

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], посвящённая 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

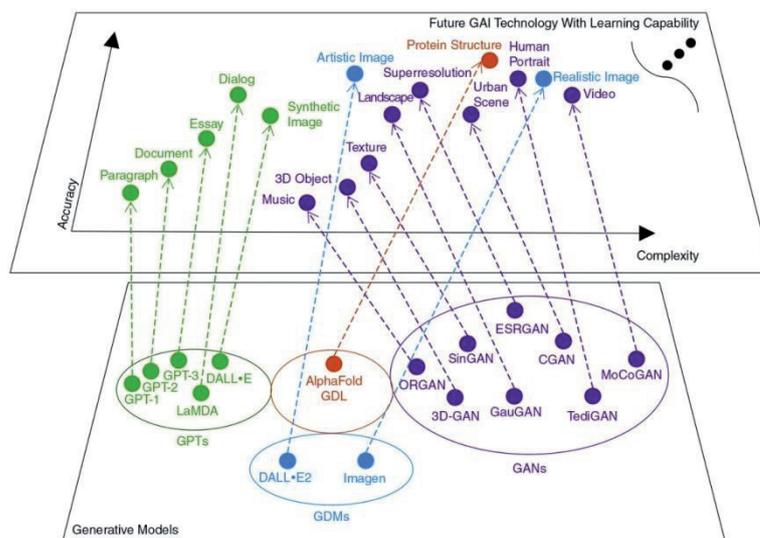


Рисунок 1 - Ландшафт ГИИ: генеративные модели и артефакты [20] (визуализация классификации множества моделей ГИИ)

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].

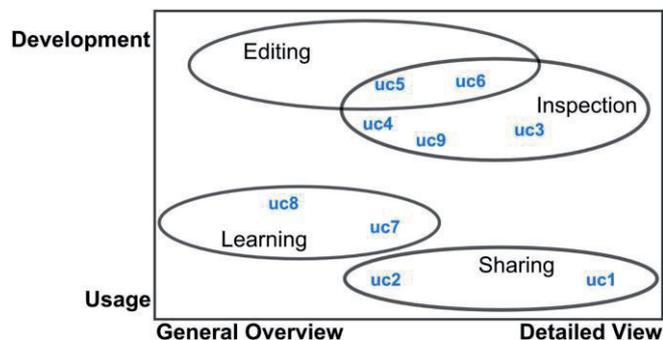


Рисунок 2 – Категории и варианты использования онтологий [21]

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.

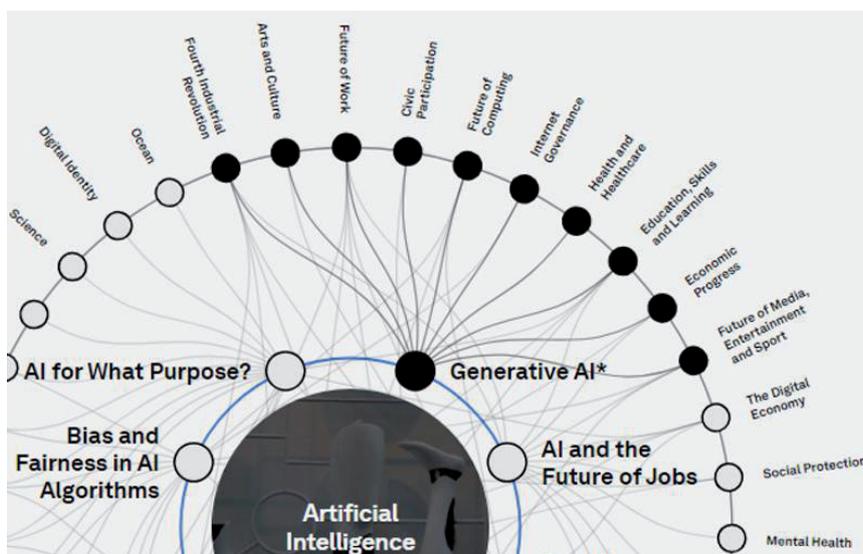


Рисунок 3 – Ожидаемое влияние ГИИ по оценке Всемирного экономического форума на экономику, искусство и культуру, трудоустройство, гражданское общество, образование, здравоохранение, промышленность, управление и др.

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	
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>В целом, множество является важным инструментом в теории и практике дизайна для создания гармоничного и эффективного дизайна.</p>
Вопрос. Расскажите о понятие «множество» в теории и практике проектирования	
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Таким образом, понятие множества является важным инструментом в теории и практике проектирования, который позволяет определить набор требований, условий и возможных решений для разработки проекта.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>Также множество может использоваться для определения зависимостей между элементами проекта. Например, если задача А зависит от задачи В, то задача А должна быть выполнена перед задачей В. Это помогает избежать ошибок и задержек в проекте.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

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
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p>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, функций или любых других сущностей, в зависимости от контекста проектирования.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 множества для более удобной структуризации и управления. Множества также могут использоваться для фильтрации и выборки данных, например, при проектировании баз данных.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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...</p>

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
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>В общем, понятие «множество» в теории проектирования используется для классификации, структурирования и связывания элементов, чтобы создать более организованные и эффективные системы, интерфейсы и модели.</p>	<p>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.</p> <p>В проектировании множество используется для организации данных и объектов в логически связанные группы. Он помогает структурировать информацию и облегчает ее обработку.</p> <p>Примеры использования множеств в проектировании:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. <p>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.</p>

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
<p>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.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

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)).

пляром 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]).

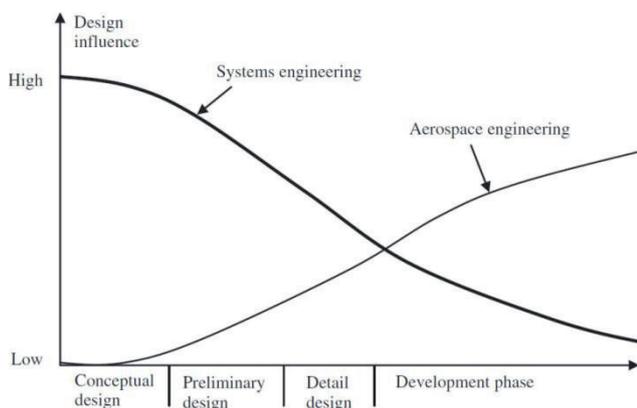
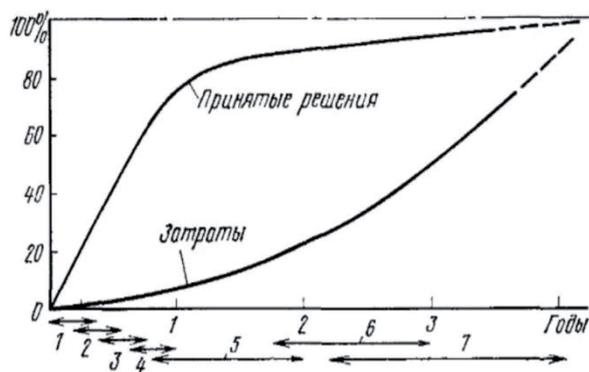


Рисунок 4 – Качественное сравнение влияния системной инженерии (системные знания и процедуры) и аэрокосмической инженерии (предметные знания и процедуры) на различных этапах проектирования (концептуальное, предварительное, детальное проектирование и этап разработки документации) [44]



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 (а), 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 рождают большое разнообразие схем самолёта (см. например, рисунок 7) [44-49].

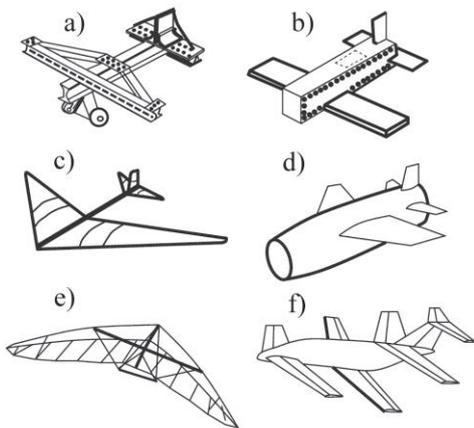


Рисунок 6 - Взгляды проектных групп на концепт самолёта: а) конструкторы; b) технологи; c) аэродинамики; d) двигателисты; e) весовики; f) управленцы [44]

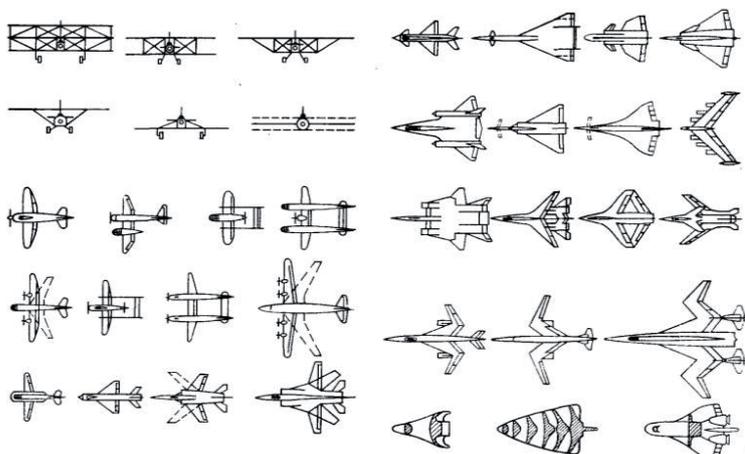
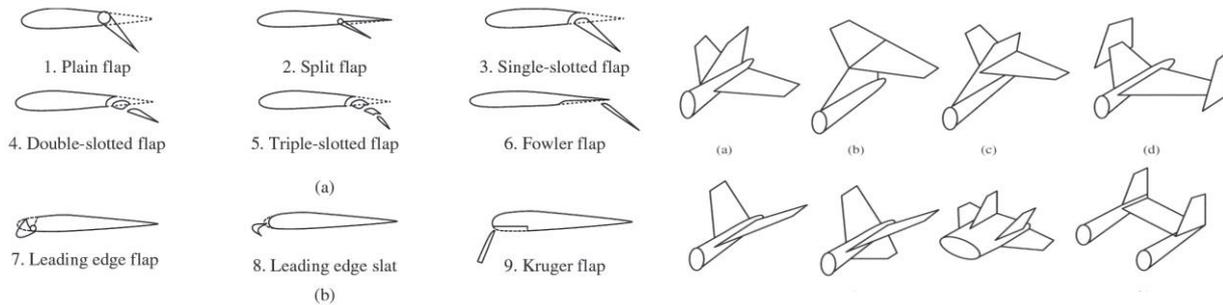


Рисунок 7 – Возможные схемы самолётов (множество схемных проектных решений) [45]

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 вертолёта - 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 и контроля 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]).

Таблица 5 – ВС гражданской авиации России по категориям ИКАО²¹

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

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».

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

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-

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:

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

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

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

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

Анализ проектной ситуации включает сбор данных о прототипах (прецедентах):

$P = \{P_1, P_2... P_e\}$ – 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.): $S = \{S_1, S_2... S_d\}$ – 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: $M = \{M_1, M_2... M_f\}$ – 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-

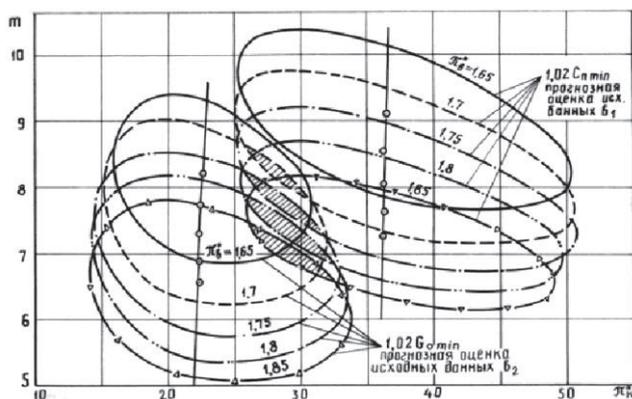


Рисунок 9 - Пример определения области устойчивых оптимальных значений параметров рабочего процесса двигателя (заштрихованная область) по критериям взлётной массы и топливной эффективности самолёта в условиях неопределённости исходных проектных данных [55]

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 существ: 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 бóльший 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] **Гурин 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., Иванов Д.С., Кроценко 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., Кромнина 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] **Voitsekhovskiy 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, Fakhrollina 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/МНОЖЕСТВО.
- [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. Moskow.: 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, Liseytssev 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.
