
1. Поиск проблемы	0
2. Постановка, осознание, формализация темы исследования	0
3. Формирование ключевой идеи и плана решения проблемы	0
4. Выбор, освоение и реализация необходимого обеспечения	1
5. Реализация отдельных элементов исследования	1
6. Синтез решения	0
7. Оформление решения	1
8. Ввод в научный обиход, защита, внедрение и сопровождение решения	2
9. Внутренний критический анализ решения	1

Коды уровней
исследовател.
деятельности

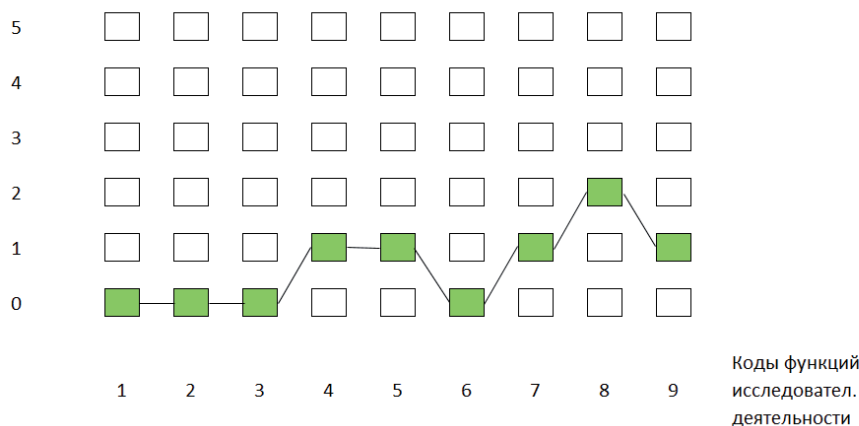


Рисунок 1 – Пример текущего положения молодого исследователя в пространстве творческого развития (затенённые элементы)

В процессе последовательного решения исследователем задач соответствующая «цепочка» (см. рисунок 1) продвигается вверх в пространстве творческого развития. Судить о степени продвижения и соответствующей степени развития его одарённости можно исключительно на основе оценки творческих результатов его деятельности.

4 Результат ИД

4.1 Многоплановая система критериев

В рамках направляемого периода развития молодого исследователя результатом его ИД является выполненная им НИР. Оценку творческого результата ИД осуществляет научно-образовательная среда. Она опирается на существующий механизм оценки НИР молодых исследователи - на оценки незаинтересованными экспертами представленных на авторитетный конкурс НИР по определённой системе критериев.

При характерной для традиционной УИД организации конкурса НИР его основной целью является объективное ранжирование представленных НИР. Для продвинутой УИД основной целью является оценка характеристик представленных НИР, позволяющая объективно и полноценно (структурно и количественно) оценить текущее положение каждого автора НИР в пространстве творческого развития и указать его позицию в профессиональной сфере по сравнению с релевантной группой молодых исследователей.

В развиваемом подходе это осуществляется с использованием двух таблиц, разрабатываемых для каждой сферы профессиональной деятельности авторитетными представителями профессионального сообщества (ими могут быть члены оргкомитета и жюри конкурсного мероприятия, в рамках которого оцениваются НИР):

- многоплановая система частных критериев оценки результатов НИР (далее – многоплановая система критериев),
- таблица отображения результатами НИР функциональных исследовательских возможностей автора НИР (далее – таблица «результат–функционал»).

В начальный период развития научно-образовательной среды эти таблицы могут использоваться как универсальные в различных сферах науки и техники (например, [1]); впоследствии они могут уточняться или переформатироваться с учётом специфики сфер ИД.

Многоплановая система критериев построена таким образом, чтобы отобразить структуру полученных в НИР результатов с использованием порядковой шкалы оценки их исследовательского уровня. Для примера используется система, уже успешно применяемая в ряде организаций. Она имеет 15 направлений (частных критериев оценки результатов НИР) и по каждому из них используется порядковая шкала, значениям которой приписывается конкретный содержательный смысл, соответствующий общему смыслу частного критерия. Частные критерии обозначаются числами от нуля до пяти (по уровням исследовательской деятельности).

Примеры из многоплановой системы критериев, близкой к используемой в [1].

Частный критерий 1: Тип результатов (насколько они носят исследовательский характер).

Шкала оценки:

0 - не носят исследовательского характера;

1 - носят исследовательский характер, т.е. получен результат, который был неочевиден до выполнения НИР;

2 – в дополнении к 1 полученный результат сопоставляется с известными аналогичными результатами;

3 - в дополнении к 2 приведены сведения о научных школах соответствующего направления;

4 - в дополнении к 3 работа содержит собственные новые идеи;

5 - в дополнении к 4 предложена новая формализованная постановка задачи.

Частный критерий 2: Результаты являются частью НИР руководителя, научной группы кафедры, вуза.

Шкала оценки:

0 – не являются частью НИР;

- 1 – связаны с НИР руководителя;
 2 – связаны с НИР разновозрастного исследовательского коллектива, в который входит автор;
 3 – использованы в публикациях в научной печати с указанием фамилии автора и научного руководителя;
 4 – автор является оплачиваемым участником НИР;
 5 – автор является оплачиваемым участником НИР по грантам или отраслевым программам.

Пример направлений многоплановой системы критериев приведён в 1-м столбце таблицы 2. По каждому частному критерию определяются: шкала оценки (см. 2-й столбец таблицы 2) и степень качества результата (код качества). Код качества определяется по всей совокупности оцениваемых НИР по порядковой шкале: 0 – «весьма низкое», 1 – «ниже среднего», 2 – «среднее», 3 – «выше среднего», 4 – «исключительно высокое» (пример см. 3-й столбец таблицы 2).

Таблица 2 – Пример оценки НИР по многоплановой системе критериев

Направление (частный критерий оценки результата)	Код исследовательского уровня результата	Код качества результата на этом уровне
1. Тип результатов (насколько они носят исследовательский характер)	1	2
2. Результаты являются частью НИР руководителя, научной группы кафедры, вуза	0	0
3. Результаты относятся к перспективному направлению науки, техники, технологий	1	1
4. Направлена (подготовлена) публикация в научной печати	0	2
5. Результаты внедрены или подготовлены к внедрению в сторонних организациях	1	1
6. Представлен глубокий обзор научной проблематики	1	2
7. Используются теоретические методы (математические, понятийный аппарат социально-гуманитарного научного познания)	2	2
8. Получены новые научные результаты	2	1
9. Имеются собственные оригинальные идеи участника	3	1
10. Имеется глубокий анализ литературы (по авторам и времени)	2	3
11. Используются/разработаны специальные технологии проведения исследований	1	1
12. Масштабность предполагаемых последствий полной реализации работы	3	1
13. Масштабность проведенного исследования	2	2
14. Качество оформления представленных результатов	3	3
15. Качество доклада и ответов на вопросы при защите работы	3	2

Оценив (см. таблицу 2), на каком уровне реализован каждый частный результат исследовательской деятельности автора НИР, можно составить представление об уровне, на котором он способен реализовывать отдельные целостные функции ИД. Для этого необходимо установить, какой относительный вклад вносит каждая функция ИД в частный результат этой деятельности. Такое соответствие устанавливается группой квалифицированных экспертов в результате обсуждения общей взаимосвязи функций и результатов ИД. В процессе обсуждения заполняется таблица 3, имеющая в значительной мере универсальный характер. Эксперты совместно рассматривают конкретную функцию ИД. Оценивают степень освоенности авторами НИР этой функции. Используются оценки: 0 – «нулевая», 1 – «незначительная», 2 – «средняя», 3 – «высокая». Количество выбранных строк с ненулевыми оценками должно

быть не более десяти и использованы все три оценки. Пример результата экспертизы показан в таблице 3 (пустые клетки соответствуют нулевому значению).

Таблица 3 – Пример результата экспертизы НИР – таблица «результат – функционал» (нули опущены)

Частные критерии оценки НИР как показательного результата ИД	Элементы функционального профиля автора НИР								
	1. Поиск проблемы	2. Постановка, осознание, формализация темы исследования	3. Формирование ключевой идеи и плана решения проблемы	4. Выбор, освоение и реализация необходимого обеспечения	5. Реализация отдельных элементов исследования	6. Синтез решения	7. Оформление решения	8. Ввод в научный обиход, защита, внедрение и сопровождение решения	9. Внутренний критический анализ решения
1. Тип результатов	3	2	3	1		1		1	2
2. Результаты являются частью НИР руководителя, научной группы кафедры, вуза	1	1		2	1	3	1	2	
3. Результаты относятся к перспективному направлению науки, техники, технологий	2	1	3	1	1			2	
4. Направлена (подготовлена) публикация в научной печати	1		1			1	2	3	
5. Результаты внедрены или подготовлены к внедрению в сторонних организациях			1			1	2	3	
6. Представлен глубокий обзор научной проблематики	3	2		1				1	
7. Используются теоретические методы (математические, понятийный аппарат социально-гуманитарного научного познания)		2	3	3	2	1			
8. Получены новые научные результаты	2	3	3	2	1	2		1	3
9. Имеются собственные оригинальные идеи участника	2	1	3	1	3	2			1
10. Имеется глубокий анализ литературы (по авторам и времени)				3	2		1		
11. Используются/разработаны специальные технологии проведения исследований			2	1	3	3			2
12. Масштабность предполагаемых последствий полной реализации работы	1	1	2		1		2		3
13. Масштабность проведенного исследования		2			1		2		3
14. Качество оформления представленных результатов							3	2	
15. Качество доклада и ответов на вопросы при защите работы							2	3	

4.2 «Нумеризация» оценок, данных в порядковых шкалах

Таблицы 2 и 3 содержат большое количество информации, позволяющей составить представление о текущем творческом статусе развивающейся личности. Однако использовать эту информацию без её агрегирования в комплексные характеристики практически невозможно. Учитывая, что исходная информация описывается в порядковых шкалах, рассматриваются два метода агрегирования: аналитической иерархии [11-13] и универсальных коэффициентов

важности (УКВ) [14, 15]. Метод УКВ [14] позволяет количественно оценить сравнительную важность каждого объекта из заданного конечного множества объектов, если известна их сравнительная важность, оценённая по *порядковой* шкале, число уровней которой не превышает числа объектов в этом множестве.

В описанной задаче признаётся непротиворечивой такая версия формирования количественной оценки объектов, которая удовлетворяет следующему условию: если оценка объекта А по исходной порядковой шкале ниже, чем оценка объекта Б, то оценка, полученная с использованием этой версии по количественной шкале, также должна быть ниже; если порядковые оценки объектов А и Б были одинаковыми, то одинаковыми должны быть и их количественные оценки. Суть метода УКВ состоит в том, что в качестве количественного аналога порядковой оценки объекта принимается среднее арифметическое его количественных аналогов, полученных при использовании всех непротиворечивых версий формирования количественных оценок. Алгоритмы, основанные на этой гипотезе, получены математическим путём и изложены в [14, 15].

При небольшом количестве сравниваемых объектов (до десяти) рассчитаны соответствующие таблицы их коэффициентов важности [15] (принято, что суммарная сравнительная важность всех объектов равна единице).

В качестве примера в таблице 4 приведены значения универсальных коэффициентов важности для четырёх сравниваемых объектов. Нижняя строка таблицы 4 соответствует задаче, в которой все четыре объекта имеют различную важность, а предпоследняя – задаче, в которой два объекта наиболее важны (третий уровень важности В3), один – менее важен (второй уровень важности В2) и ещё один – наименее важен (уровень важности В1). В правой группе столбцов показаны количественные коэффициенты сравнительной важности объектов (сумма произведений этих коэффициентов, умноженных на количество соответствующих им объектов, всегда равна единице).

Таблица 4 – Универсальные коэффициенты сравнительной важности четырёх объектов

Количество объектов в каждой группе важности				Универсальные значения коэффициентов важности объектов			
Группа важности объектов				Группа важности объектов			
В1	В2	В3	В4	В1	В2	В3	В4
4				0,250			
3	1			0,167	0,521		
2	2			0,104	0,396		
1	3			0,063	0,313		
2	1	1		0,104	0,271	0,521	
1	2	1		0,063	0,208	0,521	
1	1	2		0,063	0,146	0,396	
1	1	1	1	0,063	0,146	0,271	0,521

5 Функциональный профиль и профессиональный рейтинг автора НИР

Возможность обоснованно переходить от оценок, выраженных в порядковых шкалах, к количественным характеристикам позволяет комплексно характеризовать творческий уровень выполненной автором НИР.

Вводится комплексная формализованная характеристика текущей степени исследовательской функциональности молодого исследователя.

Функциональный профиль автора НИР – это набор чисел, характеризующих степень сформированности основных исследовательских элементов (функций), продемонстрированную автором в самостоятельно выполненной им части оцениваемой НИР.

Для единолично выполненной НИР заполненные таблицы 1-3 в совокупности дают представление о текущем функциональном профиле автора НИР и степени его соответствия функциональной структуре, предпочитаемой для конкретной сферы профессиональной деятельности. Для коллективно выполненной НИР необходимы сведения *о личном вкладе исследователя в оцениваемую НИР* (0 – «отсутствует», 1 – «незначителен», 2 – «значителен», 3 – «основной») – см. пример в таблице 5.

Таблица 5 – Пример сведений о личном вкладе молодого исследователя в коллективно выполненную НИР

Функции ИД	Личный вклад в НИР
1. Поиск проблемы	0
2. Постановка, осознание, формализация темы исследования	1
3. Формирование ключевой идеи и плана решения проблемы	2
4. Выбор, освоение и реализация необходимого обеспечения	3
5. Реализация отдельных элементов исследования	3
6. Синтез решения	1
7. Оформление решения	3
8. Ввод в научный обиход, защита, внедрение и сопровождение решения	2
9. Внутренний критический анализ решения	1

На основе функционального профиля можно оценить единственным числом и положение автора в интересующей его конкретной сфере творческой профессиональной деятельности. Для этого необходимо иметь информацию о том, какие из функций ИД наиболее востребованы в этой сфере. Предпочитаемая структура функционала молодого исследователя в конкретной сфере профессиональной деятельности, как и при формировании таблицы 3, определяется согласованным экспертным мнением о сравнительной важности отдельных функциональных элементов для успешной ИД в рассматриваемой профессиональной сфере. Важность при этом оценивается в порядковой шкале: 0 – «неважная», 1 – «менее важная», 2 – «важная», 3 – «наиболее важная». Пример представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Предпочитаемая структура функционала молодого исследователя в области математики (пример)

Функции ИД	Степень важности
1. Поиск проблемы	3
2. Постановка, осознание, формализация темы исследования	2
3. Формирование ключевой идеи и плана решения проблемы	3
4. Выбор, освоение и реализация необходимого обеспечения	1
5. Реализация отдельных элементов исследования	1
6. Синтез решения	3
7. Оформление решения	1
8. Ввод в научный обиход, защита, внедрение и сопровождение решения	2
9. Внутренний критический анализ решения	1

Таблицы 1-6 содержат информацию, выраженную в порядковых шкалах. Метод УКВ позволяет переводить её в количественные эквиваленты. Используя метод УКВ и нормировав количественные эквиваленты уровней частного результата НИР так, чтобы наивысшей возможной оценке порядковой шкалы отвечал количественный эквивалент 1, получаются таблицы 7, 8.

Таблица 7 – Количественные эквиваленты исследовательского уровня частного результата НИР

Уровни порядковой шкалы	0	1	2	3	4	5
Их количественные эквиваленты	0	0,085	0,193	0,337	0,557	1

Таблица 8 – Количественные эквиваленты оценки качества частного результата НИР

Уровни порядковой шкалы	0	1	2	3	4
Их количественные эквиваленты	0	0,121	0,280	0,520	1

Вводятся следующие обозначения:

- $i \in \{1, \dots, 9\}$ - номер функции ИД,
 $p \in \{1, \dots, P\}$ - номер сферы профессиональной деятельности в списке из P сфер,
 $j \in J = \{1, \dots, 15\}$ - номер частного критерия многоплановой системы критериев,
 $o_j \in \{0, \dots, 5\}$ - оценка j -го частного критерия многоплановой системы критериев,
 $k_j \in \{0, \dots, 4\}$ - качество оценки j -го частного критерия многоплановой системы критериев,
 $r_{ji} \in \{0, \dots, 3\}$ - коэффициент демонстрации j -м результатом НИР степени освоенности автором НИР i -й исследовательской функции,
 $v_{ip} \in \{0, \dots, 5\}$ - степень сравнительной важности i -й исследовательской функции в p -й сфере профессиональной деятельности,
 $s_i \in \{0, \dots, 3\}$ - личный вклад автора коллективной НИР в i -ю функцию деятельности по выполнению НИР,
 $f_i \in [0, 1]$ - i -я компонента функционального профиля молодого исследователя.

В приведённых таблицах данные имеют следующие обозначения:

- таблица 2 - $\{o_j, k_j\}_{j=1, \dots, 15}$,
 таблица 3 - $\{r_{ji}\}_{j=1, \dots, 15; i=1, \dots, 9}$,
 таблица 5 - $\{s_i\}_{i=1, \dots, 9}$,
 таблица 6 - $\{v_{jp}\}_{j=1, \dots, 15; p=1, \dots, P}$.

Таблицы 2, 3 и 5, 6 позволяют молодому исследователю и лицам, направляющим его развитие, полноценно определить все составляющие его функционального профиля на текущий момент. При формировании с использованием метода УКВ числовых эквивалентов значений различных порядковых шкал, чертой над символом порядкового значения обозначается его количественный эквивалент.

Порядковые значения параметра o_j из множества $\{0, \dots, 5\}$ отражают различные уровни оценки частного научного результата НИР, т.е. по терминологии метода УКВ, цепочку критериев возрастающей важности $5 = 1, 1, 1, 1, 1$ (порядковое значение 0 – отсутствие результата). Сравнительная важность критериев в такой цепочке - 0,039; 0,089; 0,155; 0,256; 0,460. Если принять числовой эквивалент максимального уровня порядковой шкалы этой цепочки за единицу, то пропорционально изменятся и числовые эквиваленты остальных уровней. В итоге получается $\bar{o}_j \in \{0; 0,085; 0,193; 0,337; 0,557; 1\}$ (см. таблицу 7).

Таким образом, появляется возможность ввести первую комплексную количественную характеристику творческого уровня оцениваемой НИР – рейтинг НИР R как среднее значение числовой оценки отдельных частных творческих результатов НИР (без учёта качества):

$$R = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} \bar{o}_j$$

Максимально возможный первый творческий рейтинг НИР равен единице.

Аналогично предыдущему порядковая шкала параметра k_j имеет вид $3 = 1, 1, 1$. Соответственно, сравнительная важность критериев в такой цепочке - 0,111; 0,278; 0,611. Если при-

нять числовой эквивалент максимального уровня порядковой шкалы этой цепочки за единицу, то окончательно получается $\bar{k}_j \in \{0; 0,182; 0,455; 1\}$. Это позволяет ввести в рассмотрение *дополненный рейтинг* НИР, учитывающий качество каждого частного результата НИР:

$$R = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} \bar{o}_j \bar{k}_j$$

Смысл параметра r_{ji} зависит от того, какому столбцу таблицы 2 он отвечает, поскольку все значения, помещённые в этом столбце, характеризуют сравнительную важность строк, на пересечении с которыми они находятся. В таблице 9 показано, какой цепочке критериев отвечает конфигурация этого параметра в каждом столбце таблицы 3.

Таблица 9 – Конфигурация цепочек критериев и числовые эквиваленты $\bar{r}_{ji}$ порядковых значений r_{ji} в таблице 2

Элементы j функционального профиля автора НИР		1. Поиск проблемы	2. Постановка, осознание, формализация темы исследования	3. Формирование ключевой идеи и плана решения проблемы	4. Выбор, освоение и реализация необходимого обеспечения	5. Реализация отдельных элементов исследования	6. Синтез решения	7. Оформление решения	8. Ввод в научный обиход, защита, внедрение и сопровождение решения	9. Внутренний критический анализ решения
Цепочка критериев		9=2,3,4	9=1,4,4	9=5,2,2	9=2,2,5	9=2,2,5	8=2,2,4	8=1,5,2	9=3,3,3	6=3,2,1
Порядковые значения r_{ji}	1	0,032	0,032	0,019	0,042	0,042	0,042	0,025	0,025	0,028
	2	0,122	0,147	0,045	0,142	0,142	0,141	0,127	0,085	0,078
	3	0,253	0,285	0,174	0,253	0,253	0,275	0,315	0,224	0,272

Зная числовые эквиваленты $\bar{r}_{ji}$ значений из таблицы 3, для единолично выполненной НИР можно рассчитать демонстрируемые этой НИР компоненты функционального профиля её автора f_i :

$$f_i = \sum_{j=1}^{15} \bar{o}_j \bar{k}_j \bar{r}_{ji}, \quad i = 1, \dots, 9.$$

Максимально возможное значение каждой компоненты функционального профиля автора единолично выполненной НИР равно единице.

Параметр s_i (таблица 5) эквивалентен в структурном плане параметру k_j , поэтому $\bar{s}_i \in \{0; 0,182; 0,455; 1\}$. Используя его, можно определить функциональный профиль автора коллективно выполненной НИР с учётом доли его личного вклада:

$$f_i = \bar{s}_i \sum_{j=1}^{15} \bar{o}_j \bar{k}_j \bar{r}_{ji}, \quad i = 1, \dots, 9.$$

Можно ввести скалярную общую комплексную оценку творческого уровня развития автора, используя его функциональный профиль, - *средний функциональный рейтинг* F_{cp} молодого исследователя, который вычисляется как среднее значение компонентов его функционального профиля:

$$F_{cp} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 f_i$$

Для заданной конкретной сферы p профессиональной деятельности параметр v_{ip} (таблица 6) описывается распределением девяти критериев по трём группам важности. Например, для сферы математики согласно таблице 3 цепочка $9 = 4, 2, 3$ и $v_{ip} \in \{0,032; 0,455, 1\}$. Это позволяет рассчитать *профессиональный функциональный рейтинг* молодого исследователя в определённой профессиональной сфере p как

$$F_{проф} = \sum_{i=1}^9 \bar{v}_{ip} f_i$$

или

$$F_{проф} = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{15} \bar{v}_{ip} \bar{r}_{ji} \bar{o}_j \bar{k}_j.$$

6 Научно-развивающая методическая структура НИР

Приведённый набор понятий позволяет ввести ряд комплексных количественных характеристик текущего уровня развития функциональной одарённости молодого исследователя. Это позволяет последовательно оценивать динамику его функционального развития и планировать структуру ИД на ближайшем этапе так, чтобы эффективно развивать его творческие возможности. Для решения этой задачи необходимо использовать методы оптимального управления и построить *модель формирования допустимых вариантов ИД на ближайший период*.

Пример построения модели. Рассматривается планирование содержания предстоящей молодому исследователю НИР. За характеристики НИР приняты используемые в многоплановой системе критериев частные результаты её выполнения, т.е. параметры $o_j, j \in J$ (оценка j -го частного критерия НИР) и $k_j, j \in J$ (качество оценки j -го частного критерия НИР). Здесь $J \subset \{1, \dots, 15\}$ - заданное множество номеров частных результатов НИР, возможность улучшения которых рассматривается при планировании. Тогда

$$o_j \geq 0, \quad o_j \geq o_{j_prev}, \quad j \in J, \quad k_j \geq 0, \quad k_j \geq k_{j_prev}, \quad j \in J.$$

Здесь индекс « $_prev$ », добавленный к обозначению переменной величины, указывает, что значение этой величины относится к предшествующей НИР этого же автора.

Очевидно также

$$o_j \leq o_{j_max} \leq 5, \quad k_j \leq k_{j_max} \leq 3, \quad j \in J.$$

Здесь неравенства позволяют при планировании НИР ограничить возможность повышения уровня соответствующих результатов и их качества, исходя из реальной обстановки.

Вводятся параметры, отражающие трудозатраты на выполнение планируемой НИР. В простейшем случае считается, что они пропорциональны числовым эквивалентам значений параметров o_j, k_j , т.е. равны соответственно $\bar{o}_j \cdot c_j, \bar{k}_j \cdot d_j$, где c_j, d_j - некоторые коэффициенты сравнительной трудоёмкости частных результатов. Тогда трудоёмкость T выполнения запланированной НИР выражается как

$$T = \sum_{j=1}^{15} (c_j \bar{o}_j + d_j \bar{k}_j)$$

Модель оптимизации планируемой НИР имеет вид:

$$F_{\text{проф}} = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{15} \bar{v}_{ip} \bar{r}_{ji} \bar{o}_j \bar{k}_j \rightarrow \max_{o_j, k_j, j \in J},$$

$$o_j \geq 0, \quad o_j \geq o_{j_prev}, \quad j \in J, \quad k_j \geq 0, \quad k_j \geq k_{j_prev}, \quad j \in J,$$

$$o_j \leq o_{j_max} \leq 5, \quad k_j \leq k_{j_max} \leq 3, \quad j \in J,$$

$$o_j = o_{j_prev}, \quad k_j = k_{j_prev}, \quad j \in \{1, \dots, 15\} \setminus J,$$

$$T = \sum_{j=1}^{15} (c_j \bar{o}_j + d_j \bar{k}_j) \leq T_{pred}$$

Здесь T_{pred} - предельные трудозатраты (например, времени), которые исследователь планирует потратить на выполнение НИР.

Такая нелинейная оптимизационная задача может быть решена перебором допустимых значений варьируемых параметров o_j, k_j .

Заключение

На рисунке 2 представлен описанный в статье фрагмент онтологии направляемого развития научных способностей молодёжи. В число важнейших качеств исследователски одарённой личности включены шесть составляющих:

- исследовательская квалификация, т.е. зна-

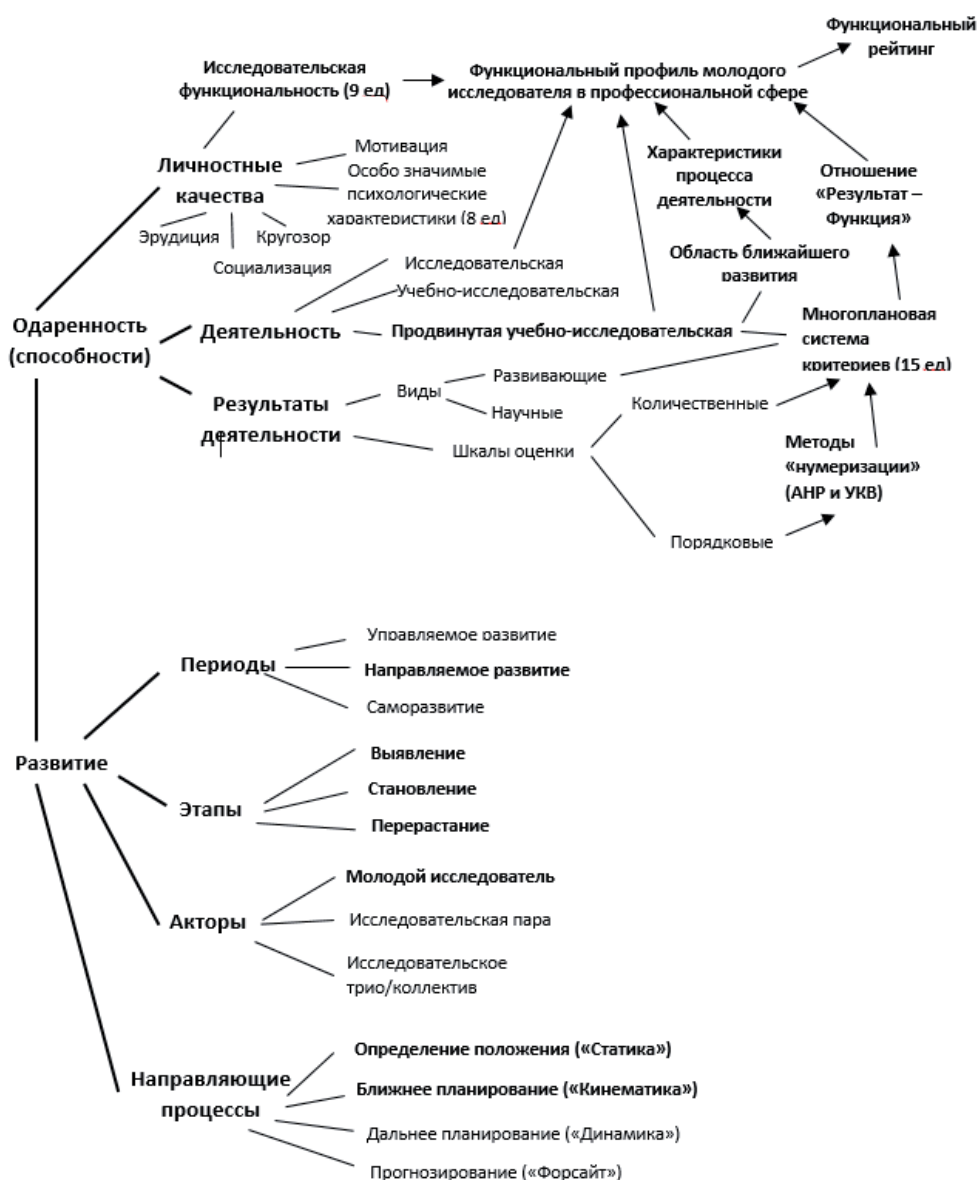


Рисунок 2 – Фрагмент онтологии направляемого развития научных способностей молодёжи

ния, навыки и умения эффективно реализовывать основные функции ИД, определяющие её творческий характер,

- мотивация к ИД,
- психологические характеристики личности, особо значимые для успешной ИД,
- глубокая эрудиция в избранной сфере ИД,
- широкий кругозор,
- социализация в профессиональной среде.

В статье рассмотрена первая из этих составляющих. В последующих статьях будут описаны другие составляющие онтологии и представлен опыт реализации её элементов.

Список источников

- [1] Концепция Единой Самарской областной системы мер по выявлению и развитию творчески одарённой молодёжи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области. - <https://samara.mgpru.ru/files/laboratorii/01/nauka/001.pdf>.
- [2] **Пиявский С.А., Кирюков С.Р., Кузнецов А.С.** Формирование творческих компетенций одарённой молодёжи в телекоммуникационной развивающей научно-образовательной среде // Информатизация образования и науки. 2020. № 2(46). С.127-143.
- [3] Человек и общество. Обществознание: учебник, Ч.1. / Под ред. Л.Н. Боголюбова, А.Ю. Лазебниковой. — М.: Просвещение, 2002. 270 с.
- [4] **Теплов Б.М.** Способности и одарённость / В кн.: Психология индивидуальных различий. - М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР, 1961. С. 9-20.
- [5] Рабочая концепция одарённости / Под ред. Д.Б. Богоявленской, В.Д. Шадрикова. — М.: Магистр, 1998. 68 с.
- [6] **Зимняя И.А., Шашенкова Е.А.** Исследовательская работа как специфический вид человеческой деятельности. — Ижевск; Москва: Изд-во Удмуртского гос. ун-та, 2001. 103 с.
- [7] **Шашенкова Е.А.** Исследовательская деятельность: словарь. — М.: УЦ «Перспектива», 2010. 88 с.
- [8] **Пиявский С.А.** Исследовательская деятельность студентов в инновационном вузе: учебник. — Самара: СГАСУ, 2011. 198 с.
- [9] **Андреев В.И.** Диалектика воспитания и самовоспитания творческой личности. — Казань: Изд-во КГУ, 1988. 236 с.
- [10] **Выготский Л.С.** Собрание сочинений. Т. 2. Проблемы общей психологии. — М.: Педагогика, 1982. 504 с.
- [11] **Саати Т., Кернс К.** Аналитическое планирование. Организация систем. — М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
- [12] **Саати Т.** Об измерении неосознаваемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений // Электронный журнал CloudofScience. 2015. Т.2, №1. - <http://cloudofscience.ru>.
- [13] **Ларичев О.И.** Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002. 392 с.
- [14] **Пиявский С.А.** Как «нумеризовать» понятие «важнее» // *Онтология проектирования*. 2016. Т.6, №4(22). С.414-435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [15] **Пиявский С.А., Малышев В.В.** Новые методы принятия многокритериальных решений в цифровой среде. — М.: Наука, 2022. 391 с.

Сведения об авторе



Пиявский Семён Авраамович, 1941 г. рождения. Окончил факультет летательных аппаратов Куйбышевского авиационного института (1964), аспирантуру Московского авиационного института им. С.Орджоникидзе (1967). Доктор технических наук (2001), профессор (1995), главный научный сотрудник, научный руководитель межвузовской научно-методической лаборатории цифровых образовательных технологий развития творческих способностей молодёжи Самарского филиала Московского городского педагогического университета. Почётный работник высшей школы РФ, академик Академии наук о Земле и Академии нелинейных наук. Опубликовал более 450 научных работ в области системного анализа, методов оптимизации и принятия решений, математического моделирования, образовательных систем и технологий. AuthorID (РИНЦ): 149149. Author ID (Scopus): 14045611600. spiyav@mail.ru.

Поступила в редакцию 02.05.2023, после рецензирования 24.08.2023. Принята к публикации 5.09.2023.



Ontology of guided development of scientific abilities of young people. Part 1: basic concepts and models

© 2023, S.A. Piyavsky

Samara Branch of the State Autonomous Educational Institution
of Higher Education Moscow City Pedagogical University, Samara, Russia

Abstract

The article attempts to analyze new trends in work with gifted youth as a new form of systemic, organizational and scientifically oriented independent activity of a motivated schoolchild or student. This activity, firstly, is aimed at satisfying the cognitive, intellectual, as well as other needs of the student and the effective development of their creative potential; secondly, it is associated with the consistent solution of research problems with not foreknown results, increasing novelty, relevance and complexity; thirdly, it is supported by a specially organized unified developing scientific and educational environment within the framework of its educational organization, region, industry, country; and finally, it involves a scientifically based unified assessment of both the developing effect and the scientific significance of the current results of this activity. The article discusses the basic concepts characterizing this activity and illustrating their examples and mathematical models. These include the author's structuring of the functions and levels of research activity, a multifaceted system of criteria for evaluating the scientific and developmental results of research work performed by young researchers, a functional profile, a functional rating and a professional functional rating of a young researcher, calculated based on the assessment results of their research work. For the first time, a mathematical model for the formation of acceptable options for research activities is proposed, which allows forming the optimal developing methodological structure of planned research. One of the unique points of the proposed approach is the widespread use of ordinal rating scales with the transformation of the results of their application into quantitative estimates based on the method of confident judgments of decision makers. The introduced concepts are formed into a graphical scheme of the ontology of guided development of scientific abilities of young people.

Keywords: *gifted youth, research activity, guided development, multicriteria, modeling, ontology, educational process.*

For citation: Piyavsky SA. Ontology of guided development of scientific abilities of young people. Part1: basic concepts and models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 405-423. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-405-423.

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

List of figures and tables

Figure 1 - An example of the current position of a young researcher in the space of creative development (coloured elements)

Figure 2 - A fragment of the ontology of guided development of scientific abilities of young people

Table 1 - An example of the current position of a young researcher in the space of creative development

Table 2 - An example of the research work assessment according to a multifaceted system of criteria

Table 3 - An example of the result of the research work examination: the table "result - functionality"

Table 4 - Universal coefficients of comparative importance of four objects

Table 5 - An example of personal contribution of a young researcher to a collectively performed research

Table 6 - Preferred functional structure of a young researcher in Mathematics (Example)

Table 7 - Quantitative equivalents of the research level of a particular result of research work

Table 8 - Quantitative equivalents of assessing the quality of a particular result of research

Table 9 - Criteria chain configuration and numerical equivalents $\bar{r}_{ji}$ of ordinal values r_{ji} in table 2

References

- [1] The concept of the Unified Samara regional system of measures to identify and develop creatively gifted youngsters in the field of science, engineering and technology and innovative development of the Samara region [In Russian]. - <https://samara.mgpu.ru/files/laboratorii/01/nauka/001.pdf>
- [2] **Piyavsky SA, Kiryukov SR, Kuznetsov AS.** Formation of creative competencies of gifted youngsters in the telecommunications developing scientific and educational environment [In Russian]. *Informatization of education and science*. 2020; 2(46): 127-143.
- [3] Man and society. Social science: textbook, Part 1 [In Russian]. Eds.: L.N. Bogolyubov, A.Yu. Lazebnikova. Moscow: Education, 2002. 270 p.
- [4] **Teplov BM.** Abilities and giftedness [In Russian]. In: Psychology of individual differences. Moscow: Publishing House of the Academy of Pedagogical Sciences of the RSFSR, 1982: 9-20 p.
- [5] Working concept of giftedness [In Russian]. Eds.: D.B. Bogoyavlenskaya, V.D. Shadrikov. Moscow: Master, 1998. 68 p.
- [6] **Zimnyaya IA, Shashenkova EA.** Research work as a specific type of human activity [In Russian]. Izhevsk; Moscow: Publishing House of the Udmurt State University, 2001. 103 p.
- [7] **Shashenkova EA.** Research activity: dictionary [In Russian]. Moscow: UTs "Perspective", 2010. 88 p.
- [8] **Piyavsky SA.** Research activities of students in an innovative university: textbook [In Russian]. - Samara: Publishing House of SGASU, 2011. 198 p.
- [9] **Andreev VI.** Dialectics of education and self-education of a creative personality [In Russian]. Kazan: Publishing house of KGU, 1988. 236 p.
- [10] **Vygotsky LS.** Collected works. V.2. Problems of general psychology [In Russian]. Moscow: Pedagogy, 1982. 504 p.
- [11] **Saati T, Kearns K.** Analytical planning. The Organization of systems. Pergamon Press, 1985. 224 p.
- [12] **Saati T.** On the measurement of the intangible. Approach to relative measurements based on the main eigenvector of the pairwise comparison matrix activity [In Russian] // Cloud of Science. 2015; 2(1). - <http://cloudofscience.ru>.
- [13] **Larichev OI.** Theory and methods of decision making activity [In Russian]. - Moscow: Logos, 2002. 392 p.
- [14] **Piyavsky SA.** How to "number" the concept of "more important" activity [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(4): 414-435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [15] **Piyavsky SA, Malyshev VV.** New methods of making multi-criteria decisions in the digital environment activity [In Russian]. Moscow: Nauka, 2022. 391 p.

About the author

Semyon Avraamovich Piyavsky (b. 1941). Graduated from the Faculty of Aircraft of the Kuibyshev Aviation Institute (1964) and postgraduate studies at the Flight Dynamics Department at the Ordzhonikidze Moscow Aviation Institute (1967). Doctor of Technical Sciences (2001), Professor (1995), Chief Researcher, Supervisor of the Inter-University Scientific and Methodological Laboratory of digital educational technologies for the development of creative ability of youth of the Samara branch of the Moscow City Educational University. Honored Worker of Higher School of Russia, Academician of the Academy of Earth Sciences and Academy of Nonlinear Sciences. He has published over 450 scientific papers in the field of system analysis, optimization techniques and decision-making, mathematical modeling, education systems and technologies. AuthorID (RCI): 149149. Author ID (Scopus): 14045611600. spiyav@mail.ru.

Received on May 2, 2023, after review on August 24, 2023. Accepted for publication on September 5, 2023.

Система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием автономных транспортных средств

© 2023, С.П. Орлов✉, С.В. Сусарев

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Аннотация

Автономные транспортные средства являются сложными объектами, оснащёнными средствами мониторинга технического состояния и передачи данных для диагностики и прогнозирования. Проектирование новых образцов автономных и роботизированных автомобилей неразрывно связано с разработкой системы технического обслуживания. Эффективное функционирование системы технического обслуживания обеспечивается использованием интеллектуальных технологий и цифровых двойников. В статье рассматривается подход к проектированию системы поддержки принятия решений при техническом обслуживании и ремонте парка автономных транспортных средств. Система поддержки принятия решений ориентирована на роботизированные автомобили сельскохозяйственного назначения. Предлагаемая структура системы носит общий характер и может использоваться в транспортно-логистических предприятиях различных отраслей экономики. Представлена общая архитектура системы технического обслуживания, включающая нейро-цифровой двойник транспортного средства, блок аналитики, имитационные модели процессов эксплуатации и сервисные центры. Компонентами нейро-цифрового двойника являются цифровые двойники агрегатов автомобиля, база знаний, онтология предметной области, искусственные нейронные сети и коллектив экспертов. Предлагаемый подход основан на сочетании интеллектуальных технологий и имитационного моделирования во взаимодействии с коллективом экспертов. Разработан комплекс имитационных моделей функционирования парка автономных транспортных средств. Для анализа процессов эксплуатации автономных автомобилей предложены модели, основанные на стохастических временных раскрашенных сетях Петри. Разработанная система поддержки принятия решений может быть использована на этапе виртуального ввода в эксплуатацию и при реальной работе автономных транспортных средств.

Ключевые слова: автономные автомобили, техническое обслуживание, система поддержки принятия решений, интеллектуальные технологии, цифровые двойники, имитационное моделирование.

Цитирование: Орлов С.П., Сусарев С.В. Система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием автономных транспортных средств // Онтология проектирования. 2023. Т. 13, №3(49). С. 424-436. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-424-436.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках соглашения № 075-15-2019-1364. Проект RFMEFI57718X0286.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Развитие многих отраслей экономики ставит задачу проектирования автономных (роботизированных) транспортных средств (ТС) промышленного назначения. Проектирование автономных транспортных средств (АТС) включает создание на ранних этапах развитой системы технического обслуживания (ТО) и ремонта (ТОиР) [1, 2]. Предпосылкой к этому является оснащение АТС системой мониторинга технического состояния в реальном времени.

В настоящее время при проектировании таких сложных объектов, как АТС, используется подход, называемый «виртуальный ввод в эксплуатацию» [3, 4]. Он основан на широком использовании цифровых двойников (ЦД) агрегатов ТС, что позволяет проводить виртуальные

испытания [5] и корректировать проектные решения конструкции АТС. В связи с этим уделяется внимание разработке моделей для ЦД агрегатов и элементов, а вопросы эксплуатации и обслуживания АТС решаются после создания и промышленного выпуска изделий.

Концепция Индустрия 4.0 стимулирует автоматизацию выпуска и эксплуатации ТС с использованием, в т.ч., интеллектуальных технологий. Опыт показал, что организация ТО ТС встречается со значительными неопределённостями, которые трудно учесть на этапе проектирования: разнообразие условий при эксплуатации, вероятностный характер износа и деградации элементов и агрегатов ТС, влияние случайных событий на поставки запасных частей, человеческий фактор.

Переход к Индустрии 5.0 призван обеспечить эффективное взаимодействие персонала и средств автоматизации и обработки данных [6, 7]. Разработка систем поддержки принятия решений (СППР) первоначально была ориентирована на максимальную формализацию выработки решений, а человек участвовал на этапе работы экспертных систем. Такой подход может привести к принятию решений, не отвечающих изменившимся условиям эксплуатации объекта. В соответствии с принципами Индустрии 5.0 участие человека (операторов, аналитиков, экспертов) в управлении должно быть активным и при эксплуатации объектов, чтобы минимизировать негативное влияние неопределённостей. Объединение технологий искусственного и человеческого интеллекта образует кибер-социальные системы [7]. В работе [8] введено понятие сложных трудно формализуемых систем, которые работают в условиях неопределённости и являются одним из классов цифровой экономики. Принятие решений в них проводится коллективным интеллектом, включающим искусственные интеллектуальные системы и нейро-цифровые двойники (НЦД) высококвалифицированных специалистов. Объединение НЦД в когнитивные системы позволит реализовать принципиально новые подходы в рамках концепции Индустрия 5.0 [9].

Разработка системы ТОиР для парка АТС направлена на создание средств оценки технического состояния с помощью моделирования производственных операций и процессов деградации и износа элементов АТС в течение всего периода эксплуатации. При этом должны осуществляться анализ адекватности моделей и корректировка баз знаний (БЗ) с помощью персонала, обслуживающего парк АТС.

В статье рассматривается подход к построению системы ТОиР, функционирующей в едином информационном пространстве с цифровыми сервисами, парком АТС, комплексом технологического оборудования основного производства и производителем АТС. Новизна подхода заключается в использовании в СППР имитационных моделей (ИМ) дискретно-событийного типа на сетях Петри [10, 11].

1 Система ТО АТС сельскохозяйственного назначения

Современные агротехнические комплексы имеют большую площадь обрабатываемых полей и различные производства по первичному приёму и обработке продукции. Они могут быть расположены на значительном расстоянии и связаны между собой дорогами, проходящими в малонаселённой местности. Создание роботизированных ТС в этом случае – актуальная задача, дающая экономический эффект и повышение производительности сельскохозяйственных работ¹. На рисунке 1 приведена обобщённая структура системы диагностики и прогнозирования технического состояния автономных грузовых автомобилей КАМАЗ сельскохозяйственного назначения [13].

¹ Исследования, описанные в настоящей статье, выполнялись в рамках НИР по проекту «Разработка роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей на базе семейства автомобилей КАМАЗ с автономным и дистанционным режимом управления» совместно с АО «КАМАЗ» [12].

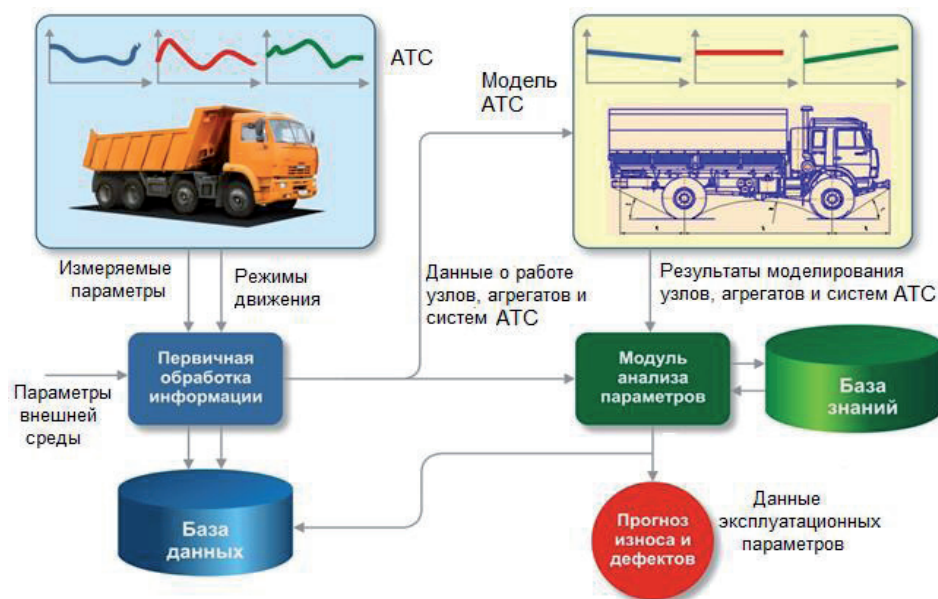


Рисунок 1 – Обобщённая структура системы диагностики автономных автомобилей КАМАЗ

Мониторинг состояния АТС выполняется в процессе его эксплуатации. Анализ технического состояния и прогноз осуществляется на базе ЦД АТС. Системой диагностики АТС решаются следующие задачи:

- обработка данных из бортовых систем АТС и запись информации в облачном хранилище;
- анализ и статистическая обработка измеряемых параметров для определения их достоверности;
- идентификация показателей функционирования узлов, агрегатов и систем АТС;
- сопоставление полученных данных с параметрами динамических моделей систем, адаптивных моделей износа и деградации систем АТС;
- анализ расхождения параметров бортовой системы АТС с модельными параметрами и выявление аварийных и предотказных состояний систем, агрегатов и узлов;
- статистический анализ отказов узлов, агрегатов, прогнозирование остаточного ресурса узлов, агрегатов и систем автомобиля;
- формирование рекомендаций по проведению прогнозного ТО АТС [13].

2 Организация системы ТО АТС

Проектирование системы ТОиР начинается на этапе виртуального ввода в эксплуатацию автономного автомобиля КАМАЗ. На этом этапе создаются ЦД и ИМ процессов выполнения производственных операций. Доработка моделей, уточнение условий и правил функционирования АТС выполняется в процессе эксплуатации.

Основу системы ТОиР составляет СППР, базирующаяся на интеллектуальных технологиях (рисунок 2). Своевременное снабжение запасными частями службы управления сервисом (СС) – ключевой фактор в обеспечении высокой экономической эффективности за счёт снижения времени простоя автомобилей в сервисном центре (СЦ). С этой целью также используется выездной мобильный сервис (МС).

Парк АТС включает три группы автомобилей:

- активные АТС, полностью готовые к эксплуатации;
- резервные АТС, которые находятся в работоспособном состоянии и могут при необходимости заменить активные АТС;

- канибализируемые (разбираемые) АТС, укомплектованные работоспособными агрегатами и элементами, которые могут быть использованы для замены элементов, вышедших из строя на активном АТС [14].

Взаимодействие производителей автомобилей и запасных частей с эксплуатирующим транспортным предприятием обеспечивает решение двух задач:

- своевременную поставку запчастей в СЦ,
- корректировку проектной, технологической и эксплуатационной документации АТС по результатам мониторинга и анализа эксплуатации.

В соответствии с принципами Индустрии 5.0 основные технологии принятия решений сосредоточены в НИЦД. Эта подсистема включает ЦД агрегатов, интеллектуальный анализ данных с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС), онтологию предметной области (ПрО) ТО и онтологические шаблоны, производционную БЗ и коллектив экспертов.

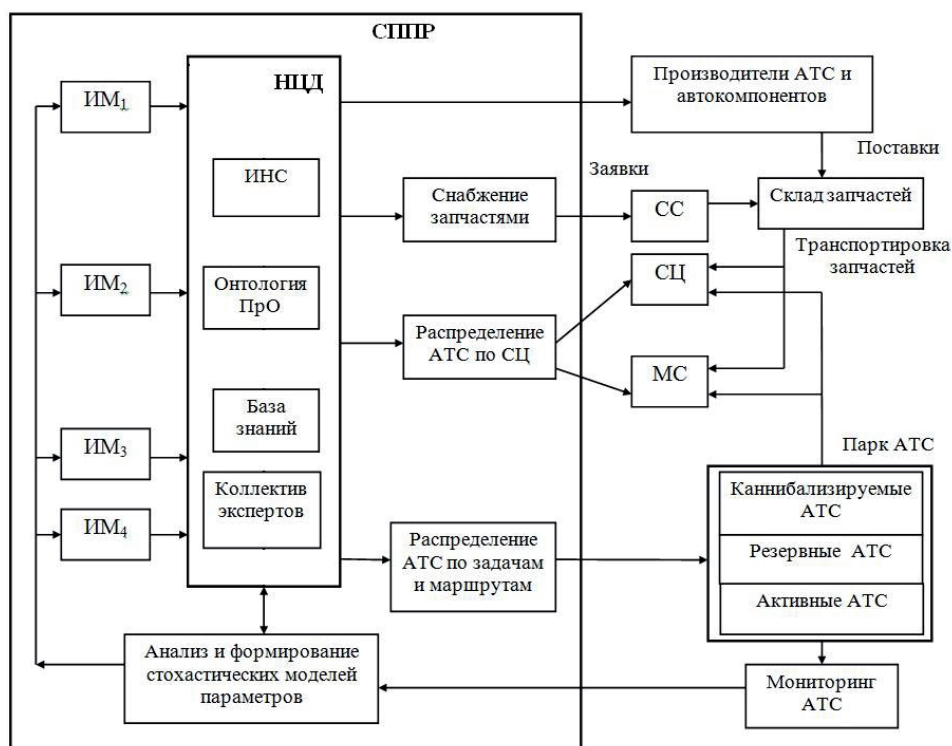


Рисунок 2 – Архитектура системы технического обслуживания и ремонта парка автономных транспортных средств

2.1 ЦД агрегатов АТС

Существующие методики и технологии моделирования позволяют создавать модели элементов, агрегатов и систем автомобилей на основе их феноменологии, протекающих процессов, инженерных и эксплуатационных параметров с использованием эмпирических и технических данных. Это даёт возможность создавать цифровые модели для прогнозирования и отработки процессов функционирования АТС.

ЦД автономного автомобиля – это модель, описывающая все характеристики объекта и процессов, связанных с его производством и эксплуатацией. ЦД позволяет создать копию физического мира, в которой фиксируются все данные о материалах, узлах, свойствах конструкции, выполняемых операциях и особенностях эксплуатации АТС.

При проектировании роботизированной транспортной системы автомобилей КАМАЗ реализован модельно-ориентированный подход [15]. Параметры, характеризующие действи-

тельное состояние систем и агрегатов АТС, получаемые с его борта, периодически сопоставляются с параметрами моделей ЦД, учитывающих износ компонентов, влияние окружающей среды, взаимовлияние систем автомобиля. По величине отклонений этих параметров от модельных значений осуществляется оценка состояния АТС, определение предотказных состояний систем и агрегатов, делается прогноз остаточного ресурса оборудования и систем.

2.2 Искусственные нейронные сети

ИНС рекуррентного типа обрабатывают временные ряды значений контролируемых параметров автономных автомобилей. После первичной обработки (см. рисунок 1) эта информация передаётся на входы ИНС. В результате выявляются тенденции к переходу в предотказные состояния агрегатов и элементов АТС и связанные с этим параметры. Другие классы ИНС (многослойные перцептроны и свёрточные нейронные сети) используются для классификации дефектов и предотказных состояний [16].

2.3 Онтология процесса ТОиР АТС

Процедура построения онтологии технического сервиса, ориентированного на агропромышленное производство, описана в работе [17]. В работах [18, 19] представлена методика построения БЗ на основе шаблонов онтологического проектирования и таблиц решений для ТО авиационной техники. Трансформация моделей при создании продукционной БЗ и таблицы решений описывается формальным выражением:

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

где Ont^{OWL} – код на языке OWL 2 DL , описывающий онтологию ПрО на основе онтологического шаблона, $Code^{KB}$ – программный код БЗ.

Основные этапы методики:

- построение онтологии на основе онтологического шаблона, созданного для ПрО «ТО»;
- формирование модели продукционной БЗ;
- уточнение и наполнение продукционной БЗ, формирование таблиц решений;
- интерпретация, генерация и отладка таблиц решений.

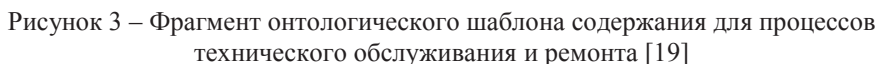
Данная методика послужила базой для построения онтологии ТОиР АТС в соответствии со стандартом [20]. Основой служит онтологический шаблон содержания описания процессов ТОиР технических объектов, предложенный в [19] (см. рисунок 3).

Для построения таблиц решений используются матрицы предотказных состояний элементов и систем АТС, которые получены при исследованиях фактических характеристик двигателя², устанавливаемого на автомобили КАМАЗ различных модификаций.

Фрагмент матрицы предотказных состояний для системы масляного охлаждения коробки передач приведён в таблице 1. Рассмотрены три основные характеристики: ошибка δT_N достижения номинального значения температуры; изменение длительности переходного процесса Δt ; изменение показателя колебательности переходного процесса δM . В таблице 1 обозначены: КЦ – количество циклов работы; ПР1 – процесс роста температуры масла в коробке передач при прогреве; ПР2 – процесс снижения температуры масла в коробке передач при охлаждении; РКПП – роботизированная коробка переключения передач.

Полные матрицы предотказных состояний содержат несколько сотен строк для всех основных элементов двигателя и других систем АТС. Эти матрицы используются для формирования продукционных правил вывода решений.

² Cummins ISBe6.7 E5 - дизельный двигатель объемом 6.7 литра и мощностью 242-292 л.с. с турбонаддувом.



3 Имитационные модели в СППР ТОиР

Для СППР (см. рисунок 2) разработаны ИМ дискретно-событийного типа. Они используются для исследований при различных сценариях условий эксплуатации АТС. Проведение статистических экспериментов на моделях позволяет обнаружить конфликты, недостатки определённых ресурсов, получить значения многих параметров, которые трудно или невозможно вычислить аналитически. В СППР включены следующие ИМ:

- ИМ1 – моделирование формирования заявок на снабжение запчастями СЦ, процессов их транспортировки и запросов к их производителям;
- ИМ2 – модель распределения АТС по СЦ или МС при появлении запросов на ТОиР;
- ИМ3 – модель распределения АТС по производственным задачам, моделирование процессов эксплуатации АТС;
- ИМ4 – моделирование процессов износа и деградации элементов узлов и агрегатов АТС, приводящих к дефектам или предотказным состояниям.

Разработанные ИМ базируются на использовании аппарата временных раскрашенных сетей Петри [11, 21]. Формальное определение сети Петри имеет вид:

$$PN=(C, B, P, T, A, V, F, w),$$

где C – конечное множество цветов; B – набор маркеров цветов $c \in C$; P – конечное множество позиций $\{p_1, \dots, p_m\} \in P$, каждая позиция p имеет цвет $c(p) \in C$ и набор маркеров $b(p) \subseteq B$ данного цвета; T – конечное множество переходов; V – конечное множество переменных $v(c) \in V$, соответствующих цветам $c \in C$; F – конечное множество функций, которые используются как выражения для описания действий на дугах, соединяющих позиции и переходы; A – матрица инцидентности позиций и переходов, w – функция времени срабатывания, присваивающая положительное целое число каждому переходу в сети.

Описание объектов с помощью цветных маркеров даёт возможность оперировать в модели с множеством, элементами которого являются отдельные автономные автомобили. При этом формальное описание параметров АТС задаётся в виде вектора:

$$ATS_j = (ID_j, Mod_j, RT_j, RL_j, MT_j, TI_j, TA_j), j=1, \dots, J, \quad (1)$$

где ID_j – номер j -го автомобиля, Mod_j – модель автомобиля, RT_j – наработка после последнего ТОиР, RL_j – остаточный ресурс, MT_j – оставшееся время до следующего ТО, TI_j – начало текущего периода эксплуатации, TA_j – суммарная наработка, J – количество АТС в парке.

Структура ИМ3, имитирующей выполнение АТС производственных задач, представлена на рисунке 4.

Главный модуль – анализатор основных временных параметров ТС в соответствии с выражением (1). В его функции входит отсчёт модельного времени наработки АТС, определение периодов до ТО, обработка запросов на события, появление которых определяется вероятностными законами $V_1, \dots, V_K$.

Модуль производственных операций реализует расписание работ на основе диаграммы Ганта. Модули ТО АТС и Ремонт АТС имитируют процессы обслуживания в СЦ.



Рисунок 4 – Структура имитационных моделей на сети Петри

Сетевые модели Петри строятся по иерархическому принципу: каждый отдельный модуль является сложной сетью Петри. В качестве инструментального средства создания и работы с сетями Петри использована программная система *CPN Tools* [22]. На рисунке 5 в качестве примера показана схемы работы анализатора временных параметров единичного АТС в системе *CPN Tools*.

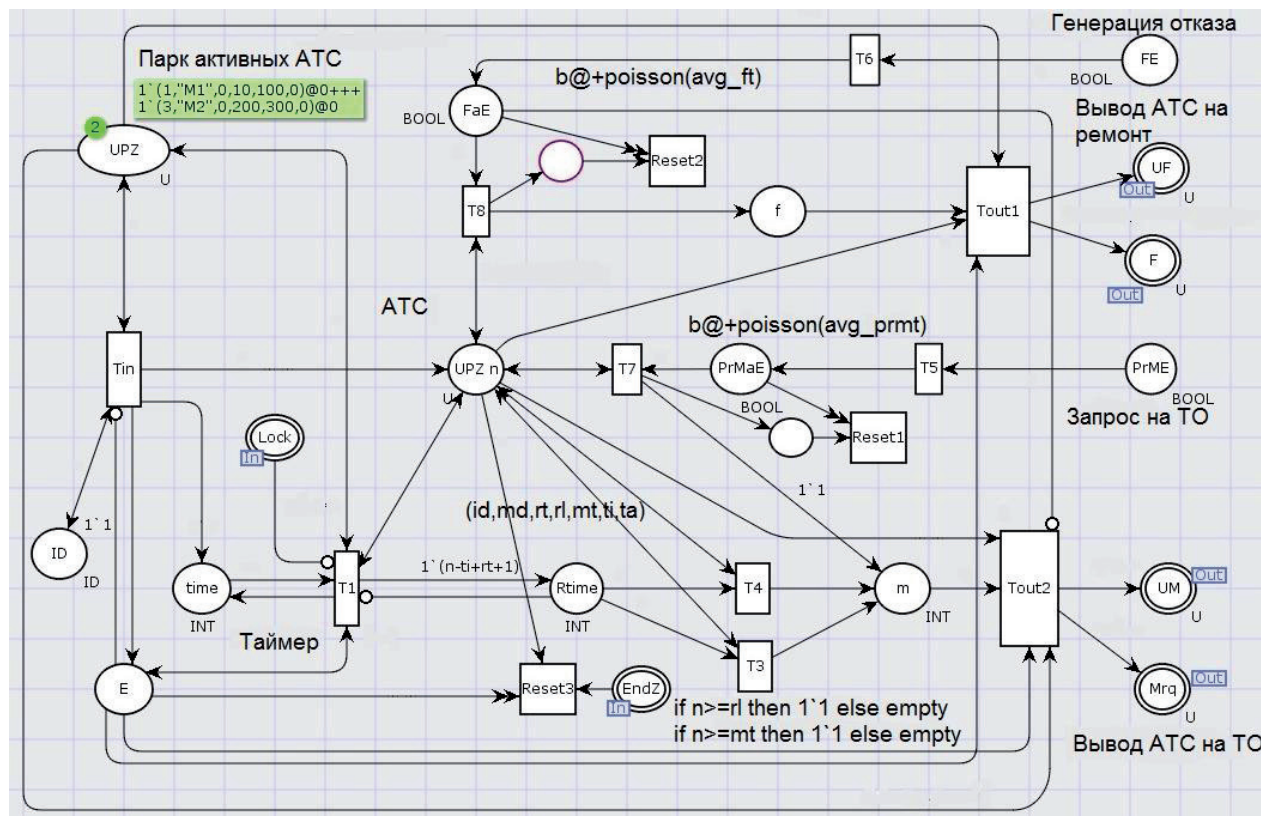


Рисунок 5 – Схемы работы анализатора временных параметров автономных транспортных средств в системе *CPN Tools*

Представленная модель анализатора осуществляет следующие функции:

- отсчёт модельного времени с фиксацией периодов ТО (Таймер, переход T1);
- контроль оставшегося времени до периодического ТО или до окончания остаточного ресурса (переходы T3 и T4);
- генерация случайных событий, распределённых по пуассоновскому закону: а) запросы на ТО и б) появление отказов (переходы T5 и T6 соответственно);
- вывод АТС на ремонт при отказе (переход Tout1) или на ТО (переход Tout2).

Начальная разметка в позиции UPZ парка АТС соответствует двум автономным автомобилям моделей M1 и M2 с временными параметрами начала данного периода эксплуатации.

Для моделирования случайных процессов в *CPN Tools* предусмотрено объявление выражений, приписанных к позициям, дугам или переходам сети. С помощью таких выражений задаются законы распределения вероятностей. На рисунке 5 на выходных дугах переходов T5 и T6 формируются последовательности маркеров в соответствии с пуассоновским законом (сети Петри позволяют имитировать события с различными законами распределения). В структуре СППР (рисунок 2) имеется блок анализа и формирования стохастических моделей для основных параметров АТС, а также для событий типа «отказ», «дефект», «запрос на обслуживание». Этот блок используется коллективом экспертов для коррекции НЦД и установки различных сценариев и режимов эксплуатации АТС.

4 Результаты вычислительных экспериментов

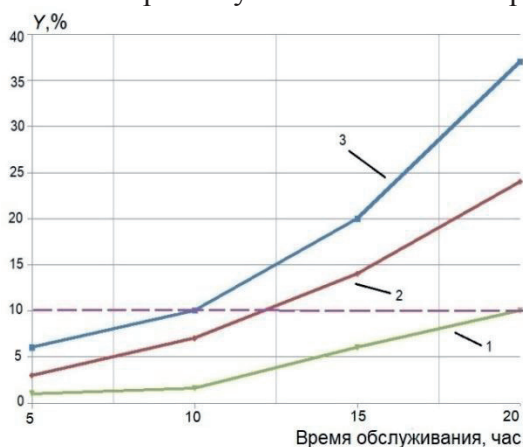
Построенные модели использованы при проведении вычислительных экспериментов с целью оценки эффективности выполнения производственных операций с применением АТС. Результаты анализа приведены для парка, состоящего из 12 автомобилей.

В качестве примера рассмотрена оценка выполнения в срок производственных задач. Для этого вычисляется коэффициент задержки выполнения задания $Y = (t_a - t_{sh})/t_{sh} \times 100\%$, где t_{sh} – длительность выполнения задания по расписанию, t_a – реальное время выполнения задания при отвлечении АТС на ТОиР.

На рисунке 6 показаны зависимости коэффициента Y от длительности выполнения ТО и времени t_{mt} до планового ТО по расписанию при распределении событий отказов оборудования АТС по пуассоновскому закону с интенсивностью $\lambda = 0.1 \times 10^{-3}$. Допустимое значение коэффициента задержки устанавливалось равным 10%. Видно, что увеличение периода t_{mt} между плановым обслуживанием приводит к увеличению срока выполнения заданий, так как повышается вероятность отказов оборудования АТС.

Был выполнен эксперимент для получения рекомендаций по использованию разбираемых (каннибализируемых) АТС в условиях нехватки запчастей: число разбираемых АТС – 3, время $T_{разб}$ ТО одного АТС с использованием разбираемых АТС от 6 до 12 часов, время t_{mt} между периодическим ТО – от 100 до 400 часов. Результаты моделирования на ИМ сети Петри работы парка АТС с резервными и разбираемыми автомобилями показаны на рисунке 7.

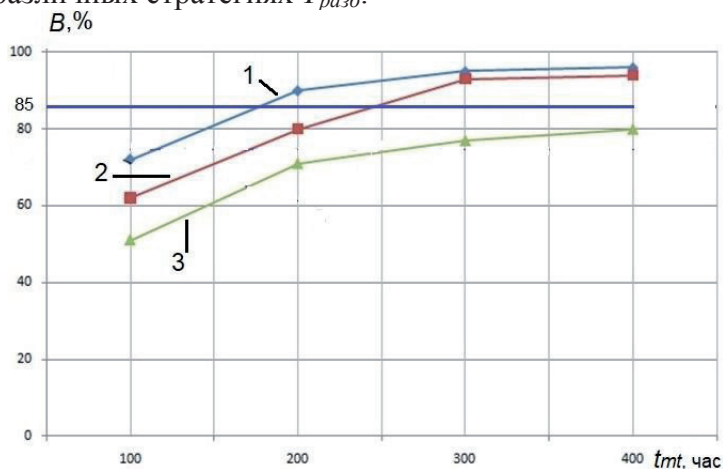
Рассчитывался коэффициент B использования автомобиля $B = t_r/t_c$, где t_r – время эксплуатации автомобиля с грузом, t_c – общее время эксплуатации, включающее ТОиР. Принимая допустимый уровень коэффициента использования, равный 85%, можно сформировать требования к режиму ТО автомобилей при различных стратегиях $T_{разб}$.



Время t_{mt} между ТО:

1 - 100 часов, 2 - 200 часов, 3 - 300 часов

Рисунок 6 - Зависимости коэффициента Y задержки выполнения производственного задания при заданной интенсивности отказов агрегатов автономных транспортных средств



1 - $T_{разб} = 6$ часов; 2 - $T_{разб} = 9$ часов; 3 - $T_{разб} = 12$ часов

Рисунок 7 - Зависимость коэффициента использования автономных транспортных средств от времени до планового ремонта t_{mt} и стратегии разборки $T_{разб}$

Заключение

Представлена архитектура системы ТО и структура СППР при организации эксплуатации, ремонта и ТО АТС. Оснащение средствами измерений и передачи данных современных автономных автомобилей, погрузчиков, комбайнов и других АТС позволяет обеспечить мо-

ниторинг их технического состояния. Разработан подход к построению СППР, опирающийся, в соответствии с концепцией Индустрия 5.0, на онтологии ПрО, интеллектуальные технологии, имитационное моделирование, ЦД и на взаимодействие коллектива экспертов.

Предложен ряд ИМ, базирующихся на стохастических временных раскрашенных сетях Петри и позволяющих исследовать процессы эксплуатации АТС с учётом вероятностных характеристик процессов деградации и износа элементов и узлов АТС.

Структура СППР и ИМ использованы при проектировании системы ТОиР роботизированных автомобилей сельскохозяйственного назначения.

Список источников

- [1] **Щербаков М.В., Сай Ван К.** Архитектура системы предсказательного технического обслуживания сложных многообъектных систем в концепции Индустрии 4.0. *Программные продукты и системы*. 2020. №2. С.186-194. DOI:10.15827/0236-235X.130.186-194.
- [2] **Sang G.M., Xu L., Vrieze P., Bai Y., Pan F.** Predictive Maintenance in Industry 4.0. In: Proc. of the 10th International Conference on Information Systems and Technologies (ICIST' 2020) (Lecce, Italy). 2020. DOI:10.1145/1234567890.
- [3] **Süß S., Magnus S., Thron M., Zipper H., Odefey U., Fäßler V., Strahilov A., Kłodowski A., Bär T., Diedrich C.** Test methodology for virtual commissioning based on behavior simulation of production systems. In: Proc. of 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (Berlin, Germany). 2016. P.1-9. DOI:10.1109/ETFA.2016.7733624.
- [4] **Novak P., Kadera P., Wimmer M.** Model-based engineering and virtual commissioning of cyber-physical manufacturing systems — Transportation system case study. In: Proc. of the 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (Limassol, Cyprus). 2017. P.1-4. DOI:10.1109/ETFA.2017.8247743.
- [5] **Орлов С.П., Бизюкова Е.Е., Яковлева А.Е.** Виртуальные испытания агрегатов для виртуального ввода в производство роботизированного автомобиля // *Вестник Самарского государственного технического университета*. Серия «Технические науки». 2021. Т. 29(1). С.46-57. DOI: 10.14498/tech.2021.1.4.
- [6] **Möller D.P.F., Vakildadian H., Haas R.E.** From Industry 4.0 towards Industry 5.0//In: Proc. Of the 2022 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT) (Mankato, MN, USA). IEEE Xplore, 2022. P.61-68. DOI: 10.1109/eIT53891.2022.9813831.
- [7] **Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М.** Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие. Экономика промышленности. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021. Т.14(4). С.375-395. DOI: 10.17073/2072-1633-2021-4-375-395.
- [8] **Клачек П.М., Бабкин А.В., Либерман И.В.** Функциональная гибридная интеллектуальная система принятия решений для трудноформализуемых производственно-экономических задач в цифровой экономике // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. Экономические науки. 2019. №1. С.21-32. DOI: 10.18721/JE.12102.
- [9] **Квинт В.Л.** Концепция стратегирования. Т.2. СПб.: СЗИУ РАНХиГС, 2020. 164 с.
- [10] **Lu Z., Liu J., Dong L., Liang X.** Maintenance Process Simulation Based Maintainability Evaluation by Using Stochastic Colored Petri Net. *Appl. Sci*. 2019. Vol.9, 3262. DOI:10.3390/app9163262.
- [11] **Orlov S.P., Susarev S.V., Uchaikin R.A.** Application of Hierarchical Colored Petri Nets for Technological Facilities' Maintenance Process Evaluation. *Appl. Sci*. 2021. Vol.11, 5100. DOI:10.3390/app1115100.
- [12] **Губанов Н.Г., Михеев Ю.В., Одинцов В.П., Ахтямов Р.Н., Морев А.С.** Архитектура системы диагностики и прогнозирования технического состояния роботизированного транспортного средства // *Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XXI международной конф. (3-6 сентября 2019 г., Самара, Россия)*. Самара: ООО "Офорт". 2019. С.171-174.
- [13] **Сусарев С.В., Орлов С.П., Бизюкова Е.Е., Учайкин Р.А.** Моделирование процессов прогнозного технического обслуживания роботизированных агротехнических автомобилей // *Математические методы в технологиях и технике*. 2021. № 1. С. 148-153. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_1_148.
- [14] **Sheng J., Prescott D.** A hierarchical coloured Petri net model of fleet maintenance with cannibalization // *Reliability Engineering & System Safety*. 2017. Vol.168. P.290–305. DOI:10.1016/j.res.2017.05.043.
- [15] **da Silva A.R.** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model // *Computer Languages, Systems & Structures*. 2015. Vol. 43. P.139-155. DOI:10.1016/j.cl.2015.06.001.
- [16] **Orlov S.P., Susarev S.V., Gubanov N.G., Sidorenko K.V., Morev A.S.** Intelligent Model-Based Diagnostic System for an Agricultural Robotic Vehicle System. In: Proc. of the 14th International Forum on Strategic Technolo-

- gy (IFOST 2019) (Tomsk, Russia). Tomsk: TPU Publishing House, 2019. P.469–474. DOI:10.1007/978-3-030-95116-0_13.
- [17] **Димитров В.П., Борисова Л.В., Жмайлов Б.Б.** Построение онтологии технического сервиса в агропромышленном комплексе // Вестник ДГТУ. 2011. Т.11. № 10(61). С.1771-1779.
- [18] **Грищенко М.А., Дородных Н.О., Коришунов С.А., Юрин А.Ю.** Разработка диагностических интеллектуальных систем на основе онтологий // Онтология проектирования. 2018. Т.8, №.2(28). С.265-284. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.
- [19] **Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.** Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники // Онтология проектирования. 2022. Т.12, № 2(44). С.158-171. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.
- [20] ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017.
- [21] **Jensen K., Kristensen M.** Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009. 382 p.
- [22] CPN Tools. Modeling with Coloured Petri Nets. <http://cpntools.org/2018/01/16/getting-started>.

Сведения об авторах



Орлов Сергей Павлович, 1946 г. рождения. Окончил Куйбышевский политехнический институт в 1969 г., д.т.н. (1991), профессор. Профессор кафедры «Вычислительная техника» Самарского государственного технического университета. Член Международной академии информатизации, член международного общества IEEE. В списке научных трудов более 230 работ в области компьютерных технологий, моделирования сложных систем, создания систем искусственного интеллекта. Author ID (РИНЦ): 105713; ORCID: 0000-0002-0009-9456; Author ID (Scopus): 57143799400; Researcher ID (WoS): D-5485-2014. orlovsp1946@gmail.com ✉.

Сусарев Сергей Васильевич, 1980 г. рождения. Окончил Самарский государственный технический университет в 2002 г., к.т.н. (2007), доцент. Заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Самарского государственного технического университета. В списке научных трудов более 100 работ в области автоматизации производства, интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Author ID (РИНЦ): 177221; ORCID: 0000-0002-7738-1644; Author ID (Scopus): 56708914300. susarev.sv@samgtu.ru.



Поступила в редакцию 22.08.2023, после рецензирования 25.08.2023. Принята к публикации 1.09.2023.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-424-436

Decision Support System for autonomous vehicle maintenance management

© 2023, S.P. Orlov✉, S.V. Susarev

Samara State Technical University, Samara, Russia

Abstract

Autonomous vehicles are complex objects equipped with the tools for monitoring the technical condition and transmitting data for diagnostics and prediction. The design of new models of autonomous and robotic vehicles is inextricably linked with the development of a maintenance system. The efficient functioning of the maintenance system is ensured by the use of intelligent technologies and digital twins. The article proposes an approach to designing a decision support system for the maintenance and repair of a fleet of autonomous vehicles. The decision support system is focused on

robotic agricultural vehicles. The proposed structure of the system is of a general nature and can be used in transport and logistics enterprises in various sectors of the economy. The general architecture of the maintenance system is presented, including the neuro-digital twin of the vehicle, the analytics unit, simulation models of operation processes, and service centers. The components of the neuro-digital twin are digital twins of car units, a knowledge base, domain ontology, artificial neural networks, and a team of experts. The proposed approach is based on a combination of intelligent technologies and simulation modeling in collaboration with a team of experts. A set of original simulation models for the operation of a fleet of autonomous vehicles has been developed. New models based on stochastic timed colored Petri nets are proposed to analyze the processes during the autonomous vehicle operation. The developed decision support system can be used both at the stage of virtual commissioning and in the real operation of autonomous vehicles.

Key words: *autonomous vehicles, maintenance, decision support systems, intelligent technologies, digital twins, simulation modeling.*

For citation: Orlov S.P., Susarev S.V. Decision Support System for autonomous vehicle maintenance management [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2023; 13(3): 424-436. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-424-436.

Financial Support: The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation supported this research in the framework of the financial agreement № 075-15-2019-1364. Project unique identifier - RFMEFI57718X0286.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - The generalized structure of the system for diagnosing the KAMAZ autonomous vehicles

Figure 2 - Autonomous vehicle fleet maintenance architecture

Figure 3 - A fragment of an ontological content pattern for maintenance and repair processes [19]

Figure 4 - The structure of the simulation model on a Petri net

Figure 5 - The autonomous vehicle time parameter analyzer on a stochastic timed colored Petri net

Figure 6 - Charts of the task completion delay ratio Y for vehicle's unit failure rate

Figure 7 - Charts of the autonomous vehicle operation ratio

Table 1 - A fragment of the pre-failure conditions matrix of the gearbox oil cooling system

References

- [1] **Shcherbakov MV, Sai Van K.** The architecture of the predictive maintenance system for complex multi-object systems in the concept of Industry 4.0 [In Russian]. *Software Products and Systems*. 2020; 2: 186-194. DOI:10.15827/0236-235X.130.186-194.
- [2] **Sang GM, Xu L, Vrieze P, Bai Y, Pan F.** Predictive Maintenance in Industry 4.0. In: *Proc. of the 10th International Conference on Information Systems and Technologies (ICIST' 2020) (Lecce, Italy)*. 2020. DOI:10.1145/1234567890.
- [3] **Süß S, Magnus S, Thron M, Zipper H, Odefey U, Fäßler V, Strahilov A, Kłodowski A, Bär T, Diedrich C.** Test methodology for virtual commissioning based on behavior simulation of production systems. In: *Proc. of 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (Berlin, Germany)*. 2016: 1-9. DOI:10.1109/ETFA.2016.7733624.
- [4] **Novak P, Kadera P, Wimmer M.** Model-based engineering and virtual commissioning of cyber-physical manufacturing systems — Transportation system case study. In: *Proc. of the 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (Limassol, Cyprus)*. 2017: 1-4. DOI:10.1109/ETFA.2017.8247743.
- [5] **Orlov SP, Bizyukova EE, Iakovleva AE.** Virtual tests of robotic vehicle units for virtual commissioning [In Russian]. *Bulletin of Samara State Technical University. Technical Sciences*. 2021; 29(1): 46-57. DOI: 10.14498/tech.2021.1.4.
- [6] **Möller DPF, Vakilzadian H, Haas RE.** From Industry 4.0 towards Industry 5.0. In: *Proc. of the 2022 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT) (Mankato, MN, USA)*. IEEE Xplore, 2022: 61-68. DOI: 10.1109/eIT53891.2022.9813831.
- [7] **Babkin AV, Fedorov AA, Liberman IV, Klachek PM.** Industry 5.0: concept, formation and development. *Economics of industry* [In Russian]. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021, 14(4): 375-395. DOI: 10.17073/2072-1633-2021-4-375-395.

- [8] **Klachek P. M., Babkin A. V., Liberman I. V.** Functional hybrid intelligent decision-support system for hard-to-formalize production and economic tasks in the digital economy [In Russian]. Scientific and Technical Statements of SPbSPU. Economic Sciences. 2019, 1: 21-32. DOI: 10.18721/JE.12102.
- [9] **Kvint VL.** The concept of strategizing [In Russian]. V.2. Saint-Petersburg: SZIU RANCH&GS publ.; 2020. 164 p.
- [10] **Lu Z, Liu J, Dong L, Liang X.** Maintenance Process Simulation Based Maintainability Evaluation by Using Stochastic Colored Petri Net. *Appl. Sci.* 2019; 9, 3262. DOI:10.3390/app9163262.
- [11] **Orlov SP, Susarev SV, Uchaikin RA.** Application of Hierarchical Colored Petri Nets for Technological Facilities' Maintenance Process Evaluation. *Appl. Sci.* 2021; 11, 5100. DOI:10.3390/app11115100.
- [12] **Gubanov NG, Mikheev YuV, Odintsov VP, Akhtiamov RN, Morev AS.** The architecture of the system for diagnosing and predicting the technical condition of a robotic vehicle [In Russian]. In: Complex Systems: Control and Modeling Problem, Proc. of the XXI Int. Conf. (Russia, 2019, September 3-6). Samara: Ofort; 2019: 171-174.
- [13] **Susarev SV, Orlov SP, Bizukova EE, Uchaikin RA.** Modeling the processes of predictive maintenance of robotic agricultural vehicles [In Russian]. Mathematical Methods in Technology and Engineering. 2021, 1: 148-153. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_1_148.
- [14] **Sheng J, Prescott D.** A hierarchical coloured Petri net model of fleet maintenance with cannibalisation// Reliability Engineering & System Safety. 2017, 168: 290–305. DOI:10.1016/j.res.2017.05.043.
- [15] **da Silva AR.** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model. *Computer Languages, Systems & Structures.* 2015, 43: 139-155. DOI:10.1016/j.cl.2015.06.001.
- [16] **Orlov SP, Susarev SV, Gubanov NG, Sidorenko KV, Morev AS.** Intelligent Model-Based Diagnostic System for an Agricultural Robotic Vehicle System. In: Proc. of the 14th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2019) (Tomsk, Russia). Tomsk: TPU Publishing House. 2019: 469–474. DOI:10.1007/978-3-030-95116-0_13.
- [17] **Dimitrov VP, Borisova LV, Zhmailov BB.** Building an ontology of technical service in the agro-industrial complex [In Russian]. *Bulletin of DGTU.* 2011; 11 (10): 1771-1779.
- [18] **Grishchenko MA, Dorodnykh NO, Korshunov SA, Yurin AY.** Ontology-based development of diagnostic intelligent systems [In Russian]. *Ontology of designing.* 2018; 8(2): 265-284. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.
- [19] **Dorodnykh NO, Nikolaychuk OA, Yurin AY.** Using ontological content patterns in knowledge base engineering for maintenance and repair of aviation equipment [In Russian]. *Ontology of designing.* 2022; 12(2): 158-171. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171
- [20] GOST 18322-2016. System of maintenance and repair of equipment. Terms and Definitions [In Russian]. Moscow: Russian scientific and technical information center for standardization, metrology and conformity assessment, 2017.
- [21] **Jensen K, Kristensen M.** Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems. Berlin/Heidelberg: Springer; 2009. 382 p.
- [22] CPN Tools. Modeling with Coloured Petri Nets. <http://cpntools.org/2018/01/16/getting-started>.

About the authors

Sergey Pavlovich Orlov (b. 1946) graduated from the Kuibyshev Polytechnic Institute (Kuibyshev, USSR) in 1969, D. Sc. Eng. (1991). He is a Professor at the Samara State Technical University (Department of computer technology). He is a member of the International Informatization Academy and a IEEE member. He is a co-author of more than 230 publications in the field of computer technology, complex systems simulation, and artificial intelligence systems. Author ID (RSCI): 105713; ORCID: 0000-0002-0009-9456; Author ID (Scopus): 57143799400; Researcher ID (WoS): D-5485-2014. orlovsp1946@gmail.com ✉.

Sergey Vasilevich Susarev (b. 1980) graduated from the Samara State Technical University in 2002, Candidate of Technical Sciences (2007). He is the Head of the Department of automation and manufacturing process management at the Samara State Technical University. He is a co-author of about 100 scientific articles in the field of production automation and intelligent decision support systems. Author ID (RSCI): 177221; ORCID: 0000-0002-7738-1644; Author ID (Scopus): 56708914300. susarev.sv@samgtu.ru.

Received August 22, 2023. Revised August 25, 2023. Accepted September 1, 2023.



Тематическое дешифрирование аэроснимков лесных территорий на основе концептуального моделирования

© 2023, К.В. Шошина✉, Р.А. Алешко, В.В. Березовский, И.С. Васендина, А.С. Шошин, А.Т. Гурьев

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

Аннотация

Дистанционное зондирование Земли является одним из главных источников информации о земной поверхности. С развитием беспилотных летательных аппаратов появилась возможность делать аэроснимки с высоким пространственным разрешением, по которым можно более точно идентифицировать объекты. Цель исследования - повышение достоверности интерпретации аэроснимков за счёт разработки методики автоматизированной обработки снимков на основе концептуального моделирования. Анализ методов тематического дешифрирования снимков показал, что ни один из них не обеспечивает необходимое качество сегментации без дополнительной настройки под предметную область. Применена методика концептуального моделирования предметных задач, которая обеспечивает адекватность синтаксических представлений (в т.ч. различных изображений), позволяет контролировать логику решения задач и уменьшить количество ошибок на этапе её программной реализации. Приведено описание информационной системы тематического дешифрирования снимков, реализующей разработанную методику. Проведена оценка достоверности тематического дешифрирования снимков лесных территорий. Показано, что разработанная методика позволила улучшить идентификацию лесных объектов на аэроснимках на 18,6%. Развитие данной методики может выполняться для определения характеристик идентифицируемых деревьев: возраст, порода, высота, запас древесины.

Ключевые слова: аэроснимки, кроны деревьев, концептуальное моделирование, тематическое дешифрирование, БПЛА, информационная система.

Цитирование: Шошина К.В., Алешко Р.А., Березовский В.В., Васендина И.С., Шошин А.С., Гурьев А.Т. Тематическое дешифрирование аэроснимков лесных территорий на основе концептуального моделирования // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №3(49). С.437-454. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-437-454.

Благодарности: авторы выражают признательность членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за замечания и рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Архангельской области проект № 22-11-20025.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

На предприятиях лесного комплекса активно внедряются средства автоматизации существующих процессов: геоинформационные системы, электронные карты, логистические системы и др. Для получения всесторонней оценки состояния лесных ресурсов проводят таксацию леса в составе лесоустроительных и лесоохранных работ, что является одной из главных задач в лесном хозяйстве. Таксацию леса можно проводить наземным способом, ведя сплошной перечень, при котором оценивается каждое дерево. При больших территориях этот способ невозможен в силу его трудоёмкости. Поэтому большое внимание уделяется дистанционному зондированию Земли.

В процессе развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), цифровых камер, систем точного геопозиционирования появились новые средства сбора актуальной пространственной информации. Технические и технологические новшества могут внести изменения в существующую модель лесного хозяйства при создании эффективных методик обработки, анализа и интерпретации получаемых данных. Поэтому разработка интеллектуальных систем распознавания данных является актуальной темой.

Разрабатываемые технологии интеллектуального анализа данных практически исключают участие человека из процесса распознавания снимков и при этом позволяют учитывать опыт эксперта в дешифрировании. Для организации взаимосвязи между объектами на местности и объектами и их свойствами на снимках предлагается использовать аппарат онтологии, позволяющий структурировать данные предметной области (ПрО) и устанавливать связи между объектами и их свойствами, структурировать информацию из разных ПрО [1-6].

Цель настоящего исследования заключается в повышении достоверности интерпретации крон деревьев по аэроснимкам БПЛА путём разработки и применения методики автоматизированной обработки аэроснимков на основе концептуального моделирования [7-10].

Для выполнения съёмки с воздуха был выбран квадрокоптер серии *DJI Phantom*, подобранные совместимые аксессуары (подвес и камера) и специализированный объектив «4K LENS 4.35 mm FLAT NDVI».

В качестве опытной площадки (см. рисунок 1) для выполнения исследований была выбрана территория дендросада Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (Архангельск), на которой произрастает разнообразный породный и возрастной состав деревьев, необходимый для проверки работоспособности разрабатываемой методики.

Характеристики используемых технических средств съёмки позволяют чётко различать кроны деревьев до высоты 200 метров. На рисунке 2 показан исходный фрагмент снимка лесного участка, на котором представлены кроны деревьев и межкروновые пространства.



Рисунок 1 - Вид опытной площадки на спутниковом снимке



Рисунок 2 - Исходный снимок с БПЛА

1 Используемые методы

Универсальных методов идентификации объектов на снимках не существует. Алгоритм дешифрирования должен быть адаптирован для конкретной исследуемой отрасли (тематически дешифрован).

Анализ методов тематического дешифрирования аэроснимков БПЛА [11-17], показал, что ни один из них не даёт достаточного качества сегментации без их дополнительной настройки под ПрО. Для разработки методики автоматизированной обработки аэроснимков БПЛА были выбраны методы фильтрации локальных максимумов и сегментации водораздела. Укрупнённый алгоритм включает определение по снимку границ лесных массивов, а далее выделение кроны каждого дерева отдельно.

Общая схема определения контуров включает операции: предобработка снимка; формирование маркеров; применение метода сегментации водораздела; извлечение и аппроксимация всех контуров. Метод сегментации водораздела может применяться несколько раз для каждого найденного контура кроны в целях повышения точности его выделения каждого дерева. Это обеспечивает определение контура кроны даже для деревьев с небольшими кронами.

При разработке методики автоматизированной обработки аэроснимков БПЛА и её программной реализации применялась методика концептуального моделирования предметных задач (ПрЗ) [7-10]. Концептуальное моделирование – процесс выявления системы знаний ПрО выделенной ПрЗ и фиксации полученных результатов в определённой форме [7]. Процесс концептуального моделирования состоит из следующих этапов описания:

- 1) динамической составляющей - формирование системы предметных зависимостей (ПЗ) с последующим составлением спецификаций;
- 2) статической составляющей - формирование основной концептуальной (понятийной) структуры;
- 3) модели в целом - увязка статической и динамической составляющих в виде матричной диаграммы.

Методика концептуального моделирования позволяет обеспечить адекватность синтаксических представлений (в т.ч. различных изображений), контролировать логику решения задач и уменьшить количество ошибок на этапе программной реализации.

2 Разработка методики

Использование стандартного метода сегментации водораздела не позволяет точно выделять кроны деревьев на снимке БПЛА. В зависимости от настраиваемых параметров результат будет либо обобщённым (многие кроны будут объединены в группу и будут считаться за одно дерево), либо чрезмерно раздробленным (из-за внутренних теней крона одного дерева будет считаться за несколько, а маленькие кроны деревьев не будут обнаружены). Поэтому задача решается в два этапа: определение контуров общей области крон деревьев и разбиение этих областей на контуры единичных деревьев.

На первом этапе маркеры для водораздела определяются методом фильтрации локальных максимумов, на втором - применением адаптивного порога на основе среднего значения. Такие маркеры можно сужать. При сужении маркеры могут разрываться, образуя из одного несколько. При малом сужении разгруппировать кроны не получится, а при большом – потеряются маленькие кроны. Чтобы этого избежать, второй этап повторяется для каждого контура отдельно с увеличением коэффициента сужения до тех пор, пока маркеры не исчезнут полностью. При каждом таком проходе контур, который был разгруппирован, удаляется из рассмотрения, а новые добавляются.

Составлены модельные представления для ПрЗ на основе концептуального моделирования [7, 8]: «первичное определение контуров»; «вторичное определение контуров»; «разгруппирование контуров» (промежуточная задача, обеспечивающая циклическое решение задачи «вторичное определение контуров» для каждого контура отдельно).

2.1 Модельное представление ПрЗ «первичное определение контуров»

Задача заключается в том, чтобы по исходному снимку БПЛА лесной территории выделить области с кронами насаждений без попытки разделить их на отдельные деревья. В результате решения этой задачи формируется список контуров. Общая схема решения задачи состоит в расчёте маркеров методом фильтрации локальных максимумов с применением Евклидова преобразования расстояния и использовании их для выделения объектов методом сегментации водораздела. Далее по найденным объектам можно найти их контуры.

Вначале описывается динамическая составляющая концептуальной модели ПрЗ. Проводится декомпозиция ПрЗ на подзадачи, их проверка и построение диаграмм (системы ПЗ), отражающих декомпозицию ПрЗ. Каждая ПЗ кодируется: буква обозначает ПрЗ, первое число – номер уровня декомпозиции, второе число – порядковый номер действия на уровне.

На рисунке 3 представлена диаграмма декомпозиции ПрЗ «первичное определение контуров», а на рисунках 4-7 – диаграммы декомпозиции сложных ПЗ (СПЗ): «применение метода», «формирование маркеров», «нахождение контуров всех объектов» и «нахождение контура текущего объекта».

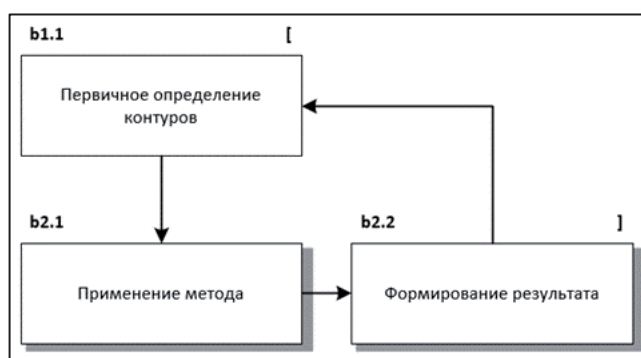


Рисунок 3 - Диаграмма декомпозиции предметной задачи «первичное определение контуров»

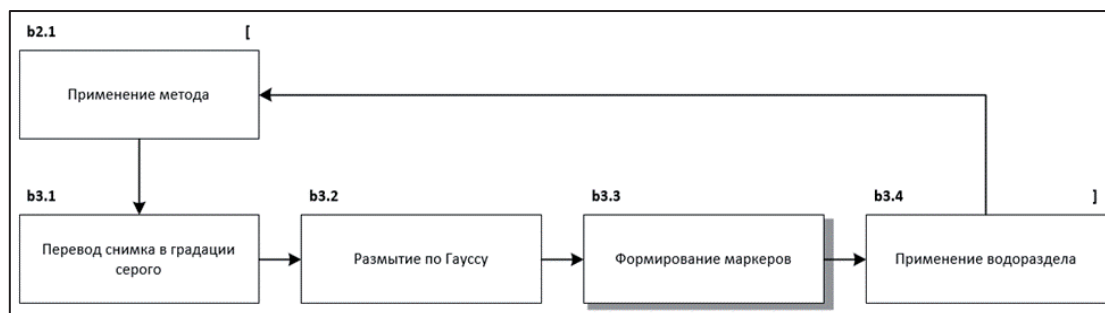


Рисунок 4 - Диаграмма декомпозиции сложной предметной зависимости «применение метода»

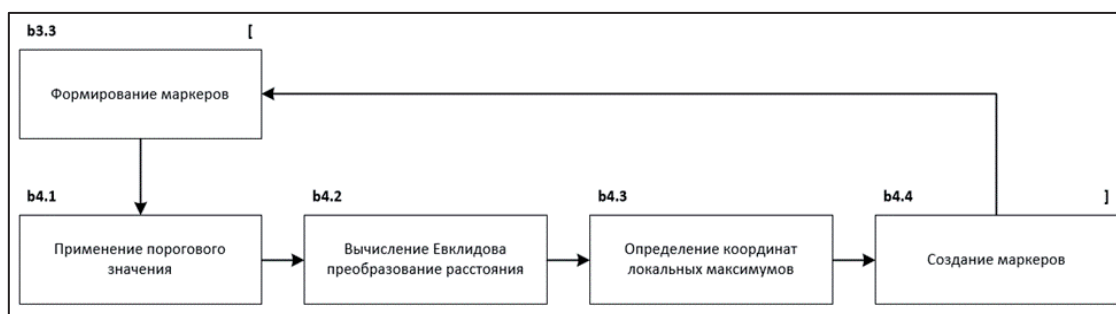


Рисунок 5 - Диаграмма декомпозиции сложной предметной зависимости «формирование маркеров»

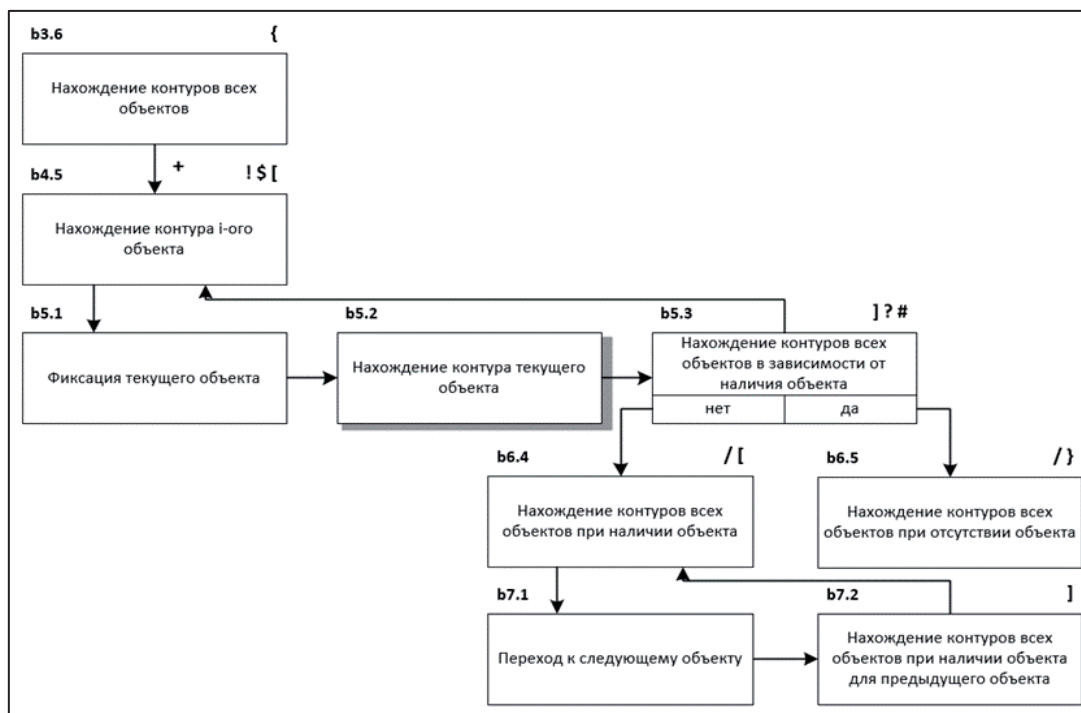


Рисунок 6 - Диаграмма декомпозиции сложной предметной зависимости «нахождение контуров всех объектов»

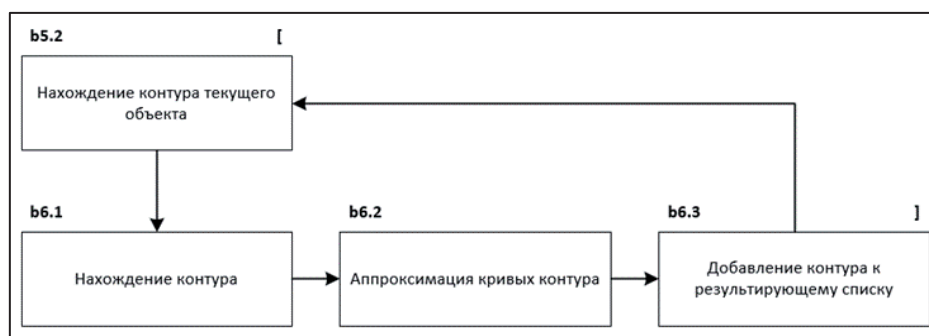


Рисунок 7 - Диаграмма декомпозиции сложной предметной зависимости «нахождение контура текущего объекта»

СПЗ имеют структурные свойства (см. таблицу 1). Роль параметра определяется функцией, которой соответствует структурное свойство. В таблице 2 приведено описание фрагмента структуры СПЗ ПрЗ «первичное определение контуров». В таблице 3 приведено описание всех ПЗ ПрЗ «первичное определение контуров».

Таблица 1 - Описание структурных свойств сложной предметной зависимости

Структурное свойство (действие)	Обозначение	Роль параметра
Заголовок последовательности	[	Функция последовательности
Последний элемент последовательности	]	Функция последовательности
Заголовок цикла	{	Функция цикла
Тело цикла	!	Счётчик цикла
Функция цикла	\$	Функция итерации
Конец цикла	}	Функция цикла
Заголовок переключателя	?	Аргумент альтернативы
Альтернатива переключателя	/	Аргумент альтернативы
Функция переключателя	#	Функция альтернативы

Таблица 2 - Описание фрагмента структуры сложной предметной зависимости предметной задачи «первичное определение контуров»

Код сложного действия	Код начального действия	Код конечного действия	Вид компоновки
b1.1	b2.1	b2.2	Последовательность
b2.1	b3.1	b3.2	Последовательность
	b3.2	b3.3	Последовательность
b2.2	b3.3	b3.4	Последовательность
	b3.5	b3.6	Последовательность
b3.3	b3.6	b3.7	Последовательность
	b4.1	b4.2	Последовательность
	b4.2	b4.3	Последовательность
b3.6	b4.3	b4.4	Последовательность
	b4.5	–	Цикл
b4.5	b5.1	b5.2	Последовательность
	b5.2	b5.3	Последовательность
b5.2	b6.1	b6.2	Последовательность
	b6.2	b6.3	Последовательность
b5.3	b6.4	–	Переключатель
	b6.5	–	Переключатель
b6.4	b7.1	b7.2	Последовательность

Таблица 3 - Описание предметной зависимости предметной задачи «первичное определение контуров»

Код	Наименование ПЗ	Степень формализации	Статус	Структурное свойство
b1.1	Первичное определение контуров	Алг.	П	[
b2.1	Применение метода	Алг.	П	[
b2.2	Формирование результата	Алг.	П	][
b3.1	Перевод снимка в градации серого	Ан.	Э	–
b3.2	Размытие по Гауссу	Ан.	Э	–
b3.3	Формирование маркеров	Алг.	П	[
b3.4	Применение водораздела	Ан.	Э	]
b3.5	Создание результирующего списка	Ан.	Э	–
b3.6	Нахождение всех контуров	Алг.	П	{
b3.7	Вывод результирующего списка	Ан.	Э	]
b4.1	Применение порогового значения	Ан.	Э	–
b4.2	Вычисление Евклидова преобразование расстояния	Ан.	Э	–
b4.3	Определение координат локальных максимумов	Ан.	Э	–
b4.4	Создание маркеров	Ан.	Э	]
b4.5	Нахождение контура i-ого объекта	Алг.	П	! \$ [
b5.1	Фиксация текущего объекта	Ан.	Э	–
b5.2	Нахождение контура текущего объекта	Алг.	П	[
b5.3	Нахождение контуров всех объектов в зависимости от наличия объекта	Ан.	П	] ? #
b6.1	Нахождение контура	Ан.	Э	–
b6.2	Аппроксимация кривых контура	Ан.	Э	–
b6.3	Добавление контура к результирующему списку	Ан.	Э	]
b6.4	Нахождение контуров всех объектов при наличии объекта	Алг.	П	/ [
b6.5	Нахождение контуров всех объектов при отсутствии объекта	Ан.	Э	/ }
b7.1	Переход к следующему объекту	Ан.	Э	–
b7.2	Нахождение контуров всех объектов при наличии объекта для предыдущего объекта	Ан.	Э	]

Степень формализации может быть аналитической (ан.), статистической (стат.), эмпирической (эмп.), алгоритмической (алг.), информационной (инф.). Статус ПЗ может быть элементарным (Э), промежуточным (П), квазиэлементарным (КЭ). При описании информационной составляющей задачи проводится классификация информации, определение и описание параметров ПрЗ.

При описании модели в целом проводится связь функциональной и информационной составляющих ПрЗ. В этом процессе необходимо описать все элементарные действия, потоки данных и структурные свойства ПрЗ. В таблице 4 приведено описание содержательных характеристик элементарных ПЗ ПрЗ «первичное определение контуров».

Таблица 4 - Описание содержания элементарных предметных зависимостей предметной задачи «первичное определение контуров»

Код	Наименование зависимости	Аргументы зависимости	Функция зависимости
b3.1	Перевод снимка в градации серого	Обозначение исходного снимка	Обозначение снимка в градации серого
b3.2	Размытие по Гауссу	Обозначение снимка в градации серого	Обозначение размытого снимка
b3.4	Применение водораздела	Евклидово преобразование расстояния; массив маркеров; порог	Обозначение массива объектов
b3.5	Создание результирующего списка	–	Обозначение результирующего списка
b3.7	Вывод результирующего списка	Обозначение результирующего списка	Обозначение результирующего списка
b4.1	Применение порогового значения	Обозначение размытого снимка	Порог
b4.2	Вычисление Евклидова преобразования расстояния	Порог	Евклидово преобразование расстояния
b4.3	Определение координат локальных максимумов	Евклидово преобразование расстояния; порог	Массив координат локальных максимумов
b4.4	Создание маркеров	Массив координат локальных максимумов	Массив маркеров
b5.1	Фиксация текущего объекта	Количество объектов (счётчик цикла)	Номер объекта
b6.1	Нахождение контура	Обозначение объекта	Обозначение контура
b6.2	Аппроксимация кривых контура	Обозначение контура	Обозначение контура
b6.3	Добавление контура к результирующему списку	Результирующий список; обозначение контура	Обозначение результирующего списка
b6.5	Нахождение контуров всех объектов при отсутствии объекта	Количество объектов; обозначение результирующего списка	Обозначение результирующего списка
b7.1	Переход к следующему объекту	Количество объектов	Количество объектов
b7.2	Нахождение контуров всех объектов при наличии объекта для предыдущего объекта	Номер объекта; обозначение результирующего списка	Обозначение результирующего списка

В таблице 5 приведено описание потоков данных, которое обеспечивает нормализованное описание содержательных характеристик (входных и выходных) для каждой элементарной ПЗ. Каждая категория может выполнять роль атрибута (А), функции (Ф) или атрибута по умолчанию (Ау). В таблице 6 описаны структурные свойства для ПЗ ПрЗ «первичное определение контуров».

Итогом концептуального моделирования является формирование матричной диаграммы, отражающей представление ПрЗ «первичное определение контуров» в целом. Фрагмент её представлен на рисунке 8. Для элементарных действий их роль заменяется знаками: «+» для аргумента, «.» для аргумента по умолчанию, «*» для функции.

Таблица 5 – Нормализованное описание содержания предметной зависимости предметной задачи «первичное определение контуров»

Код	Код категории	Роль	Код	Код категории	Роль
b3.1	A3.1 A3.2	A Ф	b4.4	A3.9 A3.5	A Ф
b3.2	A3.2 A3.3	A Ф	b5.1	A3.10 A1.1	Ay Ф
b3.4	A3.4 A3.5 A3.6 A3.7	A A A Ф	b6.1	A3.11 A3.12	A Ф
b3.5	A3.8	Ф	b6.2	A3.12 A3.12	Ay Ф
b3.7	A3.8 A3.8	Ay Ф	b6.3	A3.8 A3.12 A3.8	Ay A Ф
b4.1	A3.3 A3.6	A Ф	b6.5	A3.10 A3.8 A3.8	Ay Ay Ф
b4.2	A3.6 A3.4	A Ф	b7.1	A3.10 A3.10	Ay Ф
b4.3	A3.3 A3.6 A3.9	A A Ф	b7.2	A1.1 A3.8 A3.8	Ay Ay Ф

Таблица 6 - Описание структурных свойств предметной зависимости предметной задачи «первичное определение контуров»

Код	Код категории	Структурное свойство зависимости	Код	Код категории	Структурное свойство зависимости
b1.1	A3.8	[	b4.5	A3.10 A3.8 A3.8	! \$ [
b2.1	A3.7	[	b5.2	A3.8	[
b2.2	A3.8 A3.8	] [	b5.3	A3.8 A3.10 A3.8	] ? #
b3.3	A3.5	[	b6.3	A3.8	]
b3.4	A3.7	]	b6.4	A3.10 A3.8	/ [
b3.6	A3.8	{	b6.5	A3.10 A3.8	/ }
b3.7	A3.8	]	b7.2	A3.8	]
b4.4	A3.5	]			

Матричная диаграмма на рисунке 8 позволяет наглядно показать связь ПЗ (строк) с предметными категориями (столбцами). Обозначения на пересечениях строк и столбцов дают представления о структурах динамической составляющей концептуальной модели: последовательности, циклы, условия, входные и выходные параметры функции.

Матричная диаграмма позволяет проверить логику решения задачи. По матричной диаграмме проще программировать задачу, т.к. уже определены основные структуры и последовательности зависимостей.

	A1.1	A3.1	A3.2	A3.3	A3.4	A3.5	A3.6	A3.7	A3.8	A3.9	A3.10	A3.11	A3.12
b1.1									[				
b2.1								[					
b3.1		+	*										
b3.2			+	*									
b3.3						[							
b4.1				+			*						
b4.2					*		+						
b4.3				+			+			*			
b4.4						*]				+			
b3.4					+	+	+	*]					
b2.2									] [				
b3.5									*				
b3.6									{				
b4.5									\$ [		!		
b5.1	*										.		
b5.2									[				
b6.1												+	*
b6.2													. *
b6.3									. *]		.		
b5.3									] #		?		
b6.4									[		/		
b7.1											. *		
b7.2	.								. *]				
b6.5									. * }		. /		
b3.7									. *]				

Рисунок 8 - Фрагмент матричной диаграммы концептуальной модели предметной задачи «первичное определение контуров»

2.2 Модельное представление ПрЗ «вторичное определение контуров»

Похожее модельное представление имеет ПрЗ «вторичное определение контуров». Задача заключается в том, чтобы разделить контуры, полученные в результате решения ПрЗ «первичное определение контуров», на несколько частей, если в данной области находятся кроны нескольких деревьев.

Имеется изображение с областью исходного снимка одного из контуров. Решение ПрЗ «вторичное определение контуров» состоит из следующей последовательности действий:

- 1) смешивание цветов (пирамидная фильтрация среднего значения для сглаживания внутренних теней крон деревьев);
- 2) перевод снимка в градации серого;
- 3) применение порогового значения;
- 4) расширение снимка;
- 5) вычисление Евклидова преобразования расстояния;
- 6) применение адаптивного порога на основе среднего значения;
- 7) сужение снимка;
- 8) удаление шума;

- 9) создание маркеров;
- 10) применение сегментации водораздела;
- 11) нахождение контура (для каждого объекта);
- 12) аппроксимация кривых контура (для каждого объекта);
- 13) добавление контура к результирующему списку (для каждого объекта);
- 14) вывод результирующего списка.

2.3 Модельное представление ПрЗ «разгруппирование контуров»

Решение ПрЗ «разгруппирование контуров» является связующим звеном для перехода от ПрЗ «первичное определение контуров» к ПрЗ «вторичное определение контуров».

Имеется список обобщённых контуров, полученный в процессе выполнения первого этапа дешифрирования. Решение ПрЗ «разгруппирование контуров» осуществляется в следующей последовательности действий:

- 1) задание индекса эрозии (коэффициента сужения);
- 2) создание результирующего списка;
- 3) создание изображения с вырезанной областью контура (для каждого контура);
- 4) проведение вторичного определения контуров (для каждого контура);
- 5) замена текущего контура на новый (для каждого контура при условии нахождения более одного контура);
- 6) перенос контура из исходного списка в результирующий (для каждого контура при условии достижения предела эрозии);
- 7) увеличение индекса эрозии;
- 8) вывод результирующего списка.

Действия 3-7 выполняются до тех пор, пока не будут разгруппированы все возможные контуры (пока не будет достигнут индекс эрозии, при котором сотрутся все маркеры).

2.4 Методика автоматизированной обработки снимков БПЛА

Разработанная методика состоит из первичного определения контуров и их дальнейшего разгруппирования, которое включает в себя вторичное определение контуров.

Первичное определение контуров состоит из следующей последовательности действий:

- 1) предобработка снимка (перевод в градацию серого, размытие по Гауссу);
- 2) формирование маркеров (применение порогового значения, вычисление Евклидова преобразования расстояния, определение локальных максимумов);
- 3) применение метода сегментации водораздела;
- 4) извлечение и аппроксимация всех контуров.

Разгруппирование контуров выполняется для каждого контура, полученного в ходе первичного определения. Оно состоит из следующей последовательности действий:

- 1) задание начального коэффициента сужения;
- 2) вырезание из исходного снимка области внутри контура;
- 3) вторичное определение контура;
- 4) если разделение произошло, то полученные контуры заменяют исходный;
- 5) повторение действий 2-4, увеличивая коэффициент сужения, до тех пор, пока вторичное определение контура не перестанет находить контуры.

Вторичное определение контуров состоит из следующей последовательности действий:

- 1) предобработка снимка (смешивание цветов, перевод в градацию серого);

- 2) формирование маркеров (применение порогового значения, расширение снимка, вычисление Евклидова преобразования расстояния, применение адаптивного порога на основе среднего значения, сужение снимка, удаление шума);
- 3) применение метода сегментации водораздела;
- 4) извлечение и аппроксимация всех контуров.

3 Описание информационной системы

Для разработки информационной системы (ИС) были использованы следующие библиотеки Python:

- *OpenCV* и *scikit-image (skimage)* для обработки изображений и компьютерного зрения;
- *GDAL/OGR* для работы с растровыми и векторными геопространственными данными;
- *SciPy* для расчёта Евклидова преобразования расстояния;
- *NumPy* для работы с многомерными массивами (в таком формате представлены снимки БПЛА для обработки);
- *PyQt* для создания пользовательского интерфейса.

Функции, связанные с тематическим дешифрированием, представлены в таблице 7. Все фиксированные числовые значения, используемые в функциях, были получены опытным путём.

Таблица 7 - Функции информационной системы, связанные с тематическим дешифрированием

Функция	Входные данные	Выходные данные	Описание
<i>TreeIdentification1</i>	img (снимок)	Список контуров	Первичное определение контуров
<i>Ungroup</i>	img (снимок), contours (список контуров)	Список контуров	Разгруппирование контуров нескольких деревьев
<i>TreeIdentification2</i>	img (снимок), iter (степень эрозии)	Список контуров	Вторичное определение контуров
<i>ExpansionContours</i>	img (снимок), eas (список контуров)	Контур	Расширение контуров
<i>VectorizationContours</i>	lst (список контуров), path (путь с именем для сохранения), img (снимок)	–	Сохранение результатов дешифрирования
<i>ConvertCoordinates</i>	x и y (пиксельные координаты), listGeo (список информации о географии снимка)	Географические координаты	Преобразование пиксельных координат в географические
<i>DefinPropertiesPolygon</i>	img (снимок), contours (список контуров), listGeo (список информации о географии снимка)	Списки параметров полигонов	Определение параметров полигонов

Функция *TreeIdentification1* выделяет контуры крон деревьев без разгруппирования. Исходный снимок переводится в градации серого функцией *cv2.cvtColor*. *cv2.GaussianBlur* размывает по Гауссу снимок для сглаживания внутренних теней крон деревьев. *cv2.threshold* применяет порог фиксированного уровня. Функция *ndimage.distance_transform_edt* вычисляет Евклидово преобразование расстояния. *peak_local_max* находит пики локальных максимумов. На их основе функция *ndimage.label* создаёт маркеры для водораздела. *watershed* возвращает матрицу, помеченную с использованием алгоритма сегментации водораздела. Далее выделяется контур каждого определённого объекта. Цикл повторяется по каждому объекту сегментации. Создаётся изображение с размерами исходного снимка, заполненное чёрным

цветом. На нём отображается белый силуэт объекта. Функция *cv2.findContours* находит контур этого объекта. Кривые контура аппроксимируются, и он добавляется к списку контуров, если его площадь больше определённого минимума (это необходимо для отсеивания помех). Контур, полученный в результате работы функции *TreeIdentification1*, представлен на рисунке 9.

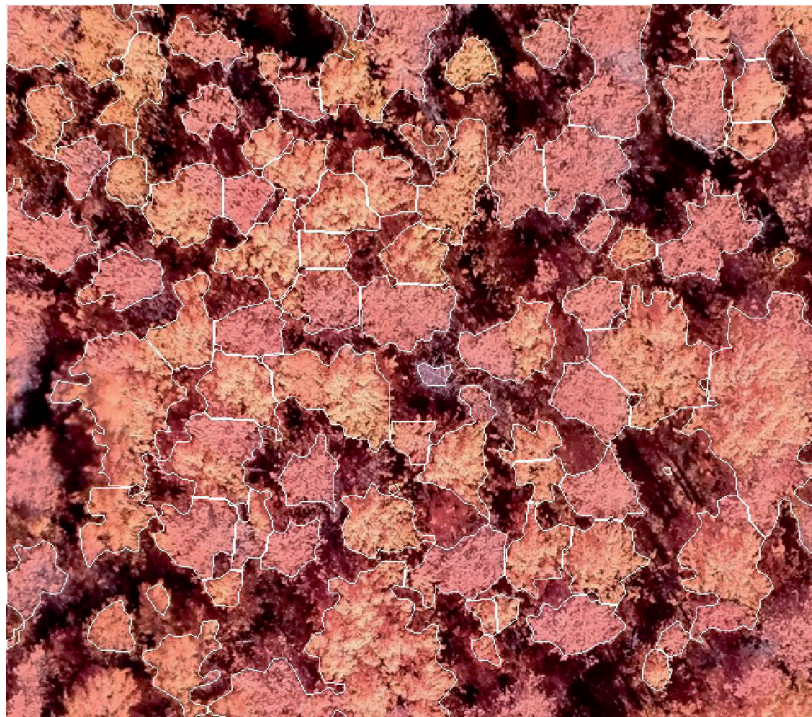


Рисунок 9 - Контур, полученный в результате работы функции *TreeIdentification1*

Функция *TreeIdentification2* отвечает за разделение одного контура, если он включает кроны нескольких деревьев. На рисунке 10 представлен пример входного изображения одиночного контура. Изображение переводится в градации серого функцией *cv2.cvtColor*. *cv2.threshold* применяет порог фиксированного уровня. На рисунке 11 представлен пример порога фиксированного уровня. *cv2.dilate* расширяет снимок для устранения случайных разрывов. На рисунке 12 представлен пример расширения снимка. *cv2.distanceTransform* вычисляет Евклидово преобразование расстояния. Диапазон значений нормируется к стандартной градации изображений в оттенках серого функцией *cv2.normalize*. На рисунке 13 представлен пример нормализованного Евклидова преобразования расстояния. *cv2.adaptiveThreshold* применяет адаптивный порог на основе среднего значения. На рисунке 14 представлен пример адаптивного порога на основе среднего значения. Функция *cv2.erode* сужает изображение в соответствии с выбранным количеством итераций, а *cv2.morphologyEx* удаляет возникший шум. На рисунке 15 представлен пример сужения снимка.

В переменную *unknown* записываются неизвестные области с помощью вычитания функции *cv2.subtract*. *cv2.connectedComponents* создаёт маркеры для сегментации водораздела. Добавляется последний маркер, обозначающий оставшуюся территорию. *cv2.watershed* выполняет сегментирование изображения на основе маркера с использованием алгоритма водораздела. На рисунке 16 представлен пример результата работы алгоритма водораздела.

Этот результат необходимо обработать функциями *cv2.threshold*, *cv2.erode* и *cv2.findContours*, чтобы найти контуры близко стоящих друг к другу объектов. Кривые всех найденных контуров аппроксимируются, и они добавляются к списку контуров, если их площади больше определённого минимума (это необходимо для отсеивания помех).



Рисунок 10 - Пример входного изображения одиночного контура



Рисунок 11 - Пример порога фиксированного уровня



Рисунок 12 - Пример расширения снимка



Рисунок 13 - Пример нормализованного Евклидова преобразования расстояния



Рисунок 14 - Пример адаптивного порога на основе среднего значения



Рисунок 15 - Пример сужения снимка

Функция *ExpansionContours* выполняет расширение контура, необходимое после выполнения функции *TreeIdentification2*. На нём отображается белый силуэт объекта. Применяется преобразование расстояния. Функция *cv2.inRange* берёт все пиксели, лежащие в данном диапазоне. *cv2.findContours* находит расширенный контур, являющийся результатом работы функции *ExpansionContours*.

Функция *VectorizationContours* сохраняет контуры крон деревьев и их характеристики в файл формата *SHP*. Вначале создаётся пустой файл. Средствами *GDAL* открывается исходный снимок, из которого импортируется информация о системе географических координат и информация о географических трансформациях в список *listGeo*. *CreateLayer* создаёт слой для хранения полигонов, *FieldDefn* и *CreateField* создают поля для атрибутов полигонов.

Функция *ConvertCoordinates* конвертирует пиксельные координаты в широту и долготу на основе информации о географии исходного снимка.



Рисунок 16 - Пример результата работы алгоритма водораздела

4 Оценка результатов

При обработке спутниковых снимков невозможно выделить каждый объект отдельно из-за низкого разрешения, поэтому они объединяются в группы. Высокое разрешение снимков БПЛА позволяет это сделать. Поэтому необходимо оценить достоверность идентификации каждого объекта. Из 113 деревьев стандартным методом водораздела правильно было определено 59 (52,2%), а разработанной методикой – 80 (70,8%). Разработанная методика позволила улучшить идентификацию объектов на 18,6%.

Заключение

Разработан прототип ИС, позволяющий на данном этапе идентифицировать контуры отдельных деревьев. Алгоритмы реализованы в виде программного средства на языке программирования *Python* на основе методики концептуального моделирования, позволяющей автоматизировать обработку и интерпретацию снимков с БПЛА лесных территорий.

В тестовом примере разработанная методика позволила улучшить идентификацию лесных объектов на снимках БПЛА на 18,6%. Развитие данной методики может выполняться для определения характеристик идентифицируемых деревьев: возраст, порода, высота, запас древесины.

Список источников

- [1] **Боргест Н.М.** Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»: краткая история личностного опыта. *Онтология проектирования*. Т.10, №4(38). 2020. С.415-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.
- [2] **Боргест Н.М.** Границы онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. Т.7. №1(23). 2017. С.7-33.
- [3] **Ломов П.А.** Применение паттернов онтологического проектирования для создания и использования онтологий в рамках интегрированного пространства знаний. *Онтология проектирования*. Т.5. №2(16). 2015. С.233-245.
- [4] **Смирнов С.В.** Онтологический подход к формированию гетерогенных сред моделирования. *Вестник Самарского государственного технического университета*. Серия: Технические науки. №. 4. 2011. С. 50-61.
- [5] **Мохов В.А.** Концептуальное моделирование как основа проектирования сложных систем. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. №. 2 (198). 2018. С. 40-47.
- [6] **Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В.** Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации (часть 1). *Новости искусственного интеллекта*. 2002. №1(49). С.3-13.
- [7] **Волкова Г.Д.** Концептуальное моделирование проектных задач. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2016. 117 с.
- [8] **Волкова Г.Д.** Методология автоматизации интеллектуального труда. М.: Янус-К, 2013. 102 с.
- [9] **Новоселова О.В.** Моделирование предметных задач на начальных этапах автоматизации проектной деятельности. М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2016. 100 с.
- [10] **Vasendina I., Shoshina K., Guriev A., Aleshko R.** Automated processing of unmanned aerial vehicles images based on conceptual modeling of objective tasks. In: *Journal of Physics: Conference Series*, 2020. Volume 1553, Issue 1.
- [11] **Gonzales RC.** Digital Image Processing. 3rd ed. RC. Gonzales, RE. Woods; – New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2008.
- [12] **Larsen M., Eriksson M., Descombes X., Perrin G., Brandtberg T., Gougeon F.** Comparison of six individual tree crown detection algorithms evaluated under varying forest conditions. *International Journal of Remote Sensing*. 2011. V.32, №20. P.5827–5852.
- [13] **Baddeley A.J., MNM Van Lieshout.** Stochastic geometry models in high-level vision. *Journal of Applied Statistics*. 1993. V.20, № 5-6. P.231–256.
- [14] **Ke Y., Quackenbush L.J.** A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 2011. V.32, №17. P.4725–4747.
- [15] **Pouliot D.A., King D.J., Bell F.W., Pitt D.G.** Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sensing of Environment*. 2002. V.82, № 2. P.322–334.
- [16] **Gougeon F.** A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 1995. V.21, № 3. P.274–284.
- [17] **Szeliski, R.** Computer vision: algorithms and applications. 1st ed; London : Springer-Verlag, 2010.
- [18] **Shoshina K., Vasendina I., Volkova G., Tyurbeeva T.** Development of a methodology for determining overgrown agricultural fields based on data from unmanned aerial vehicles on computer vision. in Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2021, 11758, 117580V.
- [19] **Алешко Р.А., Гурьев А.Т.** Методика тематического дешифрирования аэрокосмических снимков таежных лесов с использованием методов системного анализа. *Arctic Environmental Research*. 2013. №3. С.126-132.
- [20] **Embley D.W., Thalheim B.** Handbook of conceptual modeling: theory, practice, and research challenges: Springer Science & Business Media, 2012.

- [21] **Guizzardi G., Wagner G.** Using the unified foundational ontology (UFO) as a foundation for general conceptual modeling languages. *Theory and applications of ontology: computer applications*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. P.175-196.
- [22] **Wand Y., Storey V.C., Weber R.** An ontological analysis of the relationship construct in conceptual modeling. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*. 1999. Т.24. №4. P.494-528.
- [23] **Guizzardi G.** Towards ontological foundations for conceptual modeling: The unified foundational ontology (UFO) story. *Applied ontology*. 2015. Т.10. №3-4. P.259-271.

Сведения об авторах



Шошина Ксения Владимировна, 1982 г. рождения. Окончила Архангельский государственный технический университет (АГТУ) в 2005 г., к.т.н. (2016). Доцент кафедры информационных систем и информационной безопасности Северного (Арктического) федерального университета (САФУ) имени М.В. Ломоносова, с.н.с. Центра искусственного интеллекта и анализа больших данных САФУ имени М.В. Ломоносова. В списке научных трудов более 60 работ в области системного анализа и интеллектуального анализа пространственных данных. Author ID (РИНЦ): 616230; Author ID (Scopus): 56588048300; Researcher ID (WoS): N-3539-

2016. k.shoshina@narfu.ru. ✉.

Алешко Роман Александрович, 1987 г. рождения. Окончил АГТУ в 2009 г., к.т.н. (2014). Профессор кафедры информационных систем и информационной безопасности САФУ имени М.В. Ломоносова, с.н.с. Центра искусственного интеллекта и анализа больших данных САФУ имени М.В. Ломоносова. В списке научных трудов более 50 работ в области создания методов анализа и интерпретации данных с космических спутников и беспилотных летательных аппаратов. Author ID (РИНЦ): 609474; Author ID (Scopus): 56588041100; Researcher ID (WoS): ABF-8022-2020. r.aleshko@gmail.com



Березовский Владимир Валерьевич, 1978 г. рождения. Окончил *Lulea University of Technology*, Швеция в 2002 г. и Поморский Государственный университет имени М.В. Ломоносова в 2003 г., к.ф.-м.н. (2009). Профессор кафедры информационных систем и информационной безопасности САФУ имени М.В. Ломоносова, с.н.с. Центра искусственного интеллекта и анализа больших данных САФУ имени М.В. Ломоносова. В списке научных трудов более 60 работ в области вычислительной физики, геоинформатики и ИИ. SPIN-код(SCIENCE INDEX): 5042-1121, AuthorID(РИНЦ): 602408; Author ID (Scopus): 24330874600; Researcher ID

(WoS): W-3888-2017. v.berезovsky@narfu.ru.

Васендина Ирина Сергеевна, 1988 г. рождения. Окончила Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) в 2010 г., к.т.н. (2018). Доцент кафедры информационных систем и информационной безопасности САФУ имени М.В. Ломоносова, с.н.с. Центра искусственного интеллекта и анализа больших данных САФУ имени М.В. Ломоносова. В списке научных трудов более 30 работ в области системного анализа и ИИ. Author ID (РИНЦ): 852915; Author ID (Scopus): 57217135305; Researcher ID (WoS): AAO-3831-2020. i.vasendina@narfu.ru.



Шошин Алексей Сергеевич, 1983 г. рождения. Окончил АГТУ в 2005 г., к.т.н. (2016). Ассистент кафедры информационных систем и информационной безопасности САФУ имени М.В. Ломоносова. В списке научных трудов 3 работы в области системного анализа и ИИ. ashoshin@gmail.com.

Гурьев Александр Тимофеевич, 1949 г. рождения. Окончил Архангельский лесотехнический институт им. В.В. Куйбышева в 1971 г., к.т.н. (1980), д.т.н. (2012). Профессор кафедры информационных систем и информационной безопасности САФУ имени М.В. Ломоносова. В списке научных трудов более 70 работ в области системного анализа и ИИ. Author ID (РИНЦ): 495876; Author ID (Scopus): 56587843700; Researcher ID (WoS): AAO-3894-2020. atgli@rambler.ru.



Поступила в редакцию 24.05.2023, после рецензирования 14.08.2023. Принята к публикации 31.08.2023.



Thematic interpretation of aerial photographs of forest areas based on conceptual modeling

© 2023, K.V. Shoshina✉, R.A. Aleshko, V.V. Berezovsky, I.S. Vasendina, A.S. Shoshin, A.T. Guryev

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Abstract

Earth remote sensing (ERS) is one of the main sources of information about the earth's surface. With the development of unmanned aerial vehicles (UAVs), it became possible to take aerial photographs with high spatial resolution, which can be used to more accurately identify objects. The purpose of the study is to increase the reliability of aerial imagery interpretation by developing a methodology for automated image processing based on conceptual modeling. An analysis of the methods for thematic interpretation of images showed that none of them provides sufficient quality of segmentation without additional adjustment to the subject area. The technique of conceptual modeling of subject tasks is applied, which ensures the adequacy of syntactic representations (including various images) and makes it possible to control the logic of solving problems and reduce the number of errors at the stage of its software implementation. The description of the information system for thematic interpretation of images, which implements the developed methodology, is given. An assessment was made of the reliability of thematic interpretation of images of forest areas. It is shown that the developed technique allowed to improve the identification of forest objects on aerial photographs by 18.6%. The development of this technique can be carried out to determine the characteristics of identifiable trees: age, species, height, and wood stock.

Key words: aerial photographs, tree crowns, conceptual modeling, thematic interpretation, UAV, information system.

For citation: Shoshina K.V., Aleshko R.A., Berezovsky V.V., Vasendina I.S., Shoshin A.S., Guryev A.T. Thematic interpretation of aerial photographs of forest areas based on conceptual modeling [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 437-454. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-437-454.

Acknowledgment: This work was supported by the Russian Science Foundation and the Government of the Arkhangelsk region under grant № 22-11-20025.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 – Experimental site on a satellite image

Figure 2 – Original image from a UAV

Figure 3 – Decomposition diagram of the "Primary definition of contours" subject task

Figure 4 – Decomposition diagram of the "Application of the method" complex subject dependence

Figure 5 – Decomposition diagram of the "Formation of markers" complex subject dependence

Figure 6 – Decomposition diagram of the "Finding the contours of all objects" complex subject dependence

Figure 7 – Decomposition diagram of the "Finding the contour of the current object" complex subject dependence

Figure 8 – A fragment of the matrix diagram of the conceptual model of the "Primary definition of contours" subject task

Figure 9 – Contours resulting from the TreeIdentification1 function

Figure 10 – An example of a single contour input image

Figure 11 – Fixed level threshold example

Figure 12 – Example of a snapshot extension

Figure 13 – An example of a normalized Euclidean distance transform

Figure 14 – An example of an adaptive threshold based on the mean

Figure 15 – Image narrowing example

Figure 16 – An example of the result of the watershed algorithm

Table 1 – Description of the structural properties of subject dependencies

Table 2 – A fragment description of the complex subject dependencies structure of the "Primary definition of contours" subject task

Table 3 – Description of the subject dependencies of the "Primary definition of contours" subject task

Table 4 – Description of elementary dependencies of the "Primary definition of contours" subject task

Table 5 – Normalized description of the subject dependencies content of the "Primary definition of contours" subject task

Table 6 – Description of the structural properties of subject dependencies of the "Primary definition of contours" subject task

Table 7 – System functions related to thematic decoding

References

- [1] **Borgest NM.** Formation and development of the scientific discipline "ontology of designing": a brief history of personal experience [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 415-448. - DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.
- [2] **Borgest NM.** The boundaries of the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(1): 7-33.
- [3] **Lomov PA.** Application of ontological design patterns for the creation and use of ontologies in an integrated knowledge space [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(2): 233-245.
- [4] **Smirnov SV.** Ontological approach to the formation of heterogeneous modeling environments [In Russian]. *Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Engineering sciences*. No. 4. 2011. 50-61.
- [5] **Mokhov VA.** Conceptual modeling as a basis for the design of complex systems [In Russian]. *News of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical science*. No. 2 (198). 2018. 40-47.
- [6] **Smirnov AV, Pashkin MP, Shilov NG, Levashova TV.** Ontologies in artificial intelligence systems: methods of construction and organization (part 1) [In Russian]. *News of artificial intelligence*. 2002; 1(49): 3-13.
- [7] **Volkova GD.** Conceptual modeling of design problems [In Russian]. Moscow: FGBOU VO "MSTU "STANKIN", 2016.
- [8] **Volkova GD.** Methodology of automation of intellectual work [In Russian]. Moscow: Janus-K, 2013.
- [9] **Novoselova OV.** Modeling of subject tasks at the initial stages of automation of project activities [In Russian]. Moscow: FGBOU VO "MSTU "STANKIN", 2016. 100 p.
- [10] **Vasendina I, Shoshina K, Guriev A, Aleshko R.** Automated processing of unmanned aerial vehicles images based on conceptual modeling of objective tasks. In: *Journal of Physics: Conference Series*, 2020; 1553(1).
- [11] **Gonzales RC, Woods RE.** Digital Image Processing. 3rd ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.
- [12] **Larsen M, Eriksson M, Descombes X, Perrin G, Brandtberg T, Gougeon F.** Comparison of six individual tree crown detection algorithms evaluated under varying forest conditions. *International Journal of Remote Sensing*. 2011; 32(20): 5827–5852.
- [13] **Baddeley AJ, Van Lieshout MNM.** Stochastic geometry models in high-level vision. *Journal of Applied Statistics*. 1993; 20(5-6): 231–256.
- [14] **Ke Y, Quackenbush LJ.** A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 2011; 32(17): 4725–4747.
- [15] **Pouliot DA, King DJ, Bell FW, Pitt DG.** Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sensing of Environment*. 2002; 82(2): 322–334.
- [16] **Gougeon F.** A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 1995; 21(3): 274–284.
- [17] **Szeliski, R.** Computer vision: algorithms and applications. 1st ed. R. Szeliski; London: Springer-Verlag, 2010.
- [18] **Shoshina K., Vasendina I., Volkova G., Tyurbeeva T.** Development of a methodology for determining overgrown agricultural fields based on data from unmanned aerial vehicles on computer vision // in Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2021, 11758, 117580V.
- [19] **Aleshko RA, Guryev AT.** Methods of thematic interpretation of aerospace images of taiga forests using methods of system analysis [In Russian]. *Arctic Environmental Research*. 2013; 3: 126-132.
- [20] **Embley DW, Thalheim B.** Handbook of conceptual modeling: theory, practice, and research challenges: Springer Science & Business Media, 2012.
- [21] **Guizzardi G, Wagner G.** Using the unified foundational ontology (UFO) as a foundation for general conceptual modeling languages // Theory and applications of ontology: computer applications. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. P.175-196.
- [22] **Wand Y, Storey VC, Weber R.** An ontological analysis of the relationship construct in conceptual modeling. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*. 1999; 24(4): 494-528.

- [23] **Guizzardi G.** Towards ontological foundations for conceptual modeling: The unified foundational ontology (UFO) story. *Applied ontology*. 2015; 10(3-4): 259-271.
-

About the authors

Ksenia Vladimirovna Shoshina (b. 1982). Graduated from the Arkhangelsk State Technical University (ASTU) in 2005, Ph.D. (2016). Associate Professor of the Department of Information Systems and Information Security of the Higher School of Information Technologies and Automated Systems of NArFU. M.V. Lomonosov, a senior researcher of the Center for Artificial Intelligence and Big Data Analysis of NArFU named after M.V. Lomonosov. The list of scientific works includes more than 60 works in the field of system analysis and intellectual analysis of spatial data. Author ID (RSCI): 616230; Author ID (Scopus): 56588048300; Researcher ID (WoS): N-3539-2016. k.shoshina@narfu.ru.

Roman Alexandrovich Aleshko (b. 1987). Graduated from the Arkhangelsk State Technical University in 2009, Cand. of Sciences. (2014). Professor of the Department of Information Systems and Information Security of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. The list of scientific papers includes more than 50 works in the field of creating methods for analyzing and interpreting data from space satellites and unmanned aerial vehicles. Author ID (RSCI): 609474; Author ID (Scopus): 56588041100; Researcher ID (WoS): ABF-8022-2020. r.aleshko@gmail.com

Vladimir Valerievich Berezovsky (b.1978). Graduated from the Lulea University of Technology, Sweden in 2002 and the Pomeranian State University named after M.V. Lomonosov in 2003, Ph.D. (2009). Professor of the Department of Information Systems and Information Security of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, a senior researcher at the Center for Artificial Intelligence and Big Data Analysis of NArFU named after M.V. Lomonosov. The list of scientific papers includes more than 60 works in the field of computational physics of high-performance and distributed computing, geoinformatics and AI. SPIN-code (SCIENCE INDEX): 5042-1121, AuthorID(RSCI): 602408; Author ID (Scopus): 24330874600; Researcher ID (WoS): W-3888-2017. v.berezovsky@narfu.ru.

Irina Sergeevna Vasendina (b. 1988). Graduated from the Northern (Arctic) Federal University (NArFU) in 2010, Ph.D. (2018). Associate Professor of the Department of Information Systems and Information Security of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, a senior researcher at the Center for Artificial Intelligence and Big Data Analysis of NArFU named after M.V. Lomonosov. The list of scientific papers includes more than 30 works in the field of system analysis and AI. Author ID (RSCI): 852915; Author ID (Scopus): 57217135305; Researcher ID (WoS): AAO-3831-2020. i.vasendina@narfu.ru.

Alexey Sergeevich Shoshin (b. 1983). Graduated from the Arkhangelsk State Technical University (ASTU) in 2005, Ph.D. (2016). Assistant of the Department of Information Systems and Information Security of the Higher School of Information Technologies and Automated Systems of NArFU. M.V. Lomonosov. The list of scientific papers includes 3 works in the field of system analysis. ashoshin@gmail.com.

Alexander Timofeevich Guryev (b. 1949). Graduated from the Arkhangelsk Forestry Institute named after V.V. Kuibyshev in 1971, Ph.D. (1980), D.Sc. (2012). Professor of the Department of Information Systems and Information Security of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. The list of scientific papers includes more than 70 works in the field of system analysis and AI. Author ID (RSCI): 495876; Author ID (Scopus): 56587843700; Researcher ID (WoS): AAO-3894-2020. atgli@rambler.ru.

Received May 24, 2023. Revised August 14, 2023. Accepted August 31, 2023.



Мобильное приложение для поиска оптимального маршрута в университетском городке

© 2023, С.Т. Дусакаева ✉, В.В. Савинов

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Аннотация

Рассмотрена задача разработки мобильного приложения для поиска оптимального маршрута в университетском городке. Математическую основу проектирования мобильного приложения составляет задача поиска кратчайшего пути в графе, вершинами которого являются учебные аудитории, лаборатории, библиотеки, кафедры, деканаты и т.п. в корпусах университета. Проведён анализ основных характеристик существующих на рынке мобильных приложений для пешей навигации, выявлены их достоинства и недостатки. Рассмотрены известные алгоритмы поиска кратчайшего пути в графе: алгоритм поиска в ширину, жадный алгоритм поиска кратчайшего пути, алгоритм Дейкстры. Для рассматриваемой задачи разработаны программная реализация и вспомогательный сервис по созданию карт и приведения их к формату, в котором автоматически создаётся граф для работы приложения. Новизна предложенной разработки заключается в возможности отображения, добавления и редактирования различных карт. Дальнейшее совершенствование разработанного мобильного приложения может быть осуществлено в направлении повышения точности навигации за счёт объединения алгоритмов поиска путей в графе, а также в переводе карт из 2D- в 3D-пространство. Результаты исследования могут быть использованы для поиска оптимальных маршрутов в других университетах.

Ключевые слова: навигация по картам, мобильное приложение, оптимальный маршрут, алгоритм, поиск кратчайшего пути в графе, университетский городок.

Цитирование: Дусакаева С.Т., Савинов В.В. Мобильное приложение для поиска оптимального маршрута в университетском городке // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №3(49). С.455-464. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-455-464.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Крупные университеты имеют сложную архитектурную планировку, поэтому для обучающихся и гостей университета задача поиска нужной аудитории является актуальной. Например, университетский городок Оренбургского государственного университета (ОГУ) состоит из 14 учебных корпусов и сотен различных аудиторий [1].

В настоящее время активно используются навигационные сервисы в открытом пространстве во многих сферах деятельности. Всё большую актуальность приобретает навигация, основанная на использовании мобильных приложений (МП), что обусловлено доступностью мобильных устройств [2]. В контексте рассматриваемой проблемы наиболее известны следующие МП для пешей навигации: «Яндекс Карты» [3], 2ГИС [4], *Google Maps* [5], *HERE WeGo* [6], *Maps.me* [7], *Sygic GPS Navigation* [8], *Magic Earth Navigation & Maps* [9], *iGO Navigation* [10], *OsmAnd* [11], *MapFactor Navigation* [12].

Результаты проведённого анализа основных характеристик названных МП в виде выявленных достоинств для данной задачи приведены в таблице 1. Среди недостатков некоторых из рассмотренных МП можно отметить: притормаживающий пользовательский интерфейс; устаревшая графика; наличие рекламы; не возможность поиска оптимального пути и др. По

информации из открытых источников удалось лишь установить, что в МП [3] для построения маршрутов используется алгоритм Дейкстры.

Таблица 1 – Основные характеристики и достоинства МП

Мобильное приложение название, разработчик, сайт, платформа	Достоинства
Яндекс. Карты Яндекс mobile.yandex.ru/apps/maps Android; iOS	- позволяет строить маршруты для пешеходов; - знает короткие пути через дворы и проходы между зданиями; - показывает входы в здания и включает поэтажные схемы; - имеет голосовой помощник «Яндекс. Алиса».
2ГИС ДубльГИС info.2gis.com Android; iOS; Wear OS	- умеет прокладывать самые короткие пешие маршруты; - может работать без подключения к Интернету; - отображает поэтажные схемы торговых центров (ТЦ), вокзалов и аэропортов; - содержит путеводитель с информацией о городских достопримечательностях и интересных местах.
Google Maps Google google.com/maps Android; iOS	- позволяет строить пешие маршруты и знает расписание общественного транспорта; - поддерживает технологию дополненной реальности (можно видеть подсказки поверх изображения окружающей местности); - предоставляет возможность просмотра панорамных снимков и схем, которые помогают ориентироваться в больших зданиях (аэропорты, вокзалы, ТЦ и др.); - поддерживает голосовое управление и сохранение карт в памяти устройства с целью последующего использования без подключения к Интернету.
HERE WeGo Here Technologies here.com Android; iOS	- за считанные секунды подбирает доступные варианты перемещения из начальной точки в конечную, рассчитывает примерное время в пути и позволяет выбрать оптимальный маршрут из списка; - при навигации может переключаться в 3D-режим; - имеется возможность сохранения карт в памяти мобильного устройства и использования приложения в автономном режиме.
Maps.me Maps.me Limited maps.me Android; iOS	- построен на основе свободной географической карты OpenStreetMap; - картографические данные можно скопировать в память мобильного устройства и пользоваться приложением без подключения к Интернету; - умеет строить пешие и велосипедные маршруты.
Sygy GPS Navigation Sygy sygy.com/gps-navigation Android; iOS	поддерживается поиск по организациям.
Magic Earth Navigation & Maps General Magic magicearth.com Android; iOS	- построен на основе свободной географической карты OpenStreetMap; - предусмотрен выбор альтернативных маршрутов и справочник организаций; - присутствует функция «Что находится рядом», которая выводит список близлежащих объектов.
iGO Navigation NNG Software Developing and Commercial igonavigation.com Android; iOS	позволяет строить маршруты для пешеходов и автомобилистов.
OsmAnd OsmAnd osmand.net Android; iOS	- построен на основе свободной географической карты OpenStreetMap; - предоставляет возможность получения ежечасных обновлений карт; - имеет встроенный путеводитель; - ведет запись маршрута.

Все рассмотренные МП преимущественно ориентированы для навигации на открытой местности большой площади. При этом внутреннюю навигацию в них предполагается ис-

пользовать для известных крупных сооружений (большие ТЦ, вокзалы, государственные учреждения и др.) с большими потоками людей. Учебные корпуса университетов, как правило, локализованы на территории небольшой площади. Это означает, что многие функции, заложенные в указанных навигационных сервисах, не будут использованы, а возможность добавления карт требуемых зданий может быть сопряжена с угрозой ослабления безопасности университета. При этом требуется обеспечить большую точность для построения маршрутов в случаях, когда исходная и искомая точки маршрута находятся в разных корпусах или на разных этажах. Важное значение может иметь отыскание оптимального маршрута внутри здания без выхода на улицу, например, в зимнее время года. Поэтому для поиска оптимального маршрута в университете требуется навигационный сервис, учитывающий перечисленные факторы.

Целью исследования является разработка МП для поиска оптимального маршрута в университетском городке.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- сформулировать математическую задачу в виде поиска кратчайшего пути в графе;
- выбрать алгоритм поиска кратчайшего пути в графе;
- разработать логическую архитектуру программы МП;
- разработать вспомогательный сервис для добавления новых карт в МП;
- проверить работоспособность МП.

1 Постановка задачи и метод решения

Задачу поиска оптимального пути от исходной точки u до искомой аудитории v можно представить как известную задачу поиска кратчайшего пути в графе [13, 14]. Такой подход используется в рассмотренных МП [3-12].

Пусть задан ортограф $G(V, A)$, каждой дуге которого (u, v) ставится в соответствие число $L(u, v)$ – длина дуги. Под длиной дуги маршрута (пути) понимают сумму дуг, составляющих маршрут. Требуется найти длины кратчайших маршрутов и маршруты от выбранной вершины u до всех остальных вершин графа v_i .

Наиболее известными алгоритмами поиска кратчайшего маршрута в графе являются: алгоритм поиска в ширину, жадный алгоритм поиска кратчайшего пути, алгоритм Дейкстры [15, 16]. В таблице 2 приведены результаты сравнительного анализа указанных алгоритмов.

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа алгоритмов отыскания кратчайшего пути в графе

Алгоритм	Достоинства	Недостатки
Алгоритм поиска в ширину	▪ сравнительная простота реализации ▪ полнота и оптимальность	▪ при увеличении пространства поиска производительность поиска снижается по сравнению с другими эвристическими алгоритмами
Жадный алгоритм поиска	▪ простота поиска оптимального решения	▪ сложность оценки алгоритма
Алгоритм Дейкстры	▪ сравнительная простота реализации	▪ находит кратчайшие пути и их величины только от одной вершины

В качестве основы для построения математической модели задачи принят алгоритм Дейкстры. Программная реализация построена на основе *UML*-шаблонов проектирования [17, 18]. Архитектура программного средства *BLoC* (компонент бизнес-логики, от англ. *Business Logic Component*), идея которой заключается в разделении интерфейса (*UI*-компонента, от англ. *User Interface*) и бизнес-логики приложения, соответствует единой системы программной документации [19].

Для взаимодействия с пользователем требуются следующие визуальные элементы управления:

- поле выбора начальной и конечной точек маршрута;
- кнопки старта и сброса маршрута;
- кнопки для пролистывания этапов следования по маршруту;
- кнопки, отвечающие за масштабирование и ориентацию карты;
- поле для отображения карты и рассчитанного маршрута;
- выпадающий список для выбора отображаемой карты.

Для работы интерфейса требуются классы, в которых реализованы алгоритмы: поиска путей, взаимодействия с базой данных (БД), отображения карт и дополнительной информации, работы с временными данными. Термин «класс» в данном случае используется в контексте объектно-ориентированного программирования и подразумевает собой шаблон для создания объектов, обеспечивающий начальные значения состояний: инициализация полей-переменных и реализация поведения функций или методов. Это позволяет создать универсальный программный продукт для различных карт.

На рисунке 1 представлена вкладка «Навигация» МП. Первый *UI*-компонент (визуальный элемент интерфейса МП) отвечает за верхнюю часть экрана, в котором расположены наименование вкладки и кнопки, отвечающие за масштаб и ориентацию карты, а также выпадающий список, из которого можно выбрать карты для просмотра. Во второй *UI*-компонент, имеющий табличную структуру, вложена группа *UI*-компонентов. В первой строке таблицы расположены два текстовых поля с выпадающим списком, с помощью которых пользователь может выбрать начальную и конечную точки для прокладывания маршрута, и кнопка, отвечающая за расчёт маршрута и его отображение. Во второй строке таблицы расположен *UI*-компонент, на котором отображается карта и путь, который будет рассчитан МП.

Карты используются в автономном режиме, т.к. все необходимые данные хранятся в приложении, и расчёт оптимального пути не требует подключения к сети Интернет, а выполняется на устройстве пользователя.

Заключительная строка таблицы содержит три кнопки:

- предыдущее действие (если путь проложен не только на одном этаже, а затрагивает переходы между этажами и корпусами);
- очистить (стирает маршрут из памяти и экрана, а также блокирует соседние кнопки);
- следующее действие (если путь проложен не только на одном этаже, а затрагивает переходы между этажами и корпусами).

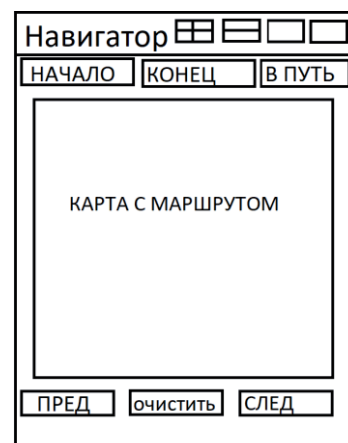


Рисунок 1 – Вкладка «Навигация» МП

2 Описание и проверка работоспособности МП

В качестве среды для разработки МП выбрана платформа *Android Studio*¹. Для разработки программного продукта использовался объектно-ориентированный язык *Flutter*². Выбранный язык является кроссплатформенным языком, что позволяет создавать МП под *Android* и *iOS*, а также для решений под *Windows*, *macOS* и *Linux* с использованием языка

¹ Android Studio. <https://developer.android.com/studio>.

² Flutter. <https://flutter.dev/>.

программирования *Dart*³. В языке *Dart* нет готового инструмента для отображения карт, но с помощью доступного функционала можно создать новый функционал, отвечающим заданным требованиям.

Для разработки МП был создан шаблон данных, который отображается на экране устройства. С помощью встроенного во фреймворке *Flutter* инструмента, в котором реализован функционал отображения примитивных геометрических фигур (точка, линия, окружность) и окрашивания их в любой цвет, написан класс, обрабатывающий входной многомерный массив данных и отображающий результат на карте. На рисунке 2 приведён пример шаблона данных, в котором:

- массив точек карты – стены здания;
- массив точек карты – стены внутренней планировки помещений в здании;
- массив точек графа – дороги (возможные маршруты);
- массив точек легенды карты – местонахождение пронумерованных аудиторий (корпусов и др.);
- таблица смежности графа – указание путей между аудиториями (корпусами и др.), являющихся вершинами графа.

```
[
  [массив точек карты],
  [массив точек карты],
  [массив точек графа],
  [массив точек легенды карты],
  [таблица смежности графа],
]
```

Рисунок 2 – Шаблон данных

На рисунке 3 показан пример шаблона данных МП, принимающего входные данные и отображающего возможные маршруты внутри помещения, с нумерацией аудиторий. Для разработки программного обеспечения выполнена предварительная работа на базе предоставленных ОГУ документов о планировке корпусов и актуальной информации о расположении аудиторий и иных помещений. Подготовленный материал форматирован к виду, соответствующему шаблону данных. Полученный результат помещён в БД, которая размещена на удалённом сервере. В интерфейсе поля, отвечающего за выбор начальной и конечной точек маршрута, происходит наполнение информацией из БД, т.е. из полей легенды карты при старте программы. Когда пользователь совершает выбор, то данные записываются во временные переменные, описанные в логической архитектуре, представляющей собой объектно-ориентированную программу, которая содержит слои, классы объектов, пакеты, основные платформы, интерфейсы, подсистемы и их взаимодействия.

На рисунке 4 приведён пример выбора начальной точки маршрута. В интерфейсе предусмотрен выпадающий список, из которого пользователь может выбрать нужную карту для отображения. Результат записывается во временную переменную, описанную в логической архитектуре, и передаётся в класс для отображения. Пример выпадающего списка представлен на рисунке 5.



Рисунок 3 – Пример шаблона данных мобильного приложения

³ <https://dart.dev/>.

Для проверки работоспособности МП проведён эксперимент, согласно которому требуется построить кратчайший путь от 16-го корпуса до аудитории 20119, расположенной в 20-ом корпусе на 1-ом этаже. На рисунке 6 представлена карта результата эксперимента.



Рисунок 4 – Пример выбора начальной точки маршрута

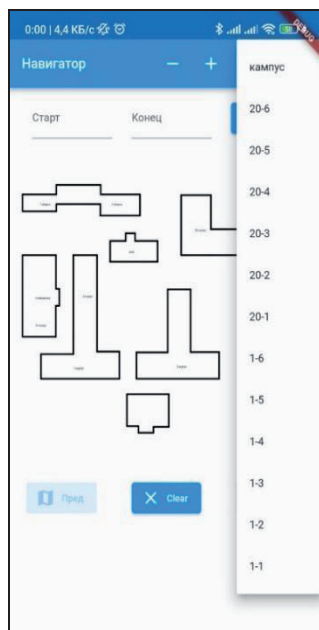
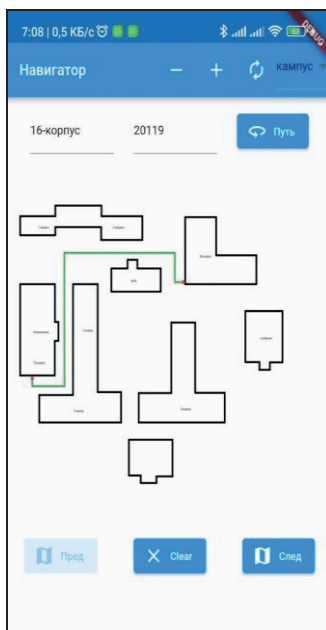
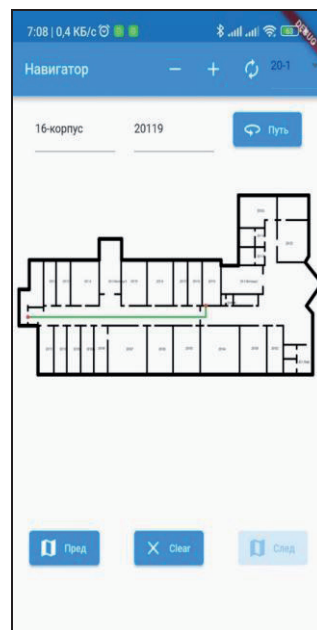


Рисунок 5 – Пример выпадающего списка



а



б

а – маршрут между корпусами; б – маршрут в корпусе

Рисунок 6 – Карта результата эксперимента

На рисунке 7 приведён построенный МП маршрут, на котором числа означают последовательность точек графа, через которые проходит путь.

```
I/flutter (18921): Начало маршрута: 16-корпус зайдите в: 20-корпус
I/flutter (18921): Маршрут: 26 25 27 28 30 32 2 3 6 7 8
I/flutter (18921): идите от входа до конца маршрута: 20119
I/flutter (18921): Маршрут: 8 2 3 6 7 9 11 13 16 17 19 21 24 26 29 31 33
```

Рисунок 7 – Построенный мобильным приложением маршрут эксперимента

Для упрощения добавления новых карт в БД МП, разработан вспомогательный сервис, написанный на языке программирования *PHP*⁴, который преобразует *SVG* картинку⁵ в набор данных по созданному шаблону.

SVG-изображение имеет следующую структуру:

- 1 слой – стены здания;
- 2 слой – стены внутренней планировки помещений;
- 3 слой – дороги (возможные маршруты) ;
- 4 слой – местонахождение точек графа (окружности малого диаметра);
- 5 слой – местонахождение пронумерованных аудиторий, корпусов и иных помещений (окружности большого диаметра).

⁴ Lerdorf, Rasmus (June 8, 1995). Announce: Personal Home Page Tools (PHP Tools). Retrieved 7 June 2011.

⁵ SVG (от *Scalable Vector Graphics* — масштабируемая векторная графика) — это вид графики, которую создают с помощью математического описания геометрических примитивов, которые и образуют все детали изображения.

На рисунке 8 представлен пример изображения карты возможных маршрутов, которая обрабатывается вспомогательным сервисом.

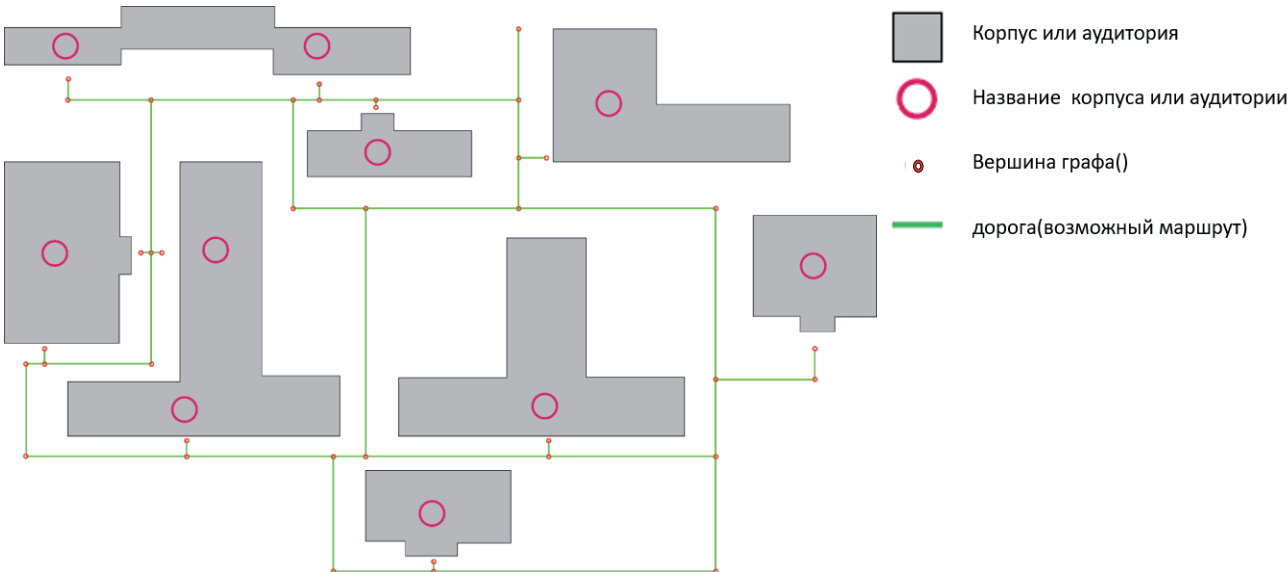


Рисунок 8 – Карта возможных маршрутов

Сервис поочерёдно обрабатывает слой и выдаёт данные согласно шаблону, после чего они интегрируются в МП.

На рисунке 9 приведена структура *SVG*-изображения, полученная за счёт обработки данных о планировке помещений и актуальной информации. На основании слоёв 3 и 4 за счёт работы скрипта *PHP* генерируется таблица смежности графа, приведённая на рисунке 10. На вход подаются данные, представленные на рисунке 9, вычисляются расстояния между точками, на основании бинарных отношений принадлежности точек прямым и пересечений прямых определяются ближайшие соседи для всех вершин (рассматривает маршруты, проходящие через окружности из слоя 4 и отыскиваются ближайшие окружности, через которые проходят эти дороги).

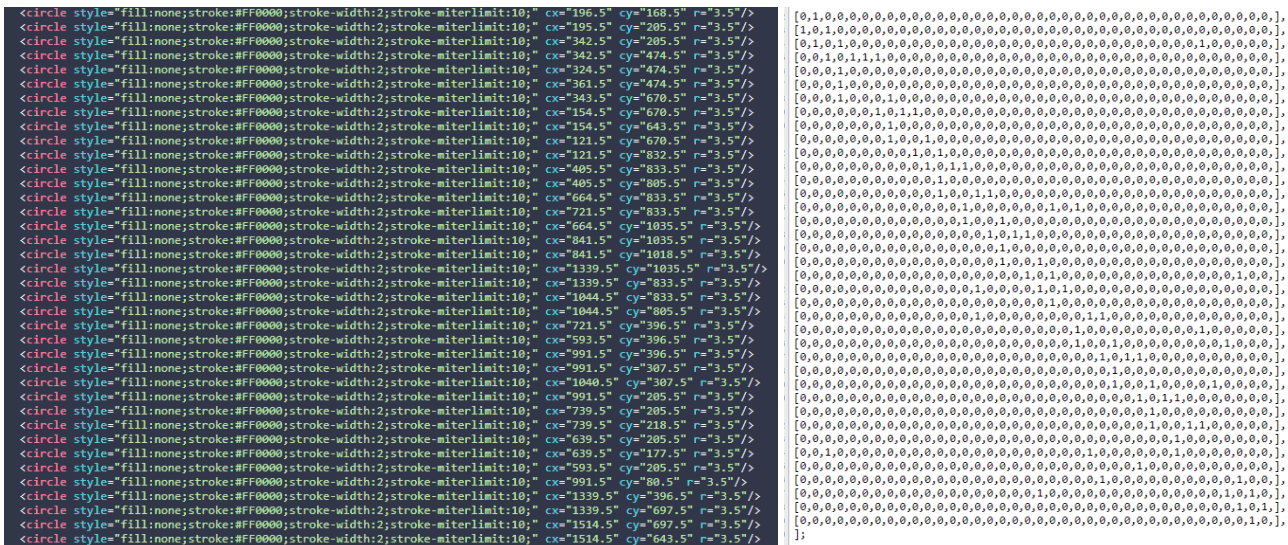


Рисунок 9 – Структура SVG-изображения

Рисунок 10 – Таблица смежности

Заключительным этапом работы вспомогательного сервиса является выгрузка конечного результата в БД, которая расположена на удалённом сервере.

Заключение

Разработано МП для поиска оптимального маршрута от начальной точки до точки назначения с функционалом, призванным создать благоприятные условия для удобной навигации в университете. Новизна предложенной разработки заключается в универсальности средств отображения, добавления и редактирования карт. Дальнейшее совершенствование МП возможно в направлении улучшения его точности за счёт объединения алгоритмов поиска путей в графе, а также перевод карт из 2D- в 3D-пространство.

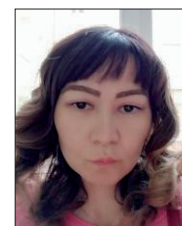
Представленные результаты исследования могут быть использованы при разработке МП для поиска пешеходных маршрутов в других университетах и учреждениях.

Список источников

- [1] Официальный сайт Оренбургского государственного университета. <http://www.osu.ru/>.
- [2] **Жаркова С.А.** Актуальность разработки мобильных приложений для Android // Научные исследования в современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития: сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции, 18 ноября 2022. С.215-220.
- [3] Яндекс Карты [Электронный ресурс]. URL: <https://mobile.yandex.ru/apps/android/maps>.
- [4] 2GIS [Электронный ресурс]. URL: <https://info.2gis.com/>.
- [5] Google Maps [Электронный ресурс]. URL: <https://bestmaps.ru/google-maps>.
- [6] HERE WeGo [Электронный ресурс]. URL: <https://www.here.com/>.
- [7] Maps.me [Электронный ресурс]. URL: <https://maps.me/>.
- [8] Sygic GPS Navigation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sygic.com/>.
- [9] Magic Earth Navigation & Maps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.amazon.com/Magic-Earth-Navigation-and-Maps/dp/B077XTY4F9>.
- [10] iGO Navigation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.malavida.com/en/soft/igo-navigation/android/>.
- [11] OsmAnd [Электронный ресурс]. URL: <https://osmand.net/>.
- [12] MapFactor Navigation [Электронный ресурс]. URL: <https://navigatorfree.mapfactor.com/en/>.
- [13] **Алексеев В.Б.** Дискретная математика. Москва: ИНФРА-М, 2023. 133 с.
- [14] **Редькин Н.П.** Дискретная математика. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 264 с.
- [15] **Плотников О.А., Подвальный Е.С.** Решение задачи поиска оптимального пути между двумя точками на графе с нерегулярным весом ребер // Вестник ВГТУ. 2012. № 6. С. 22-26.
- [16] **Бойков В.А.** О применении жадных алгоритмов в некоторых задачах дискретной математики // Программные продукты и системы. 2019. №1. С. 55-62.
- [17] **Ларкман К.** Применение UML и шаблонов проектирования М. Издательский дом «Вильямс», 2004. 624 с.
- [18] **Самуйлов С.В.** Объектно-ориентированное моделирование на основе UML. Саратов: Вузовское образование, 2016. 137 с.
- [19] ГОСТ 701-90 (ИСО 5807-85) Единая система программной документации (ЕСПД). Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. М.: Стандартинформ, 2010. 23 с.

Сведения об авторах

Дусакаева Слушаш Тугайбаевна, 1977 г. рождения. Окончила с отличием физико-математический факультет Оренбургского государственного педагогического университета им. В.П. Чкалова в 1999 г., к.т.н. (2019). Доцент кафедры прикладной математики ОГУ. В списке научных трудов более 40 работ в области системного анализа, систем поддержки принятия решений, теории нечётких множеств и систем. Author ID (РИНЦ): 673892. ORCID: 0000-0002-5292-1114. slushashdusakaeva@rambler.ru.✉.





Савинов Виталий Вячеславович, 2000 г. рождения. Окончил факультет математики и информационных технологий ОГУ по направлению подготовки Прикладная математика и информатика в 2022 г. Магистрант института математики и информационных технологий ОГУ. savinovvet@gmail.com.

Поступила в редакцию 10.07.2023, после рецензирования 14.08.2023. Принята к публикации 23.08.2023.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-455-464

Mobile application for finding the best route on campus

© 2023, S.T. Dusakaeva ✉, V.V. Savinov

Orenburg State University, Orenburg, Russia

Abstract

The actual task of developing a mobile application for finding the optimal route on a university campus is considered. The mathematical basis for designing a mobile application is the task of finding the shortest route in a graph whose vertices are classrooms, laboratories, libraries, departments, dean's offices, etc. in the buildings of the university. The analysis of the main characteristics of existing mobile applications for walking navigation has been carried out, their advantages and disadvantages have been identified. The well-known algorithms for finding the shortest path in a graph are considered: breadth-first search, greedy algorithm, and Dijkstra shortest path algorithm. For the task under consideration, a software implementation and an auxiliary service have been developed to create maps and bring them to a format in which a graph is automatically created for the correct operation of the application. The novelty of the proposed development lies in the possibility of displaying, adding and editing various maps. Further improvement of the developed mobile application can be carried out in the direction of increasing the accuracy of navigation by combining algorithms for finding paths in a graph, as well as in translating maps from 2D to 3D. The results of the study can be used to find the best routes in other universities.

Key words: map navigation, mobile application, optimal route, algorithm, finding the shortest path in a graph, campus.

For citation: Dusakaeva ST, Savinov VV. Mobile application for finding the best route on campus [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 455-464. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-455-464.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 – Navigation tab

Figure 2 – Data Template

Figure 3 – Example of data template

Figure 4 – Example of choosing the starting point of a route

Figure 5 – Example of a drop-down list

Figure 6 – Experiment result map

Figure 7 – Recommended route of the experiment

Figure 8 – Map of possible routes

Figure 9 – SVG image Structure

Figure 10 – Adjacency table

Table 1 – Main characteristics and advantages

Table 2 – Comparative analysis of algorithms for finding the shortest path in a graph)

References

- [1] Official website of Orenburg State University. <http://www.osu.ru/>.
- [2] **Zharkova SA.** Relevance of the development of mobile applications for Android [In Russian]. Scientific research in the modern world: experience, problems and prospects of development: collection of scientific articles based on the materials of the IX International Scientific and Practical Conference, November 18, 2022. P.215-220.
- [3] Yandex Maps [Electronic resource]. URL: mobile.yandex.ru/apps/maps.
- [4] 2GIS [Electronic resource]. URL: info.2gis.com.
- [5] Google Maps [Electronic resource]. URL: <https://bestmaps.ru/google-maps>.
- [6] HERE WeGo [Electronic resource]. URL: here.com.
- [7] Maps.me [Electronic resource]. URL: maps.me.
- [8] Sygic GPS Navigation [Electronic resource]. URL: <https://www.sygic.com/>.
- [9] Magic Earth Navigation & Maps [Electronic resource]. URL: <https://www.amazon.com/Magic-Earth-Navigation-and-Maps/dp/B077XTY4F9>.
- [10] iGO Navigation [Electronic resource]. URL: <https://www.malavida.com/en/soft/igo-navigation/android/>.
- [11] OsmAnd [Electronic resource]. URL: osmand.net.
- [12] MapFactor Navigator [Electronic resource]. URL: navigatorfree.mapfactor.com.
- [13] **Alekseev VN.** B. Discrete mathematics. [In Russian]. Moscow: INFRA-M, 2023. 133 P.
- [14] **Redkin NP.** Discrete mathematics. [In Russian]. Moscow: FIZMATLIT, 2009. 264 p.
- [15] **Plotnikov OA, Podvalny ES.** Solving the problem of finding the optimal path between two points on a graph with an irregular edge weight [In Russian]. Vestnik VSTU. 2012; 6: 22-26.
- [16] **Boikov VA.** On the application of greedy algorithms in some problems of discrete mathematics [In Russian]. Software products and systems. 2019; 1: 55-62.
- [17] **Larkman K.** Application of UML and design patterns [In Russian]. Moscow: Publishing house "Williams", 2004. 624 p.
- [18] **Samuilov SV.** Object-oriented modeling based on UML [In Russian]. Saratov: University Education, 2016. 137 p.
- [19] GOST 701-90 (ISO 5807-85) Unified system of Software Documentation (USPD) [In Russian]. Schemes of algorithms, programs, data and systems. Conditional designations and rules of execution. Moscow: Standartinform, 2010. 23 p.

About the authors

Slushash Tugaybayevna Dusakaeva, (b. 1977) graduated with honors from the Faculty of Physics and Mathematics of the Orenburg State Pedagogical University named after V.P. Chkalov in 1999, Candidate of Technical Sciences (2019). Associate Professor of the Department of Applied Mathematics of Orenburg State University. The list of scientific papers includes more than 30 works in the field of system analysis, decision support systems, theory of fuzzy sets and systems. Author ID (RSCI): 673892. ORCID: 0000-0002-5292-1114 slushashdusakaeva@rambler.ru. ✉.

Vitaly Vyacheslavovich Savinov (b. 2000) graduated from the Faculty of Mathematics and Information Technologies of Orenburg State University in the direction of Applied Mathematics and Computer Science in 2022. Master's student of the Institute of Mathematics and Information Technologies of Orenburg State University. savinovvet@gmail.com.

Received July 10, 2023. Revised August 14, 2023. Accepted August 23, 2023.
