

ОГЛАВЛЕНИЕ

А. С. Еременко МЕТАВСЕЛЕННАЯ «ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ» – НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПОПУЛЯРИЗАЦИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ	2–21
Е. А. Знаменская, А. А. Печников, Д. Е. Чебуков НАУЧНОЕ СОАВТОРСТВО В РОССИЙСКОЙ МАТЕМАТИКЕ В 2000–2020 ГОДАХ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ИЗВЕСТНЫХ РОССИЙСКИХ ЖУРНАЛОВ	22–40
Р.Р. Нигматуллин, А.А. Литвинов, С. И. Осокин НОВЫЙ МЕТОД ОПИСАНИЯ ВИХРЕВЫХ КОВАРИАЦИОННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ	41–75
И. Г. Ольгина СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ ЦИТИРОВАНИЯ	76–96
Ю. Е. Поляк ... А ДВЕ ГОЛОВЫ – ЛУЧШЕ	97–118
Т. А. Полилова ДОСТУПНЫЙ ИНТЕРНЕТ: ОТ ИНИЦИАТИВЫ WAI К РОССИЙСКОЙ ПРАКТИКЕ	119–144
К. А. Ромаданский, А. Е. Ахаев, Т. Р. Гилязов СОЗДАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПСЕВДОСЛОВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИХ СХОЖЕСТИ СО СЛОВАМИ СЛОВАРЯ РУССКОГО ЯЗЫКА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	145–162
В.Б. Чечнев ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	163–183

МЕТАВСЕЛЕННАЯ «ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ» – НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПОПУЛЯРИЗАЦИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

А. С. Еременко^[0000-0003-1923-8417]

ФГБУН Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН,
Москва;

ФГБУН Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
Владивосток;

academy21@gmail.com

Аннотация

Работа посвящена проектированию концепции Метавселенной как нового взгляда на способы популяризации научного знания путём взаимодействия пользователя с виртуальным окружением. Рассмотрены особенности построения Метавселенных и технологические решения, необходимые для их реализации.

Ключевые слова: Метавселенная, история Земли, геология Земли, научно-популярный портал, популяризация науки, научно-образовательный ресурс, компьютерная игра.

АКТУАЛЬНОСТЬ

С 2019 года в Государственном геологическом музее им. В.И. Вернадского РАН ведутся разработка и развитие методов и технологий для Научно-популярного ресурса «Живая Земля: геологический ракурс». Этот ресурс расположен в интернете по адресу <https://populargeology.ru>. В 2024 году была разработана его новая версия <https://new.populargeology.ru>, которая была существенно переработана, в том числе с учётом современных мобильных устройств. Эта версия научно-популярного ресурса содержит наработанный материал, состоящий из информационного наполнения современных научных публикаций и разработок в различных разделах геологии.

В качестве дальнейшего развития идеи популяризации и вовлечения большего числа потенциальных пользователей научно-популярными ресурсами была спроектирована компьютерная игра на основе имеющихся материалов. Такой

подход позволяет представить сложные научные концепции в наглядной и увлекательной форме, делая обучение более привлекательным и доступным.

Геология — наука, сложная для восприятия молодёжью. Однако она может стать более понятной и интересной, если представить её в формате виртуальной среды с использованием аватаров. Таким образом, была поставлена цель – создать Метавселенную путём решения следующих задач: 1) обеспечение доступности и интерактивности получения научного знания; 2) повышение интереса к геологии через игровые механики, 3) интегрирование современных технологий для улучшения образовательного процесса.

Под Метавселенной как правило понимается виртуальное пространство, воссоздающее нашу физическую Вселенную. Оно позволяет воплотить многое из нашей жизни, а также то, что возможно только в виртуальной/дополненной реальности, например, мгновенное перемещение в любую точку пространства внутри Метавселенной. По сути Метавселенная – это универсальная взаимопроникающая сеть, объединяющая развлекательные, социальные, обучающие и прочие миры, в которых человек существует в виде аватара и взаимодействует с ними или другими людьми, тоже находящимися внутри в виде аватаров.

То, что мы называем Метавселенной, похоже на компьютерную игру: это виртуальный мир, в который можно попасть через смартфон, специальную гарнитуру или компьютер. По сути, Метавселенная отчасти похожа на реальный мир: в отличие от простой игры, тут нет сценария, и пользователь сам выбирает, как действовать.

В Метавселенной пользователи, представленные аватарами, получают доступ к дополненной и виртуальной реальностям для развлечений, поиска информации, общения, шопинга и работы. В этом и есть одно из основных отличий Метавселенных от простых игр: в будущем виртуальные миры будут полностью имитировать реальный.

Метавселенные предлагают поистине неограниченные возможности: прогуляться с динозавром [6, 7] и прикоснуться к крылу археоптерикса, окунуться в расплавленную лаву вулкана или оказаться в центре взрыва сверхновой звезды — для Метавселенной нет ничего невозможного.

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТАВСЕЛЕННОЙ

Прежде чем приступать к созданию Метавселенной, важно чётко определить цели подобного проекта. Такими целями могут быть, например:

- Популяризация науки о Земле;
- Образование через интерактивные опыты и симуляции;
- Создание сообщества любителей геологии;
- Вовлечение аудитории разных возрастов (школьники, студенты, взрослые).

Содержание и тематика

Для создания образовательного контента необходимо выбрать ключевые темы, связанные с историей Земли [5]:

- Эволюция планеты от формирования до наших дней;
- Геологические эпохи и их особенности;
- Тектонические процессы и движение плит;
- История жизни на Земле (эволюция видов, массовые вымирания);
- Климатические изменения и влияние человека.

Каждая тема может включать интерактивные элементы, такие как виртуальные экскурсии по ископаемым местам, симуляция тектонических процессов или даже создание собственной экосистемы.

Пользовательский опыт

Одним из важных аспектов при разработке любого цифрового инструмента является учёт того, каким образом пользователи будут взаимодействовать с вашим проектом. Основные аспекты включают:

- Интерфейс и навигацию. Как пользователи будут перемещаться между различными эпохами? Будет ли у них возможность путешествовать во времени?
- Интерактивность. Какие действия смогут выполнять пользователи? Например, собирать образцы пород, проводить эксперименты, решать головоломки.

- Социальный элемент. Возможность общения с другими пользователями, участие в совместных проектах, обсуждение тем.

Технологические решения

Если рассматривать вопрос технологического воплощения Метавселенной, то в зависимости от имеющихся ресурсов и целевой аудитории можно выделить несколько вариантов:

- Платформы VR/AR. Использование шлемов виртуальной реальности для полного погружения в историю Земли;
- Веб-приложения. Доступная версия Метавселенной, которая работает прямо в браузере;
- Мобильные приложения. Версия для смартфонов и планшетов, позволяющая пользователям участвовать в проекте на ходу.

Геймплей и механики

Чтобы сделать проект более увлекательным и интересным, можно включить в Метавселенную игровые элементы:

- Квесты и миссии. Пользователи могут выполнять задания, чтобы узнать больше о различных аспектах истории Земли;
- Система наград. За выполнение заданий пользователи получают очки опыта, достижения или уникальные предметы;
- Коллекционирование. Собирание образцов минералов, окаменелостей и других артефактов.

Создание сообщества

Поддержка активного сообщества поможет проекту развиваться и привлекать новых участников, используя следующие цифровые инструменты:

- Форумы и чаты для обсуждения тем;
- Организация мероприятий, таких как онлайн-конференции или курсы;

- Предоставление возможностей для создания пользовательского контента (например, создание собственных экскурсий или квестов).

Тестирование и обратная связь

Перед началом разработки проекта важно определить целевую аудиторию проекта и составить портрет потенциальных пользователей. Также перед непосредственным запуском проекта важно провести тестирование среди целевой аудитории. Полученная обратная связь поможет улучшить интерфейс, контент и взаимодействие с целевой аудиторией.

Пример структуры Метавселенной

Принимая во внимание все описанные аспекты по проектированию Метавселенной, можно предложить следующую концепцию:

Главная страница:

- Обзор проекта и его целей;
- Выбор режима игры (одиночный, многопользовательский);
- Карта мира с возможностью выбора эпох и регионов.

Эпохи:

- Палеозойская эра;
- Мезозойская эра;
- Кайнозойская эра;

Регионы:

- Европа;
- Азия;
- Америка;
- Африка;
- Антарктида.

Интерактивные элементы:

- Виртуальная экскурсия по ископаемому месту;

- Симулятор тектонических процессов;
- Лаборатория для проведения экспериментов;
- Головоломки и задачи, связанные с геологией.

Социальное взаимодействие:

- Чат и форум;
- Совместные проекты и исследования;
- Организация встреч и конференций.

ТЕХНОЛОГИИ МЕТАВСЕЛЕННОЙ

Чтобы реализовать возможность полного виртуального погружения в Метавселенную и создания трехмерного мира, компании используют такие передовые технологии, как блокчейн, дополненная реальность (AR)/ виртуальная реальность (VR), 3D-реконструкция, искусственный интеллект (AI) и интернет вещей (IoT) [1].

1. Один из самых важных элементов такой Метавселенной — это оборудование для входа в эту самую вселенную. Это очки/шлем/линзы виртуальной реальности.

2. В Метавселенной, вероятнее всего, мы будем представлены в виде цифровых аватаров. Аватаризация – следующий большой пласт технологий. Уже сейчас есть профессиональные инструменты для создания цифровых аватаров, например, MetaHuman Creator от Epic Games и Neon от Samsung. Сегодня можно создать модель своего лица с помощью приложения Live Link Face и экспортировать в Unreal Engine. Также можно создать своего аватара с помощью приложения n3D.

3. Виртуальная реальность должна иметь высокую степень качественной реализации. И тут на сцену выходят игровые движки и различные инструменты и технологии для работы с графикой. Это и Unity с Unreal Engine для создания виртуального пространства, и 3ds Max, Maya, Cinema 4D, Houdini и Blender для создания трехмерной графики, Cesium также предоставляет практически неограниченные возможности для визуализации пространственных данных. Также сюда можно отнести инструменты для 3D-сканирования объектов и захвата движения.

У Epic Games также есть средства Quixel и Twinmotion для работы с трехмерными сканами. И не будем забывать про искусственный интеллект – 3D ML, GANы, вариационные автокодировщики и прочие технологии обработки тензоров способны помочь в создании виртуальной реальности, которая будет лучше текущей реальности.

4. И вот Вселенная создана, мы вошли в нее. А что дальше? Нужно ее чем-то наполнять. Конечно, изначально в ней будут ландшафты, строения, города, может быть, даже планеты. Но у самих пользователей должна быть возможность строительства зданий, создания интерьеров, артефактов и другого контента. Пользователи будут создавать бизнес, предметы искусства, здания, развлекательные объекты или даже целые миры. Для всего этого нужны пользовательские 3D-редакторы, чтобы творить контент прямо внутри Метавселенной. Такие редакторы есть в Fortnite и Decentraland [3]. А ещё нужны платформы-интерфейсы для поставщиков контента, чтобы мы, например, могли смотреть видео в виртуальном кинотеатре. Это все будет только появляться, со временем.

5. Основой для Метавселенной являются сетевая и аппаратная инфраструктура. Виртуальное пространство должно быть доступно в любой момент времени, без ограничения на количество пользователей, все события должны быть синхронизированы для всех, и при этом все должно работать максимально быстро и без задержек.

6. Отдельно можно выделить искусственный интеллект. В Метавселенной ему найдется работа практически везде, начиная с этапов проектирования и разработки: автоматическая генерация виртуальных объектов и NPC, распознавание голосовых команд и генерация речи, трекинг положения рук и тела в пространстве, биометрическая идентификация пользователя шлема, кодогенерация.

7. Важным остается вопрос мультиплатформенности – Метавселенная должна быть единым пространством для различных игр, онлайн-банков, кинотеатров и других платформ, площадок и систем от различных производителей. Интуиция подсказывает, что это далеко не единственный вопрос, и со временем все будет более ясно.

В пособии McKinsey & Company «Как создавать ценность в Метавселенной» [8] названы четыре вида технологий, необходимых для создания Метавселенной:

а) контент и опыт; б) платформы; в) инфраструктура и оборудование; г) энейблеры.

Технологические области, которые требуют прорывов для создания полноценной Метавселенной [4]:

1. Вычислительная инфраструктура. Количество возможных одновременных сетевых подключений ограничивает число пользователей в игровых пространствах. Кроме того, многие устройства (например, смартфоны) не способны создавать фотореалистичные окружающие среды, необходимые для полного погружения.

2. Сетевая инфраструктура. Высокая задержка сигнала создает ощущение заторможенности видео и звука при использовании приложений, требующих высокой частоты кадров в секунду, таких как игры и общение в Метавселенной. Низкая пропускная способность замедляет доступ к контенту или вовсе останавливает его.

3. Аппаратные интерфейсы. Сегодня доступ к Метавселенной осуществляется в основном через плоские экраны: телевизоры, ПК и ноутбуки, смартфоны. Ожидается, что они будут доминировать еще несколько лет, прежде чем мы перейдем к AR/VR и в конечном итоге — к расширенной реальности (XR). Однако в течение ближайших лет не прогнозируется массовое распространение XR-устройств: контактных линз, интерфейсов «мозг–компьютер» (BCI, Brain-Computer Interface).

МЕТАВСЕЛЕННАЯ В ОБРАЗОВАНИИ

В статье [9] авторы обсуждают следующие компоненты технологической инфраструктуры для Метавселенной в образовании.

Высокоскоростные сети

Беспроводная связь и сети 5G или 6G обеспечивают Метавселенной плавность, стабильность, низкую задержку передачи данных, визуализацию сцен, мгновенную обратную связь, непрерывный удаленный доступ.

Вычислительные технологии

Облачные и распределенные вычисления требуются для обработки, хранения, передачи и обмена данными между пользователями, а также между виртуальным и реальным мирами.

Аналитические технологии и AI

Искусственный интеллект может использоваться для создания NPC-преподавателей и NPC-обучающихся (Non-Player Character, неигровой персонаж), это может быть полезно для симуляций и моделирования. NPC как интеллектуальные агенты берут на себя рутину в образовательном процессе, отвечают на часто задаваемые вопросы, помогают закрепить навыки или проверить знания. Текстовый анализ и большие данные помогут измерять, отслеживать, собирать и анализировать учебные данные и предоставлять персонализированное обучение.

Технологии моделирования и визуализации

Метавселенной необходимо свое трехмерное пространство: фотореалистичные сцены, аватары, виртуальные объекты. Для этого используются инструменты для моделирования и симуляции (Sketch Up, Unity и Blender), технологии для создания цифровых двойников и визуализации. В Метавселенной можно создавать трехмерные интерьеры или виртуальные сцены, в которых невозможно побывать в реальности (космос, историческую реконструкцию, микромир).

Технологии взаимодействия

Для Метавселенной важна интерактивность: сенсоры, технологии отслеживания в реальном времени, интерфейс «мозг–компьютер». Эти технологии позволяют реализовать навигацию, тактильную обратную связь, социализацию пользователей, манипуляции с предметами.

Технологии аутентификации

Информация о пользователях Метавселенной должна быть надежно защищена и управляема. Такие технологии, как блокчейн и NFT, позволяют обеспечить безопасность и устойчивость работ, размещаемых в Метавселенной, конфиденциальность, избежать мошенничества и плагиата [2].

Умные носимые устройства

Умные носимые устройства включают в себя гарнитуры и умные очки. Умное носимое устройство помогает «телепортироваться» из реального мира в Метавселенную и свободно перемещаться между реальным и виртуальным мирами.

Аватар

Аватар — это цифровое воплощение персонажа пользователя. Для реалистичного аватара необходимы технологии отслеживания в реальном времени, распознавания и симуляции. Пользователь может настраивать свой аватар (выбирать внешность, стиль одежды, пол, цвет кожи и т. д.).

Регистрация данных об обучении и пользователе

Базы данных и технологии их сбора и хранения позволяют регистрировать информацию о состоянии пользователя, сравнивать ее с историческим цифровым следом.

ИГРОВОЕ РЕШЕНИЕ КАК ЧАСТЬ МЕТАВСЕЛЕННОЙ

Актуальность разработки игровых решений в образовании и науке обусловлена рядом факторов. Геология, как фундаментальная наука, играет ключевую роль в понимании строения, состава и эволюции Земли, а также процессов, формирующих нашу планету. Знания в этой области имеют критическое значение для решения множества практических задач, включая поиск полезных ископаемых и

решение экологических проблем. Тем не менее, традиционные методы преподавания часто воспринимаются окружающими как сложные и неинтересные, что препятствует эффективному усвоению материала.

В условиях современного образовательного процесса существует потребность в инновационных подходах, которые могли бы сделать изучение геологии более доступным и увлекательным. Интерактивные и игровые методы обучения способны значительно повысить мотивацию и заинтересованность студентов, способствуя более глубокому и осмысленному усвоению знаний. Проектирование игровой составляющей Метавселенной, основанной на реальной истории геологии Земли, является перспективным направлением, способствующим достижению общих целей.

Разработка подобного решения включает в себя проведение анализа существующих игровых продуктов, определение целевой аудитории и выявление её интересов и потребностей, а также создание концепции игры с учётом основных механик и элементов геймплея. Эти шаги обеспечат создание эффективного инструмента для обучения и популяризации геологии среди молодежи, способствуя формированию устойчивого интереса к данной научной дисциплине.

Одним из важных решений для реализации внутри Метавселенной является новый вид взаимодействия с пользователем по запросу – ИИ-помощник. Это сущность, которая имеет своего персонифицированного аватара и помогает познавать окружающий виртуальный мир по запросам пользователя. ИИ-аватар может представлять собой одного из знаменитых советских/российских учёных. Это, в свою очередь, поможет обеспечить ещё большую вовлечённость пользователей в процесс изучения окружающей виртуальной реальности.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ИГРОВЫХ РЕШЕНИЙ

В результате анализа предметной области и существующих игровых решений были выбраны следующие игры, которые являются близкими по тематике к разрабатываемой игре: Frostpunk, Spore, ARK: Survival Evolved, The Long Dark, Ancestors: The Humankind Odyssey, The Geology Game и Father and Son. Каждая из этих игр содержит элементы, которые могут быть полезны при разработке образовательной игры. Ниже представлены их основные возможности, а также приведены достоинства и недостатки.

1. Frostpunk (2018)

Основные возможности: экономическая стратегия, управление ресурсами, принятие этических решений.

Достоинства: атмосферный геймплей, глубокая социальная механика, вызывающая эмоциональную вовлеченность.

Недостатки: высокая сложность, требующая значительного времени для освоения.

2. Spore (2008)

Основные возможности: эволюция существ, управление цивилизацией, исследование космоса.

Достоинства: уникальная концепция эволюции, разнообразие игровых элементов.

Недостатки: плоский сюжет, отсутствие долгосрочной мотивации.

3. ARK: Survival Evolved (2017)

Основные возможности: выживание, приручение динозавров, строительство баз.

Достоинства: широкие возможности для исследования и выживания, мультиплеерный режим.

Недостатки: высокие системные требования, крутая кривая обучения.

4. The Long Dark (2014)

Основные возможности: выживание в суровых климатических условиях, исследование открытого мира.

Достоинства: реалистичная механика выживания, атмосферность.

Недостатки: однопользовательский режим, отсутствие мультиплеера.

5. The Geology Game (2018)

Основные возможности: идентификация горных пород, создание музея.

Достоинства: образовательный контент, реалистичные локации.

Недостатки: ограниченная аудитория, отсутствие популярности.

6. Father and Son (2017)

Основные возможности: историческое приключение, параллельное повествование.

Достоинства: интерактивный сюжет.

Недостатки: короткая продолжительность, узкая тематика.

Таким образом, перечисленные игры предоставляют различные механики и подходы, которые могут быть учтены при создании новой образовательной среды в области геологии.

ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ

Целевая аудитория предлагаемой концепции Метасвеленной была разбита на три ключевые группы пользователей:

1. Пользователи, проявляющие интерес к геологии, но не использующие современные интерактивные решения, включая игры. Эта категория глубоко вовлечена в изучение геологических наук и предпочитает традиционные методы обучения. Такие пользователи могут быть вовлечены путём предоставления качественного и научно достоверного контента.

2. Пользователи, заинтересованные в геологии и активно играющие в видеоигры. Эти пользователи стремятся к новым методам обучения и развлечения. Они ценят игры, которые предлагают сложные сценарии, основанные на реалистичных геологических процессах.

3. Пользователи, не проявляющие интереса к геологии, но активно играющие в видеоигры и использующие интерактивные среды для получения информации. Данная аудитория увлекается игровым процессом и может быть заинтересована изучением геологии при условии, что игра будет достаточно захватывающей.

Основными группами пользователей являются: школьники средних классов (10–15 лет), школьники старших классов (16–18 лет) и студенты высших учебных заведений (до 22 лет). Для каждой из этих групп важно разработать окружение, учитывающее возрастные особенности, уровень интереса к геологии и привычки использования игровых механик. Окружение должно быть интуитивно понятным, чтобы удовлетворять потребности всех пользователей и способствовать углублению их знаний о геологии Земли.

Таблица 1 – Портреты пользователей

Параметры	Персонажи		
Имя	Алексей	Анастасия	Александр
Возраст	12	17	22
Характеристика	<p>Активный и любознательный, обожает видеоигры. Его интересы разнообразны, но он не сильно увлекается учебой, предпочитая проводить время за компьютером. Легко увлекается новыми играми и любит исследовать виртуальные миры. Он общителен, активно участвует в игровых сообществах и любит делиться своими игровыми достижениями с друзьями.</p>	<p>Целеустремленная и ответственная, готовится к поступлению в университет. Она проявляет большой интерес к естественным наукам, и хочет связать с этим свою будущую профессию. Систематична в учебе, активно участвует в олимпиадах. Стремится к глубокому пониманию предмета и часто ищет дополнительные материалы для самообразования.</p>	<p>Студент журналистского факультета. Он увлечен видеоиграми, особенно теми, которые предлагают сюжеты, основанные на реальных событиях. Верит, что такие игры могут не только развлекать, но и просвещать, предлагая глубже понять важные исторические моменты и современные проблемы. Выбирает новинки, которые предлагают истории, позволяющие лучше понять реальные события. Активно участвует в обсуждениях игр в социальных сетях, делась своим мнением.</p>

Цели	Хочет находить новые интересные игры, которые могли бы захватить его внимание и предложить что-то новое. Ему нравится, когда игры содержат элементы исследования и приключений.	Хочет поступить на геологический факультет и стать профессионалом в своей области. Ей важно получить как можно больше знаний и навыков, которые помогут ей в будущей карьере.	Хочет играть в игры, которые помогут ему лучше понять реальные события. Стремится использовать эти знания в своей карьере журналиста, чтобы создавать качественные и информативные материалы.
Проблемы	Учебные предметы не вызывают интереса. Он считает их скучными и не видит в них особой пользы для себя.	Сталкивается с недостатком качественных образовательных ресурсов по геологии. Ей сложно найти материалы, которые были бы одновременно информативными и интерактивными.	Сталкивается с тем, что не все игры действительно достоверно отражают события и имеют увлекательный геймплей.

Боли	Часто испытывает скуку на уроках, и считает их однообразными и неинтересными. Ему не хватает увлекательных и интерактивных образовательных ресурсов, которые могли бы связать его игровой опыт с учебой.	Переживает из-за того, что ее школьные знания могут быть недостаточными для успешного поступления в университет. Ей необходимо больше практики и возможности применения теоретических знаний на практике.	Разочаровывается в играх, которые искажают реальные события ради драматизма или коммерческого успеха. Ему хотелось бы видеть больше игр, которые подходили бы к истории и реальным событиям с уважением и точностью.
------	--	---	--

Для дальнейшего анализа целевой аудитории были составлены портреты пользователей. Метод «User persona» представляет собой вымышленное изображение идеального пользователя, акцентируя внимание на его поведении, предпочтениях, целях и проблемах. Персонаж, или персона, олицетворяет определённый сегмент целевой аудитории, способствуя лучшему пониманию её потребностей и мотиваций благодаря эффекту «очеловечивания».

В таблице 1 представлены персонажи и их характеристика.

Таким образом, несмотря на различия в портретах пользователей, относящихся к разным целевым группам, имеются общие боли, которые поможет закрыть новая концепция Метавселенной – увлекательный процесс самостоятельного познания с использованием современных цифровых технологий с игровыми механиками и ИИ-помощниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена новая концепция популяризации научного знания и получения образовательного опыта через взаимодействие с виртуальным окружающим миром с привлечением ИИ-агентов, подключённых к накопленной базе научно-популярного знания.

Метавселенная — это постоянно действующее цифровое пространство, в котором пользователи могут взаимодействовать с виртуальными мирами и другими пользователями в реальном времени.

Для реализации идеальной Метавселенной необходимо множество технологий, и некоторые из них пока недоступны. Однако существующие технологии позволяют построить базовую версию Метавселенной, которая дает ощущение погружения, интерактивность и возможность управления со стороны пользователя. К таким технологиям относятся высокоскоростные сети (5G), облачные и распределенные вычисления, технологии сбора и анализа данных, искусственный интеллект, технологии взаимодействия (датчики, отслеживание движений глаз), цифровые аватары.

Есть распространенное мнение, что для Метавселенной требуются технологии VR, блокчейн и игровые движки. Это не совсем так. Метавселенной можно пользоваться и без VR-очков, она может давать не только игровой опыт и не обязательно децентрализована. Если компания строит свой иммерсивный мир, где пользователи могут обучаться и обмениваться опытом через цифровые аватары, такой опыт уже можно считать Метавселенной. Важно также отметить практически безграничные возможности по визуализации и взаимодействию с пользователем внутри Метавселенной, ограничивающиеся только имеющимися аппаратными средствами и пропускной способностью каналов передачи данных.

Благодарности

Работы выполняются в рамках Государственного задания ГГМ РАН по Теме № 0140-2019-0005 «Разработка информационной среды интеграции данных естественнонаучных музеев и сервисов их обработки для наук о Земле», а также Государственной темы № 1021061009468-8-1.5.1 «Цифровая платформа интеграции и анализа геологических и музейных данных».

Автор работы выражает благодарность за постановку задачи Вере Викторовне Наумовой, главному научному сотруднику, заведующей Научным отделом Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН.

За обзор игровых решений и проработку портрета целевой аудитории Метавселенной автор выражает благодарность выпускнице Института математики и

компьютерных наук Дальневосточного федерального университета Трушниковой А.В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топ-7 технологий Метавселенной (2023) [Электронный ресурс]. <https://academy.binance.com/ru/articles/top-7-technologies-that-power-the-metaverse>. Дата обращения: 30.11.2024.
2. Из чего состоит Метавселенная. Стекло будущего (2021) [Электронный ресурс]. <https://habr.com/ru/articles/583812>. Дата обращения: 15.10.2024.
3. Наступает эра Phygital и Метавселенной. Будущее уже близко (2021). [Электронный ресурс]. <https://habr.com/ru/articles/581302>. Дата обращения: 11.10.2024.
4. Что такое Метавселенная: принципы работы, технологии, свойства (2023). [Электронный ресурс]. <https://sberuniversity.ru/edutech-club/journals/metavselennaya-modnoe-slovo-ili-obrazovatel'naya-tehnologiya-budushchego/chto-takoe-metavselennaya-printsipy-raboty-tehnologii-svoystva>. Дата обращения: 02.11.2024.
5. Кузьмин М., Ярмолюк В. Биография Земли: основные этапы геологической истории // Природа. 2017. №6. С. 12–25.
6. Виртуальная реальность и динозавры [Электронный ресурс]. <https://www.youtube.com/watch?v=M6Vj6u2UC70>. Дата обращения: 20.09.2024.
7. Бесплатные 3д модели. Палеонтология. <https://www.cgtrader.com/ru/besplatnye-3d-modeli/paleontologiya>. Дата обращения: 01.12.2024
8. Value creation in the metaverse. [Электронный ресурс]. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/marketing%20and%20sales/our%20insights/value%20creation%20in%20the%20metaverse/Value-creation-in-the-metaverse.pdf>. Date of access: 01.12.2024.
9. Zhang X., Chen Y., Hu L and Wang Y. The metaverse in education: Definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics // Front. Psychol. 13:1016300. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1016300>

METaverse «HISTORY OF THE EARTH» – A NEW LOOK AT THE POPULARIZATION OF GEOLOGICAL KNOWLEDGE

A. S. Eremenko^[0000-0003-1923-8417]

Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow;
Institute of Automatic and Control Processes of FEB RAS, Vladivostok;

academy21@gmail.com

Abstract

The work is devoted to the design of the concept of the metaverse, as a new look at the methods of popularizing scientific knowledge through user interaction with the virtual environment. The features of the construction of metaverses and the technological solutions necessary for its implementation are considered.

Keywords: *metaverse, history of the Earth, geology of the Earth, popular science portal, popularization of science, scientific and educational resource, computer game.*

REFERENCES

1. *Top-7 tehnologij metavselennoj* (2023). [Electronic resource]. <https://academy.binance.com/ru/articles/top-7-technologies-that-power-the-metaverse>. Date of access: 30.11.2024.
2. *Iz chego состоit metavselennaja. Stek budushhego* (2021). [Electronic resource]. <https://habr.com/ru/articles/583812>. Date of access: 15.10.2024.
3. *Nastupaet jera Phygital i metavselennoj. Budushhee uzhe blizko* (2021). [Electronic resource]. <https://habr.com/ru/articles/581302>. Date of access: 11.10.2024.
4. *Chto takoe metavselennaja: principy raboty, tehnologii, svojstva* (2023). [Electronic resource]. <https://sberuniversity.ru/edutech-club/journals/metavselennaya-modnoe-slovo-ili-obrazovatel'naya-tehnologiya-budushchego/chto-takoe-metavselennaya-printsipy-raboty-tehnologii-svoystva>. Date of access: 02.11.2024.
5. *Kuzmin M., Jarmoljuk V. Biografija Zemli: osnovnye jetapy geologicheskoy istorii // Priroda*. 2017. №6. S. 12–25.
6. *Virtual'naja realnost i dinozavry*. [Electronic resource]. <https://www.youtube.com/watch?v=M6Bj6u2UC70>. Date of access: 20.09.2024.

7. *Besplatnye Paleontologija 3d modeli*. [Electronic resource].
<https://www.cgtrader.com/ru/besplatnye-3d-modeli/paleontologiya>. Date of access:
01.12.2024.

8. *Value creation in the metaverse*. [Electronic resource].
<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/marketing%20and%20sales/our%20insights/value%20creation%20in%20the%20metaverse/Value-creation-in-the-metaverse.pdf>. Date of access:
01.12.2024.

9. *Zhang X., Chen Y., Hu L and Wang Y. The metaverse in education: Definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics* // *Front. Psychol.* 13:1016300. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1016300>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ЕРЕМЕНКО Александр Сергеевич – программист (внештатный сотрудник), Государственный Геологический музей им. В.И. Вернадского РАН; старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия.

Alexander EREMENKO – contract programmer of SGM scientific department, Vernadsky State Geological Museum RAS, Moscow (Russia); Ph.D, Senior researcher of Institute of automatic and control processes of FEB RAS, Vladivostok (Russia).

email: academy21@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1923-8417

Материал поступил в редакцию 16 декабря 2024 года

НАУЧНОЕ СОАВТОРСТВО В РОССИЙСКОЙ МАТЕМАТИКЕ В 2000–2020 ГОДАХ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ИЗВЕСТНЫХ РОССИЙСКИХ ЖУРНАЛОВ

Е. А. Знаменская¹ [0000-0003-3630-712X], А. А. Печников² [0000-0002-0683-0019],
Д. Е. Чебуков³ [0000-0001-9738-8707]

^{1,3} Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук,
ул. Губкина, 8, г. Москва, 119991

² Институт прикладных математических исследований — обособленное под-
разделение ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук»,
ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, 185910

¹ Институт программных систем им. А. К. Айламазяна Российской академии
наук, ул. Петра I, 4а, с. Веськово, Ярославская обл., 152021

¹ekaterin@mi-ras.ru, ²pechnikov@krc.karelia.ru, ³tche@mi-ras.ru

Аннотация

Научное соавторство является непосредственным отражением научного со-
трудничества. Существуют эмпирические доказательства ценности соавторства,
например, статьи с большим количеством авторов, как правило, цитируются
чаще, что важно для подсчета различных индексов. Многие зарубежные исследо-
вания показывают рост соавторства как в целом, так и в различных научных дис-
циплинах, однако судить о ситуации с соавторством российских учёных на осно-
вании исследований по данным Web of Science или Scopus достаточно сложно по
ряду причин.

В настоящей работе по данным портала Math-Net.Ru исследованы некото-
рые вопросы соавторства в области математических и компьютерных наук в Рос-
сии. В частности, за 2000–2020 годы показаны небольшой, но постоянный прирост
среднего числа соавторов на одну публикацию и увеличение количества статей,
написанных в соавторстве.

Ключевые слова: соавторство, Math-Net.Ru, тематическое сообщество,
граф соавторства.

ВВЕДЕНИЕ

Научное соавторство является непосредственным отражением научного сотрудничества, которое, как считается, появилось, когда наука из любительского занятия превратилась в профессиональное [1, 2]. Соавторство как явление происходит, по крайней мере, по двум причинам, применимым ко всем областям науки: между аспирантами (докторантами, студентами) и их научными руководителями, и по социальным причинам, таким как работа с коллегами-друзьями [3]. Другие причины для соавторства варьируются в зависимости от научной области, но при этом предпринимаются попытки стандартизировать требования к (со-)авторству. Например, таксономия ролей участников-исследователей Credit, разработанная в 2012 году Консорциумом по продвижению стандартов в области информации об управлении исследованиями (Consortia Advancing Standards in Research Administration Information) [4], перечисляет 14 ролей соавторства от разработки концепции до привлечения денежной поддержки работы. Есть и более жесткие требования [5], к примеру, чтобы все соавторы вносили свой вклад в написание статьи и несли ответственность за «все аспекты работы».

Существуют эмпирические доказательства ценности соавторства, укажем лишь на два из них. Журнальные статьи с большим количеством авторов, как правило, чаще цитируются, что важно для подсчета различных индексов (например, [6]). Соавторство может помочь исследователям написать больше статей [7], хотя, возможно, это и не столь ценно, если используется т. н. «фракционный счет» в оценке результативности [8].

Как бы то ни было, но многие исследования показывают рост соавторства как в целом, так и в различных научных дисциплинах. Подробный обзор и анализ этого явления дан в работе [9], оценивающей изменения в частоте соавторства в журнальных статьях за 1900–2020 годы по 27 основным рубрикам научных областей Scopus (broad fields) и по 332 рубрикам второго уровня (narrow fields). Основным результатом заключается в том, что с 1900 года число соавторов возросло как с точки зрения крупных научных направлений, так и в более узких областях, но с существенными различиями между ними. Сделан вывод, что «... рост численности команды может быть фундаментальной частью современных научных исследований, например, из-за все более сложного характера исследований, необходимых

для исследования за пределами расширяющихся научных границ, или «внеаучного воздействия» (extrascientific pressure) со стороны спонсоров совместной работы, что приводит к увеличению авторских коллективов» [9, с. 341].

В зарубежных исследованиях, посвященных анализу научных сетей, основой для получения исходных данных являются крупные интернет-платформы, такие как Web of Science или Scopus, имеющие инструменты типа Journal Citation Reports, и (не менее крупные) специализированные ресурсы, такие как PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>). Русскоязычных журналов и публикаций на этих ресурсах немного (например, в Web of Science они составляют менее 0.5% от общего количества), поэтому судить о ситуации с соавторством российских математиков на основании исследований по данным Web of Science или Scopus достаточно сложно. Авторы настоящей публикации имеют доступ к данным Общероссийского математического портала Math-Net.Ru (<http://www.mathnet.ru>), что в определенной степени позволяет исследовать указанную проблематику в области математических и компьютерных наук в России.

В основе работы лежат следующие исследовательские вопросы:

- увеличилось ли среднее число авторов на одну публикацию в ведущих математических журналах России в течение 2000–2020 годов?
- увеличилось ли количество статей, написанных в соавторстве, за этот же период?
- наблюдается ли различие в изменении количества статей, написанных в соавторстве, в зависимости от научной направленности журналов?

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В информационной системе Math-Net.Ru данные накапливаются в течение последних 17 лет. Эта информационная система индексирует научные публикации и хранит их в базе данных в структурированном виде так, как это описано в [10]. Охвачен большой временной интервал, самые ранние цитирующие статьи (то есть имеющие библиографические ссылки на публикации Math-Net.Ru) относятся к 1936 году, а самые ранние цитируемые статьи датируются 1866 годом. К началу марта 2024 г. на портале зарегистрировано более 167 тысяч авторов и 344 тысячи научных статей из 154 журналов, сериальных и других изданий.

Наполнение информационной системы по годам по различным причинам было достаточно неоднородным. Поэтому для исследования был установлен временной интервал датировки статей, опубликованных с 2000 по 2020 годы, и выбраны 38 журналов, которые индексируются в Math-Net.Ru полным или значительным объемом выпусков. Список исследуемых журналов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Список журналов

id	Название журнала	кол-во статей	1-й вып.	мод	RSCI	БС
aa	Алгебра и анализ	1020	2000	1	1	1
cheb	Чебышевский сборник	863	2001	1	1	3
tvp	Теория вероятностей и ее применения	1104	2000	1	1	2
znsi	Записки научных семинаров ПОМИ	2949	2000	1		
al	Алгебра и логика	854	2000	2	1	2
mt	Математические труды	351	2000	2	1	2
semr	Сибирские электронные математические известия	1266	2004	2	1	2
smj	Сибирский математический журнал	2298	2000	2		2
vmj	Владикавказский математический журнал	631	2000	2	1	3
iimi	Известия Института математики и информатики Удмуртского государственного университета	406	2002	3		3
ivm	Известия высших учебных заведений. Математика	2417	2000	3	1	3

mgta	Математическая теория игр и её приложения	259	2009	3	1	3
timm	Труды Института математики и механики УрО РАН	1591	2000	3	1	3
vsgtu	Вестник Самарского ГТУ. Серия «Физико-математические науки»	1355	2000	3	1	3
vspui	Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления	454	2011	3	1	3
vuu	Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки	730	2005	3	1	2
dvmg	Дальневосточный математический журнал	431	2000	4	2	4
ipmp	Препринты Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН	2373	2000	4		
mm	Математическое моделирование	2644	2000	4	1	3
pu	Проблемы управления	1081	2003	4		4
sjim	Сибирский журнал промышленной математики	1015	2000	4	1	3
sjvm	Сибирский журнал вычислительной математики	668	2000	4	1	3
ubs	Управление большими системами	998	2000	4	4	4
cmfd	Современная математика. Фундаментальные направления	404	2003	5		

faa	Функциональный анализ и его приложения	860	2000	5	1	3
im	Известия Российской академии наук. Серия математическая	993	2000	5	1	1
mzm	Математические заметки	4155	2000	5	1	2
rm	Успехи математических наук	1324	2000	5	1	1
sm	Математический сборник	1628	2000	5	1	1
tm	Труды Математического института имени В.А. Стеклова	1537	2000	5	1	2
ufa	Уфимский математический журнал	521	2009	5	1	3
vmum	Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика	1765	2000	5	1	3
da	Дискретный анализ и исследование операций	738	2000	6	1	3
dm	Дискретная математика	929	2000	6	1	3
fpm	Фундаментальная и прикладная математика	1465	2000	6		4
mvk	Математические вопросы криптографии	324	2010	6	1	3
pdm	Прикладная дискретная математика	705	2008	6	1	3
pdma	Прикладная дискретная математика. Приложение	518	2012	6		

В колонке «id» записан идентификатор журнала в Math-Net.Ru, а в колонке «кол-во статей» – количество статей в каждом журнале, используемых в данном

исследовании (с учетом того, что журналы начали индексироваться в разное время). Первый год индексации указан в колонке «1-й год_инд». О высоком уровне журналов свидетельствует их включение как в сводный рейтинг журналов RSCI [11], так и в т. н. «белый список» [12]. В таблице 1 в колонке «RSCI» указан квартиль журнала в этом рейтинге, а уровень в «белом списке» – в колонке «БС». Из 38 журналов в рейтинг RSCI попали 30 (28 имеют квартиль 1), а в «белый список» – 34.

Высокий уровень журналов, использованных в проведенном исследовании, подтверждается российским рейтингом RSCI, фактически приравненным к Scopus и Web of Science (для журналов, не имеющих квартиля). «Белый список» строится с учетом вхождения журналов в одну или несколько баз (Web of Science Core Collection, Scopus, GeoRef, MathSciNet, MEDLINE, AGRICOLA и т. д., включая RSCI), что позволяет отразить международный аспект, столь активно применявшийся в течение многих лет в России.

В колонке «мод» указаны целые от 1 до 6, характеризующие включение журнала в одно из шести сообществ, о которых речь пойдет далее в разделе «Изменение количества авторов статей по сообществам». Журналы в таблице упорядочены по возрастанию их значений «мод».

Суммарное количество статей, использованных в проведенном исследовании, равно 45624, а общее количество авторов – около 23900. Распределение авторов по количеству статей, к которым они имеют отношение (то есть являются либо авторами, либо соавторами), очень неравномерное: 13 тыс. авторов имеют отношение к одной статье, еще 4 тыс. – к двум, и только 5 авторов имеют отношение более чем к 100 статьям (максимум – 125). Распределение явно не представляет собой дискретный степенной закон, что требует дополнительного исследования.

ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕГО КОЛИЧЕСТВА СОАВТОРОВ

Среднее число авторов, приходящееся на одну статью, рассчитывалось как среднее арифметическое значение по всему массиву из 45624 статей. Журналы имеют различные первые годы индексации и разное количество статей, публикуемых ежегодно, поэтому суммарное количество статей по годам колеблется в пределах от 1793 в 2000 до 2452 в 2012 году, имея некоторую тенденцию роста.

Для этого этапа исследования данные являются репрезентативными, поскольку подсчитывается среднее количество авторов на одну статью в год.

На рис. 1 приведены графики изменения среднего количества авторов.

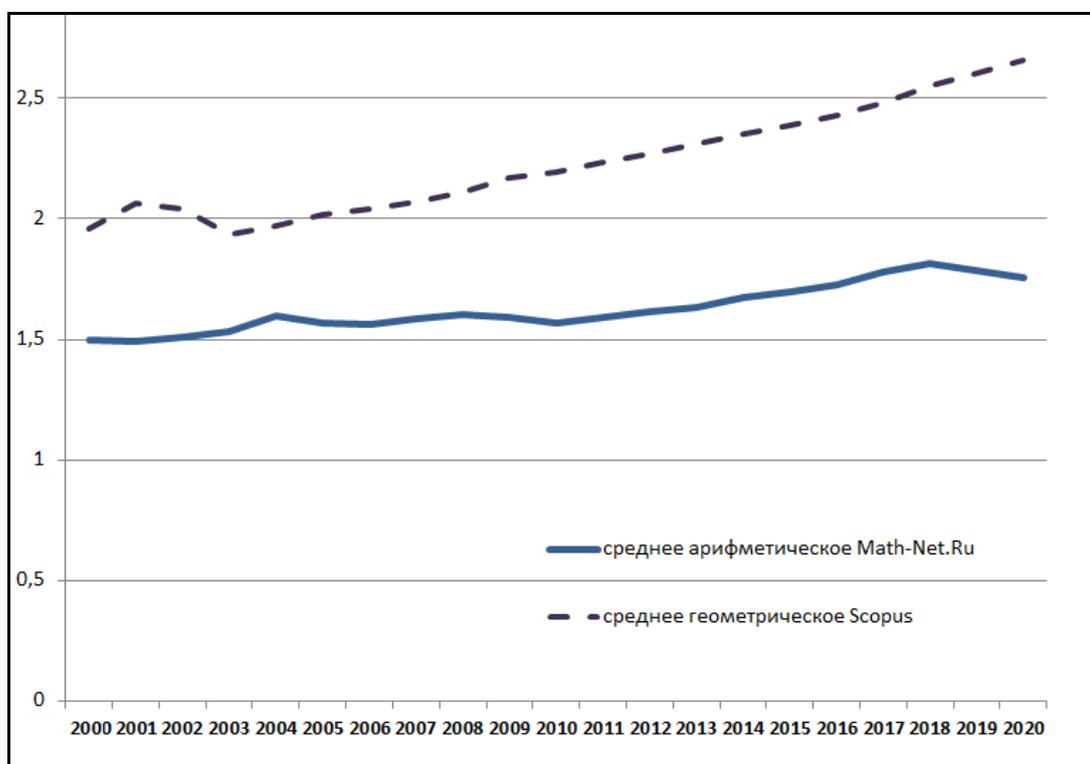


Рис. 1. Среднее количество авторов на одну статью с 2000 по 2020 годы

График, построенный по данным Math-Net.Ru, изображен сплошной линией. Значение показателя в 2000 году равно 1.497, а в 2020 году – 1.757 и аппроксимируется линейной функцией $y=0.015*(x-1999)+1.462$, где x – год, а y – среднее значение показателя, что свидетельствует о незначительном, но неуклонном росте. Второй график, изображенный пунктирной линией на этом же рисунке, построен по данным, предоставленным авторами работы [9] на электронном ресурсе [13], для рубрики Scopus “2600 Mathematics (all)”. Здесь «...среднее число авторов на статью было рассчитано с использованием среднего геометрического значения» [9, с. 334] за 1900–2020 годы, откуда мы взяли данные только за 2000–2020 годы.

Очевидно, что рост наблюдается в обоих случаях, хотя тенденции роста количества соавторов в Math-Net.Ru и Scopus существенно различаются. Как известно, среднее арифметическое значение всегда больше или равно среднего

геометрического, а в нашем случае среднее геометрическое количество авторов для Math-Net.Ru с 2000 по 2020 годы практически близко к константе 1.02, что означает отличие более чем в два раза в сравнении с данными Scopus “2600 Mathematics (all)”.

ИЗМЕНЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО КОЛИЧЕСТВА АВТОРОВ СТАТЕЙ

В абсолютных значениях изменение количества статей за 2000–2020 годы приведено на рис. 2.

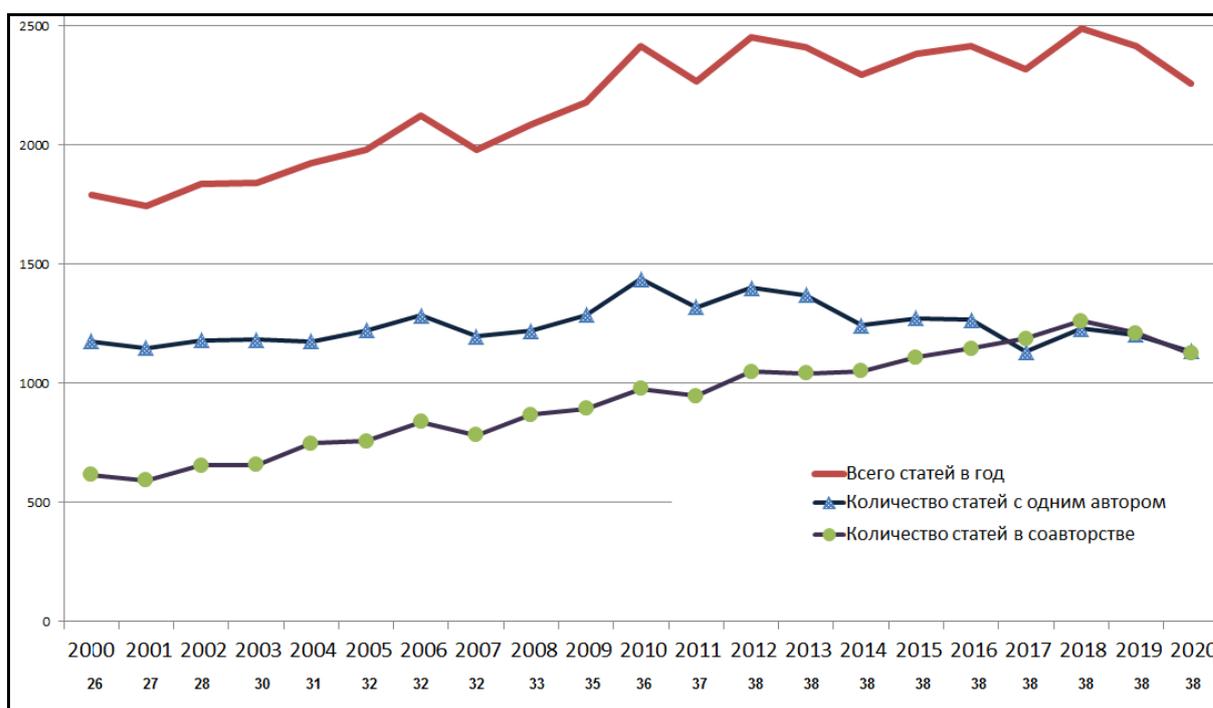


Рис. 2. Общее количество статей, статей с одним автором и в соавторстве с 2000 по 2020 годы

Количество статей в соавторстве является суммой всех статей, имеющих более одного автора (а именно, от 2 до 23 соавторов). Ниже строки с указанием годов по оси абсцисс приведено количество журналов, проиндексированных каждый год в Math-Net.Ru и использованных в исследовании.

На графике общего количества статей в год заметен их рост с увеличением количества проиндексированных журналов. При этом увеличивается как число статей, принадлежащих одному автору, так и число статей в соавторстве. Стабилизация происходит в 2010 году, когда число журналов достигло 36. С этого же

года становится заметной тенденция уменьшения количества «сольных» статей и роста статей в соавторстве.

Более убедительный рост количества статей в соавторстве обнаружен при анализе ситуации с 2010 года, т. е. первого года стабилизации суммарного годового количества статей. На рис. 3 видно, что с 2017 года доля количества статей в соавторстве достигает доли количества статей с одним автором. На этом же рисунке видно, что основную составляющую прироста статей в соавторстве дают статьи двух соавторов (более 65%).

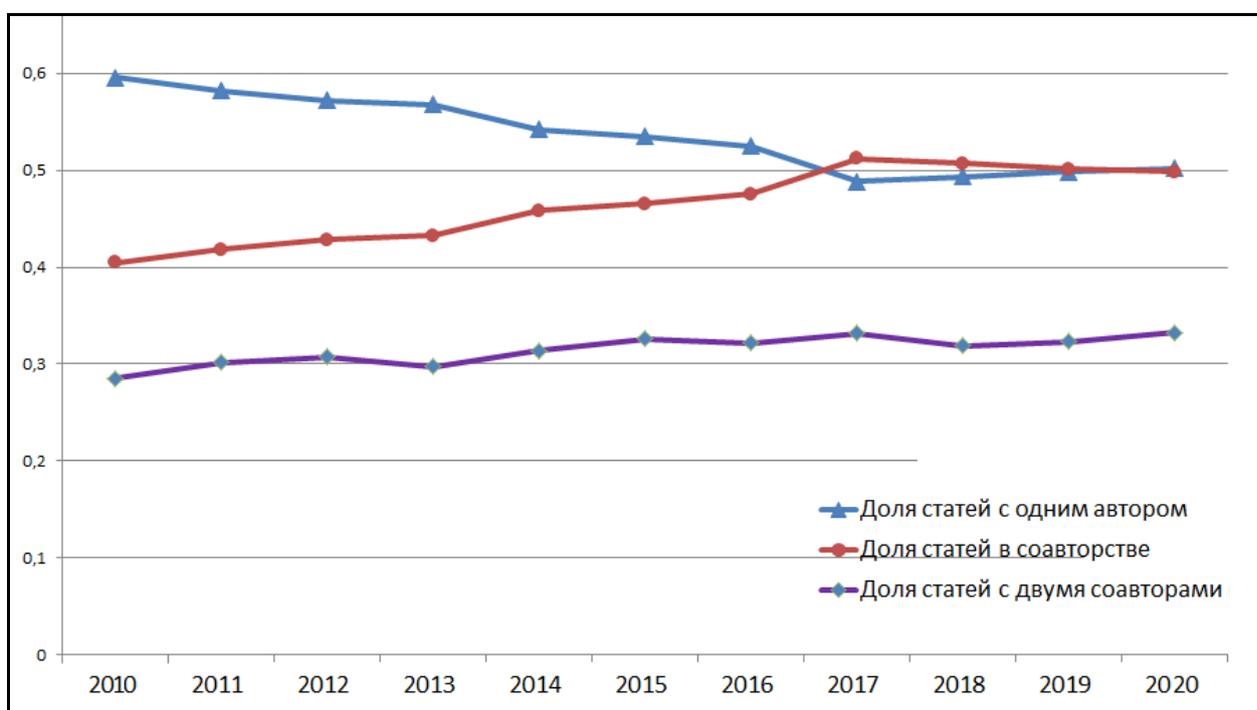


Рис. 3. Доли количества статей с 2010 по 2020 год

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АВТОРОВ СТАТЕЙ ПО ТЕМАТИЧЕСКИМ СООБЩЕСТВАМ

Для ответа на вопрос, наблюдается ли различие в изменении количества статей, написанных в соавторстве, в зависимости от фундаментальной, прикладной или тематической направленности журналов, необходимо построить разбиение множества журналов на подмножества, содержащие журналы, «близкие» по некоторым заранее сформулированным признакам, что является нетривиальной

задачей. К примеру, в рейтинге RSCI [11] тематика журнала определяется по принадлежности к группам OECD [14], а из наших 38 журналов 29 относятся к группе 01.01.01 “Mathematics”. Сюда попадают, например, журналы «Дискретная математика», «Алгебра и анализ» и «Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления», а хотелось бы иметь более «тонкий» инструмент, позволяющий различать их.

Для этого был использован подход, ранее предложенный авторами в работе [15] и основанный на построении графа цитирования журналов. Рассматривая журналы как вершины графа и используя информацию из Math-Net.Ru о библиографических ссылках между статьями, опубликованными в этих журналах за период с 2000 по 2020 годы, был построен граф цитирования журналов $G_{cit}(V, E, W)$, где:

V – множество вершин (38 вершин, соответствующих журналам и обозначаемых их идентификаторами id),

E – множество дуг (984 дуги $e(i, j)$, связывающие пары вершин i и j , если статьи журнала i имеют хотя бы одну ссылку на статьи журнала j),

W – множество весов дуг (вес $w(i, j)$ дуги $e(i, j)$ равен количеству ссылок, сделанных из всех статей журнала i на статьи журнала j). Сумма всех весов $|W| = 56381$ – это количество всех цитирований журналов из V , причем 23568 из них являются самоцитированиями (статья из журнала i ссылается на статью из этого же журнала i).

Как известно, сообщество (модуль, кластер) в графе – это подмножество вершин, имеющее больше внутренних связей между собой, чем внешних. Наше предположение заключается в том, что журналы, попадающие в одно сообщество, имеют примерно одинаковую научную направленность. В нашем случае граф G_{cit} имеет невысокие тенденции к разбиению на сообщества с коэффициентом модулярности менее 0.3, поэтому в результате нескольких экспериментов было подобрано разбиение, имеющее значение модулярности 0.278, и количество журналов-участников сообщества, позволяющее интуитивно оценить их «близость». Без учета петель (то есть самоцитирований журналов), но с учетом весов дуг, граф был разбит на 6 сообществ, пронумерованных в табл. 1 цифрами

от 1 до 6 в колонке «мод». Разбиение не представляется бесспорным, хотя определенные закономерности можно проследить. Например, сообщество под номером 6 можно было бы назвать как «сообщество по дискретной математике». Журналы сообществ с номерами 3 и 4 в большей степени можно отнести к направлению «прикладная математика», а с номерами 1, 2, 5 и 6 – к фундаментальной математике.

На рис. 4 показано изменение долей количества статей с соавторами за 2010–2020 годы с привязкой к сообществам.

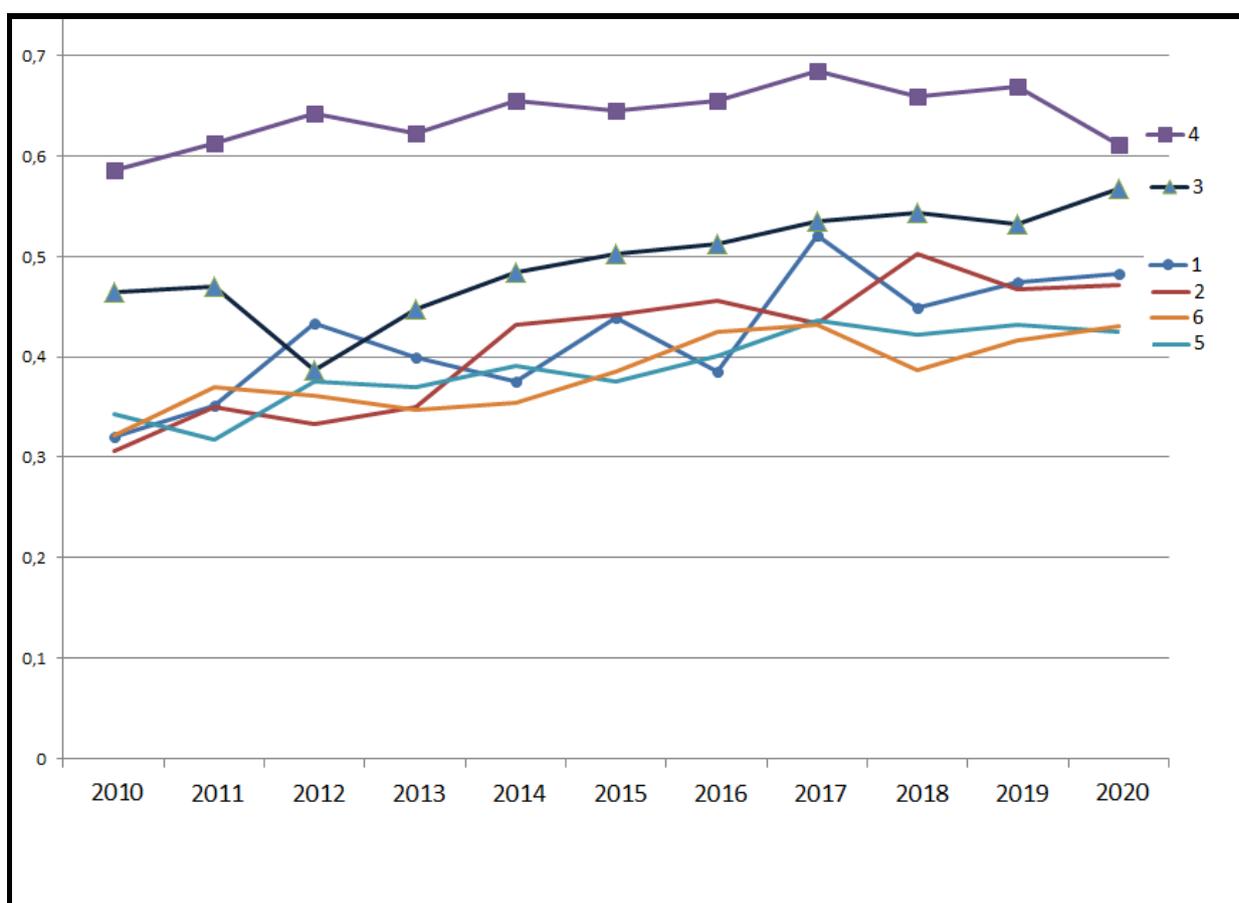


Рис. 4. Доли количества статей в соавторстве по сообществам с 2010 по 2020 годы

Показательна большая доля таких статей (более 60%), которая обнаруживается у сообщества под номером 4, явно имеющего прикладную направленность. Сообщество под номером 3, также имеющее прикладную направленность, тоже

имеет значительное число статей в соавторстве и более заметный его рост по годам. Для остальных сообществ также характерен рост доли статей в соавторстве, но эта доля не превосходит половины публикаций.

Можно сказать, что для журналов по прикладной математике характерно большее количество статей в соавторстве, чем для журналов по фундаментальной математике, хотя ежегодный прирост доли таких статей для всех сообществ примерно одинаковый (как исключение – сообщество б, у которого данные значения колеблются около 0.65).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ответим на три вопроса, сформулированных во Введении.

- *Увеличилось ли среднее число авторов на одну публикацию в ведущих математических журналах России в течение 2000–2020 годов?*

- Да. Среднее количество статей в соавторстве в среднем прирастает в год на 0.015, что свидетельствует о незначительном, но неуклонном росте.

- *Увеличилось ли количество статей, написанных в соавторстве, за этот же период?*

- Да. В 2000 году количество статей, написанных одним автором, превосходило количество статей в соавторстве примерно в два раза, начиная с 2017 года, их значения примерно одинаковые.

- *Наблюдается ли различие в изменении количества статей, написанных в соавторстве, в зависимости от научной направленности журналов?*

- Да. Доля статей в соавторстве в журналах по прикладной математике выше, чем в журналах по фундаментальной математике. Это достаточно очевидный результат, учитывая тот факт, что исследования прикладной направленности требуют вовлечения большего количества участников, например, для извлечения реальных данных и их обработки. Неочевидный результат заключается в том, что для журналов теоретической направленности отмечается рост таких публикаций, в то время как для журналов прикладной направленности это не наблюдается.

В настоящий момент авторы не могут привести убедительных объяснений обнаруженному росту среднего числа авторов на одну публикацию и количества статей, написанных в соавторстве. Примем во внимание обнаруженное обстоятельство и попробуем объяснить его в следующих работах.

Следует также отметить, что сравнение соавторства математиков по данным Math-Net.Ru и Scopus говорит о весьма существенной разнице, и это следует принимать во внимание при принятии административных решений, например, в грантовой политике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Beaver D., Rosen R.* Studies in scientific collaboration: Part I. The professional origins of scientific co-authorship // *Scientometrics*. 1978. Vol. 1. No. 1. P. 65–84. <https://doi.org/10.1007/BF02016840>
2. *Иванова Н.А.* Социально-философские аспекты профессионализации науки // *Научное мнение*. 2022. № 12. С. 24–34. https://doi.org/10.25807/22224378_2022_12_24
3. *Melin G.* Pragmatism and self-organization: Research collaboration on the individual level // *Research Policy*. 2000. Vol. 29. No. 1. P. 31–40. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00031-1)
4. CRediT – Contributor Roles Taxonomy. URL: <https://casrai.org/credit>.
5. Recommendations for the conduct, reporting, editing, and publication of scholarly work in medical journals. URL: <https://icmje.acponline.org/icmje-recommendations.pdf>.
6. *Larivière V. et al.* Team size matters: Collaboration and scientific impact since 1900 // *Journal of the Association for Information Science and Technology*. 2015. Vol. 66. No. 7. P. 1323–1332. <https://doi.org/10.1002/asi.23266>
7. *Abramo G., D'Angelo C.A., Di Costa F.* Research collaboration and productivity: Is there correlation? // *Higher Education*. 2009. Vol. 57. No. 2. P. 155–171. <https://doi.org/10.1007/s10734-008-9139-z>
8. *Гуськов А.Е., Косяков Д.В.* Национальный фракционный счёт и оценка научной результативности организаций // *Научные и технические библиотеки*. 2020. № 9. С. 15–42. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2020-9-15-42>
9. *Thelwall M., Maflahi N.* Research coauthorship 1900–2020: Continuous, universal, and ongoing expansion // *Quantitative Science Studies*. 2022. Vol. 3. No. 2. P. 331–344. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2020-9-15-42>

10. *Chebukov D., Izaak A., Misyurina O., Pupyrev Yu., Zhizhchenko A.* Math-Net.Ru as a digital archive of the Russian mathematical knowledge from the XIX century to today // *Lecture Notes in Comput. Sci.* 2013. Vol. 7961. P. 344–348.

https://doi.org/10.1007/978-3-642-39320-4_26

11. Пресс-релиз Рабочей Группы по оценке качества и отбору журналов в Russian Science Citation Index (RSCI) о тематическом и сводном рейтинге журналов RSCI. URL: https://elibrary.ru/projects/rsci/rsci_raiting_22.asp.

12. «Белый список» научных журналов.

URL: <https://journalrank.rcsi.science/ru>.

13. Research Co-authorship 1900-2020: Continuous, universal, and ongoing expansion.

URL: https://figshare.com/articles/dataset/Research_Co-authorship_1900-2020_Continuous_universal_and_ongoing_expansion/17064419.

14. Расширенный классификатор науки ОЭСР.

URL: <https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-po-zapolneniiu-formy-monitoringa-mezhdunarodnoi/prilozhenie-n-3>.

15. *Печников А.А., Чебуков Д.Е.* Структура графа цитирования журналов Math-Net.Ru // Труды XXIII Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет», онлайн, 20–23 сентября 2021 г. ИПМ им. М.В. Келдыша: 2021, С. 265-278. <https://doi.org/10.20948/abrau-2021-2>

SCIENTIFIC CO-AUTHORSHIP IN RUSSIAN MATHEMATICS IN 2000–2020: A STUDY BASED ON THE EXAMPLE OF FAMOUS RUSSIAN JOURNALS

E. A. Znamenskaya¹ [0000-0003-3630-712X], A. A. Pechnikov² [0000-0002-0683-0019],

D. E. Chebukov³ [0000-0001-9738-8707]

^{1,3} *Steklov Mathematical Institute of RAS, ul. Gubkina, 8, Moscow, 119991*

² *Institute of Applied Mathematical Research of the Karelian Research Centre of RAS, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910*

¹ *Ailamazyan Program Systems Institute of RAS, ul. Petra I, 4a, s. Ves'kovo, Yaroslavl'skaya obl., 152021*

¹ekaterin@mi-ras.ru, ²pechnikov@krc.karelia.ru, ³tche@mi-ras.ru

Abstract

Scientific co-authorship is a direct reflection of scientific collaboration. There is empirical evidence of the value of co-authorship, for example, articles with a large number of authors tend to be cited more often, which is important for calculating various indexes. Many foreign studies show an increase in co-authorship both in general and in various scientific disciplines, however, it is quite difficult to judge the situation with co-authorship of Russian scientists based on research according to Web of Science or Scopus for a number of reasons. According to the portal Math-Net.Ru some issues of co-authorship in the field of mathematical and computer sciences in Russia are investigated. In particular, it shows a small but steady increase in the average number of co-authors per publication and an increase in the number of articles co-authored over the years 2000-2020.

Keywords: *co-authorship, Math-Net.Ru, thematic community, graph of co-authorship.*

REFERENCES

1. *Beaver D., Rosen R. Studies in scientific collaboration: Part I. The professional origins of scientific co-authorship // Scientometrics. 1978. Vol. 1., No. 1. P. 65–84. <https://doi.org/10.1007/BF02016840>*

2. *Ivanova N.A.* Social and philosophical aspects of professionalisation of science // *Nauchnoe mnenie*. 2022. № 12. С. 24–34.

https://doi.org/10.25807/22224378_2022_12_24

3. *Melin G.* Pragmatism and self-organization: Research collaboration on the individual level // *Research Policy*. 2000. Vol. 29, No. 1. P. 31–40.

[https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00031-1)

4. CRediT – Contributor Roles Taxonomy. URL: <https://casrai.org/credit>.

5. Recommendations for the conduct, reporting, editing, and publication of scholarly work in medical journals.

URL: <https://icmje.acponline.org/icmje-recommendations.pdf>

6. *Larivière V. et. al.* Team size matters: Collaboration and scientific impact since 1900 // *Journal of the Association for Information Science and Technology*. 2015. Vol. 66, No. 7. P. 1323–1332. <https://doi.org/10.1002/asi.23266>

7. *Abramo G., D'Angelo C.A., Di Costa F.* Research collaboration and productivity: Is there correlation? // *Higher Education*. 2009. Vol. 57, No. 2. P. 155–171. <https://doi.org/10.1007/s10734-008-9139-z>

8. *Guskov A.E., Kosyakov D.V.* National fractional calculations and evaluating organization's science efficiency // *Scientific and Technical Libraries*. 2020. № 9. С. 15–42. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2020-9-15-42>

9. *Theilwall M., Maflahi N.* Research coauthorship 1900–2020: Continuous, universal, and ongoing expansion // *Quantitative Science Studies*. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 331–344. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2020-9-15-42>

10. *Chebukov D., Izaak A., Misyurina O., Pupyrev Yu., Zhizhchenko A.* Math-Net.Ru as a digital archive of the Russian mathematical knowledge from the XIX century to today // *Lecture Notes in Comput. Sci.* 2013. Vol. 7961. P. 344–348.

https://doi.org/10.1007/978-3-642-39320-4_26

11. Press-reliz Rabochei Gruppy po ocenke kachestva i otboru jurnalov v Russian Science Citation Index (RSCI) o tematicheskom i svodnom reitinge jurnalov RSCI. URL: https://elibrary.ru/projects/rsci/rsci_raiting_22.asp.

12. «Belyi spisok» nauchnyh zhurnalov. URL: <https://journalrank.rcsi.science/ru>.

13. Research Co-authorship 1900–2020: Continuous, universal, and ongoing expansion. URL: https://figshare.com/articles/dataset/Research_Co-authorship_1900-2020_Continuous_universal_and_ongoing_expansion/17064419.

14. Rasshirenyj klassifikator nauki OECD.
URL: <https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-po-zapolneniiu-formy-monitoringa-mezhdunarodnoi/prilozhenie-n-3>.

15. *Pechnikov A.A., Chebukov D.E.* Struktura grafa citirovanija jurnalov Math-Net.Ru // Trudy XXIII Vserossiiskoi nauchnoi konferencii «Nauchnyi servis v seti Internet», online, 20–23 sentjabrja 2021 g. IPM im. M.V. Keldysha. 2021. S. 265–278. <https://doi.org/10.20948/abrau-2021-2>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ЗНАМЕНСКАЯ Екатерина Александровна – ведущий программист Отдела компьютерных сетей и информационных технологий Математического института им. В.А. Стеклова Российской академии наук. Инженер-исследователь ИЦСА Института программных систем им. А. К. Айламазяна Российской академии наук. Сфера научных интересов – электронные библиотеки, технология разметки библиографии, библиометрия.

Ekaterina Aleksandrovna ZNAMENSKAYA – Leading programmer, Department of Computer Networks and Information Technology, Steklov Mathematical Institute of Russian Academy of Sciences. Research Engineer, Ailamazyan Program Systems Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests include digital libraries, bibliographic tagging technology, bibliometrics.

email: ekaterin@mi-ras.ru;

ORCID: 0000-0003-3630-712X



ПЕЧНИКОВ Андрей Анатольевич – ведущий научный сотрудник Института прикладных математических исследований обособленного подразделения ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук», доцент, д. т. н. Сфера научных интересов – математическое моделирование, графы и сети, дискретная оптимизация, вебометрика, наукометрия.

Andrey Anatolevich PECHNIKOV – Leading Researcher, Institute of Applied Mathematical Research of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Associate Professor, Doctor (DSc) of Technics. Research interests include mathematical modelling, graphs and nets, discrete optimization, webometrics, scientometrics.

email: pechnikov@krc.karelia.ru;

ORCID: 0000-0002-0683-0019



ЧЕБУКОВ Дмитрий Евгеньевич – зав. Информационно-издательским сектором Математического института им. В.А. Стеклова Российской академии наук, к. х. н. Сфера научных интересов – библиометрия, наукометрия, электронные библиотеки.

Dmitry Evgen'evich CHEBUKOV – Head of Information and Publishing Sector, Steklov Mathematical Institute of Russian Academy of Sciences, Candidate Chem. Sci. Research interests include bibliometrics, scientometrics, digital libraries.

email: tche@mi-ras.ru;

ORCID: 0000-0001-9738-8707

Материал поступил в редакцию 10 ноября 2024 года

УДК 551.5, 556, 504.3, 504.4

НОВЫЙ МЕТОД ОПИСАНИЯ ВИХРЕВЫХ КОВАРИАЦИОННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Р.Р. Нигматуллин¹ [0000-0003-2931-4428], А.А. Литвинов² [0009-0000-3901-3704],

С. И. Осокин³ [0000-0002-0699-5390]

¹Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, 420111 Казань, Россия

^{2,3}Казанский федеральный университет, Институт информационных технологий и интеллектуальных систем, 420008 Казань, Россия

¹renigmat@gmail.com, ²litvinov85@gmail.com, ³s.osokin@it.kfu.ru

Аннотация

Предложены основы оригинальной теории квазивоспроизводимых экспериментов (КВЭ), основанной на проверяемой гипотезе о наличии существенной корреляции (памяти) между последовательными измерениями. На основе этой гипотезы, которую авторы для краткости определяют как верифицируемый принцип частичной корреляции (ВПЧК), можно доказать, что существует универсальная подгоночная функция (УПФ) для квазивоспроизводимых (КВ) измерений. Другими словами, существуют некая общая платформа или «мост», на котором, образно говоря, «встречаются» истинная теория (претендующая на описание данных из первых принципов или проверяемых моделей) и эксперимент, предлагающий эту теорию для проверки измеренных данных, максимально «очищенных» от влияния неконтролируемых факторов и аппаратно-программной функции. Фактически предлагаемая теория дает потенциальному исследователю способ очистки исходных данных и в конечном итоге предлагает подгоночную кривую, которая описывает данные, является периодической и очищенной от набора неконтролируемых факторов. Окончательная подгоночная кривая соответствует идеальному эксперименту.

Предложенная теория была проверена на вихревых ковариационных экологических данных по количеству/балансу CH_4 , CO_2 и паров воды H_2O в атмосфере, где расположены соответствующие детекторы для измерения содержания искоемых газов.

Для этих проверенных данных вихревой ковариации, связанных с наличием в атмосфере двух газов CH_4 , CO_2 и паров H_2O , не существует простой гипотезы, содержащей минимальное число подгоночных параметров, и, следовательно, подгоночная функция, следующая из этой теории, может служить единственным и надежным средством количественного описания такого рода данных, принадлежащих сложной системе. Следует также отметить, что окончательная подгоночная функция, очищенная от неконтролируемых факторов, становится периодической и соответствует идеальному эксперименту.

Обсуждены приложения этой теории, ее место среди других альтернативных подходов (особенно затрагивающих профессиональные интересы экологов) и её дальнейшее развитие.

Ключевые слова: квазивоспроизводимые эксперименты, сложные системы, верифицируемый принцип частичной корреляции, универсальная подгоночная функция, квазипериодические измерения, квазивоспроизводимые измерения, эффекты памяти, вихревая ковариация

Список основных аббревиатур

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

(Ф) ЛМНК – (функциональный) линейный метод наименьших квадратов;

ПМ – промежуточная модель;

ИЭ – идеальный эксперимент;

КВЭ(ы) – квазивоспроизводимый эксперимент(ы);

ВПЧК – верифицируемый принцип частичной корреляции;

ТД – труба доверия;

ВЧ – высокочастотный.

1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Можно ли построить «универсальную» подгоночную функцию для описания нестационарных квазивоспроизводимых экспериментов (КВЭ) для широкого класса сложных систем? Такой вопрос звучит абсурдно и бессмысленно для любого опытного специалиста. Всем известно, как происходит традиционное взаимодействие теории и эксперимента. Теория предлагает модели, гипотезы, осно-

ванные на некоторых предположениях и постулатах. Эксперимент, в свою очередь, проверяет эти гипотезы, пытаясь максимально исключить влияние неконтролируемых факторов и искажений (помех), вносимых измерительной аппаратурой (ее обычно определяют как аппаратную функцию). Что же принципиально нового можно внести в эту традиционную схему? А если представить, что можно найти некий верифицируемый или проверяемый принцип, которому подчиняются практически все измерения? Если такой принцип будет найден, то из его математической формулировки можно будет вывести некую «универсальную» подгоночную функцию, которая позволит описать все измерения. Авторы определяют этот принцип как верифицируемый принцип частичной корреляции (ВПЧК). Таким образом, на основе ВПЧК можно будет получить общую математическую модель (определяемую как промежуточная модель – ПМ), которой должны будут подчиняться все измерения, удовлетворяющие этому принципу. Что это за принцип, которому удовлетворяет большинство измерений? Если развернуть ВПЧК, то он формулируется следующим образом: последовательные измерения сохраняют частичную корреляцию (память) между собой и остаются полностью или частично коррелированными в результате ряда последовательных измерений. Конечно, здесь необходимо сделать уточнения о природе и виде этих измерений и перевести эту неточную словесную формулировку на строгий математический язык. Поэтому необходимо сначала привести несколько понятий, а затем перевести этот принцип на язык математических формул. Под «идеальным» экспериментом (ИЭ) авторы понимают такой эксперимент, когда последовательность измерений m ($m=0, 1, 2, \dots, M-1$), проведенных в течение некоторого среднего периода T относительно управляющей внешней переменной x , приводит к одному и тому же значению измеряемой функции отклика $F(x)$. В этом смысле все измерения, соответствующие ИЭ, полностью или абсолютно коррелируют. Математически это утверждение выглядит следующим образом:

$$F(x+mT)=F(x), \quad m=0, 1, \dots, M-1. \quad (1)$$

Здесь контролируемая (управляемая) переменная x может совпадать с переменной времени (t), частотой (ω), длиной волны (λ) и т. д. Поскольку эксперимент,

проводимый над этим набором переменных, является однофакторным, предполагается, что другие контролируемые переменные, влияющие на функцию отклика, остаются неизменными в некотором диапазоне своих значений в ходе однофакторного эксперимента. Решением этого функционального уравнения (1) является периодический отрезок соответствующего ряда Фурье. Для дискретных данных отрезок ряда Фурье обычно записывается в виде

$$F(x) \cong Pr(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{K \gg 1} \left[A_{c_k} \cos\left(2\pi k \frac{x}{T}\right) + A_{s_k} \sin\left(2\pi k \frac{x}{T}\right) \right]. \quad (2)$$

Параметр T определяет некоторый средний период измерения относительно входной переменной x . Из простого уравнения (1) следует, что выражение (2) может быть использовано в качестве подгоночной функции для функции отклика в ПМ. В этом идеализированном случае ПМ совпадает с отрезком ряда Фурье, а коэффициенты этого разложения могут выступать в качестве подгоночных параметров, соответствующих ИЭ. Фактически подгоночные параметры образуют искомую амплитудно-частотную характеристику (АЧХ). Совершенно очевидно, что требование ИЭ (1) в реальности *не* реализуется, и анализ различных данных показывает, что вместо уравнения (1) следует записать более общее функциональное уравнение

$$F(x+LT) = \sum_{l=0}^{L-1} \langle a_l(x) \rangle F(x+lT). \quad (3)$$

Здесь функции $\langle a_l(x) \rangle$ учитывают влияние набора неконтролируемых факторов. Большинство экспериментов следуют соотношению (3) и, следовательно, эти эксперименты можно определить как КВЭ. Оказывается, что можно найти аналитические решения уравнения (3) для широкого класса функций. Тогда можно существенно устранить влияние неконтролируемых факторов и получить в итоге чистую периодическую функцию, соответствующую ИЭ (1). Становится возможным наметить основы этой более общей теории, основанной на серии последовательных измерений, применимых к описанию КВЭ.

Конечно, любая теория будет неполной, если она не проверена экспериментом. Проведенные нами эксперименты касались количественного анализа таких газов, как CH_4 , CO_2 и паров H_2O , содержащихся в атмосфере, и, следовательно, предлагаемая теория дает новые и более достоверные возможности в анализе

этих вихревых ковариационных данных. Более того, предлагаемые алгоритмы достаточно общие, и их можно применять и для анализа многих подобных КВЭ.

2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ КВЭ

2.1. Самосогласованные решения уравнения (3)

Оказывается, можно получить решения функционального уравнения (3) при условии, что «длина» L , характеризующая память между измерениями, предполагается известной. Итак, предположим, что все последовательные измерения удовлетворяют уравнению

$$F_{L+m}(x) = \sum_{l=0}^{L-1} \langle a_l(x) \rangle F_{l+m}(x), \quad m=0, 1, \dots, M-1. \quad (4)$$

Для нахождения неизвестных функций $\langle a_l(x) \rangle$ ($l=0, 1, \dots, L; L < M$) можно обобщить линейный метод наименьших квадратов (ЛМНК) и потребовать, чтобы функциональная дисперсия принимала минимальное значение

$$\sigma(x) = \frac{1}{M-L} \sum_{m=0}^{M-L-1} [F_{L+m}(x) - \sum_{l=0}^{L-1} \langle a_l(x) \rangle F_{l+m}(x)]^2 = \min. \quad (5)$$

Чтобы получить искомое решение, необходимо взять среднее значение по оставшимся измерениям ($l=0, 1, \dots, M-L-1; L < M$). Взяв функциональные производные от (5) по неизвестным функциям $\langle a_l(x) \rangle$, получим

$$-\frac{\delta\sigma(x)}{\delta\langle a_l(x) \rangle} = \frac{1}{M-L} \sum_{m=0}^{M-L-1} [F_{l+m}(x)(F_{L+m}(x) - \sum_{s=0}^{L-1} \langle a_s(x) \rangle F_{s+m}(x))] = 0. \quad (6)$$

Здесь мы также применили процедуру усреднения по всему множеству допустимых измерений, предположив, что набор функций $\langle a_l(x) \rangle$ ($l=0, 1, \dots, L; L < M$) не зависит от индекса m . Вводя определения парных корреляционных функций (7)

$$K_{L,l} = \frac{1}{M-L} \sum_{m=0}^{M-L-1} F_{L+m}(x) F_{l+m}(x), \quad K_{s,l} = \frac{1}{M-L} \sum_{m=0}^{M-L-1} F_{s+m}(x) F_{l+m}(x), \\ s, l=0, 1, \dots, L-1, \quad (7)$$

можно получить систему линейных уравнений для вычисления неизвестных функций $\langle a_l(x) \rangle$

$$\sum_{s=0}^{L-1} K_{s,l}(x) \langle a_s(x) \rangle = K_{L,l}(x). \quad (8)$$

Имеет смысл определить эту процедуру как функциональный линейный метод наименьших квадратов (ФЛМНК), включающий в себя обычный ЛМНК как частный случай.

Теперь вернемся к уравнению (3). Решение этого уравнения будем искать в виде

$$F_0(x)=[k(x)]^{x/T} Pr(x), F_m(x)=[k(x)]^{m+x/T} Pr(x). \quad (9)$$

Функции $\langle a_l(x) \rangle, k(x \pm T) = k(x), Pr(x \pm T) = Pr(x)$, в соответствии с предположениями, сделанными выше, можно приближенно выразить отрезком ряда Фурье в полной аналогии с выражением (2)

$$\Phi(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{K \gg 1} \left[A_{c_k} \cos\left(2\pi k \frac{x}{T}\right) + A_{s_k} \sin\left(2\pi k \frac{x}{T}\right) \right]. \quad (10)$$

Очевидно, что коэффициенты разложения A_{c_k}, A_{s_k} ($k=1, 2, \dots, K$) в (10) зависят от конкретного вида разлагаемой функции. Подставив пробное решение (6) в уравнение (4), получим уравнение для вычисления неизвестных функций $k(x)$, фигурирующих в решении (9):

$$[k(x)]^L - \sum_{l=0}^{L-1} \langle a_l(x) \rangle [k(x)]^l = 0. \quad (11)$$

Если корни функционального уравнения (11) $k_q(x), q=1, 2, \dots, L$ получится найти, то общее решение для функции $F_m(x)$ можно записать в виде

$$F_0(x) = \sum_{q=1}^L [k_q(x)]^{x/T} Pr_q(x), F_m(x) = \sum_{q=1}^L [k_q(x)]^{m+(x/T)} Pr_q(x), \\ m=0, 1, \dots, M-1. \quad (12)$$

Число периодических функций $Pr_q(x)$ должно совпадать с числом функций $k_q(x), q=1, 2, \dots, L$, входящих в последнее выражение в (12). Именно это выражение можно рассматривать как общее решение функционального уравнения (8). Это решение можно интерпретировать следующим образом: если последовательные измерения частично коррелируют друг с другом («запоминают» друг друга) и могут изменяться в течение среднего периода измерения T , то подгоночная функция для описания этих измерений является самосогласованной и определяется всей совокупностью случайных измерений, участвующих в этом процессе. Очевидно,

что этот новый результат обобщает предыдущие результаты [1–5], полученные для случая, когда функции $\langle a_1(x) \rangle$ могут быть аппроксимированы константами a_1 . Было бы желательно получить решения уравнения (4) для случая, когда функции $\langle a_1(x) \rangle$ не являются полностью периодическими или получены априори из других условий. Но, насколько известно авторам, математическая теория решений функциональных уравнений практически не развита [6] по сравнению, например, с полноценной теорией решений дифференциальных или интегральных уравнений. Таким образом, по нашему мнению, предложенная теория определяет новое направление для математиков, работающих в области функционального анализа и нацеленных на приложения их результатов в физике, химии и технике. Для практических приложений имеет смысл более подробно рассмотреть случай короткой памяти с ($L=2$), так как количество аппроксимирующих параметров для этого случая минимально. Как будет видно ниже, случай длинной памяти $L>2$ также может быть сведен к случаю короткой памяти. Именно результаты для этого случая понадобятся для описания реальных измерений, которые приведены в следующем разделе.

Для случая короткой памяти при $L=2$ получим

$$F_{2+m}(x) = \langle a_1(x) \rangle F_{1+m} + \langle a_0(x) \rangle F_m \\ m=0, 1, \dots, M-1. \quad (13)$$

Уравнение (8) для этого случая примет вид (14)

$$K_{00}(x) \langle a_0(x) \rangle + K_{10}(x) \langle a_1(x) \rangle = K_{20}(x), \\ K_{10}(x) \langle a_0(x) \rangle + K_{11}(x) \langle a_1(x) \rangle = K_{21}(x). \quad (14)$$

Решение уравнения (13) запишем в виде

$$F_0(x) = [k_1(x)]^{x/T} Pr_1(x) + [k_2(x)]^{x/T} Pr_2(x), \\ k_{1,2}(x) = \frac{\langle a_1(x) \rangle}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\langle a_1(x) \rangle}{2}\right)^2 + \langle a_0(x) \rangle}. \quad (15)$$

Если один из корней в (15) становится отрицательным (например, $k_2(x) < 0$), то общее решение для этого случая можно записать в виде

$$F_0(x) = [k_1(x)]^{x/T} Pr_1(x) + [|k_2(x)|]^{x/T} \cos\left(\pi \frac{x}{T}\right) Pr_2(x). \quad (16)$$

Если порядок измерений для оценки влияния нестационарности процесса в целом существенен, то предложенная теория позволит восстановить всю нестационарную последовательность по соотношениям

$$F_m(x) = [k_1(x)]^{m+(x/T)} Pr_1(x) + [k_2(x)]^{m+(x/T)} \cos\left(\pi \cdot \left(\frac{x}{T} + m\right)\right) Pr_2(x),$$
$$Pr_{1,2}(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{K_m} \left[A_{k,1,2}^{(m)} \cos\left(2\pi k \frac{x}{T}\right) + A_{k,1,2}^{(m)} \sin\left(2\pi k \frac{x}{T}\right) \right],$$
$$m=0, 1, \dots, M-1. \tag{17}$$

При этом функции $Pr_{1,2}(x \pm T) = Pr_{1,2}(x)$ сохраняют свою периодичность в течение среднего периода T , однако коэффициенты разложения $A_{k,1,2}^{(m)}$, $A_{k,1,2}^{(m)}$ ($k=1, 2, \dots, K_m$), фигурирующие в (17), могут отличаться от случая $m=0$ и отражать влияние возможной неустойчивости в течение всего процесса измерения. Если истинная последовательность измерений не существенна и результаты измерений остаются инвариантными по отношению к перестановкам всех измерений друг с другом, то можно сгруппировать все измерения в три независимые группы (образующие специфическую триаду), и случай длинной памяти снова сведется к рассмотренному выше случаю короткой памяти. Эта простая идея позволяет значительно сократить количество подгоночных параметров и снова получить подгоночную функцию с минимальным числом параметров. Процедура, связанная с формированием необходимой триады, описана в следующем подразделе.

2.2. Процедура кластеризации и сведение к «ИЭ»

Как было подчеркнуто ранее в статье [5], оценка «истинного» значения L на основе общего критерия или принципа является пока *нерешенной* задачей. Если предположение о перестановках измерений друг с другом может быть обосновано и кажется вполне разумным, то тогда можно предложить следующую процедуру кластеризации и разбиения всех измерений на три группы (образующих специфическую триаду). Для этого рассмотрим распределение наклонов (угловых касательных) каждого измерения по отношению к их среднему измерению, тангенс угла которого равен или близок к единице:

$$Sl_m = \text{slope}(\langle y \rangle, y_m) \equiv \frac{(y_m \cdot \langle y \rangle)}{(\langle y \rangle \cdot \langle y \rangle)},$$

$$\langle y \rangle = \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{m=0}^{M-1} y_m, (\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}) = \sum_{j=1}^N A_j B_j. \quad (18)$$

Круглые жирные скобки в (18) определяют скалярное произведение между двумя функциями, имеющими $j=1, 2, \dots, N$ точек измерения исходных данных. Будем считать, что случайные измерения $y_m(x)$ для $m=0, 1, \dots, M-1$ аппроксимируют функции $F_m(x)$ ($y_m(x) \cong F_m(x)$), фигурирующие в уравнении (17). Если построить случайное распределение функции наклонов Sl_m в зависимости от числа измерений m , то удобно расположить их на графике в порядке убывания $Sl_0 > Sl_1 > \dots > Sl_{M-1}$. Эти функции наклона распределения можно разделить на три группы. Верхняя группа измерений «up» имеет наклоны, локализованные в интервале $(1+\Delta, \max(Sl_m))$; средняя группа (определяемая как «mp») содержит измерения с наклонами в интервале $(1-\Delta, 1+\Delta)$; и, наконец, нижняя группа (обозначаемая как «dn») содержит измерения с наклонами в интервале $(1-\Delta, \min(Sl_m))$. Значение Δ для каждого набора КВ измерений определяется независимо в каждом конкретном случае. Эта упорядоченная кривая Sl_m важна и отражает качество выполненных измерений и используемого оборудования.

Как найти Δ на основе выражения (18)? Упорядоченную кривую Sl_m можно разделить (после вычитания единичного значения) на две части – положительную часть $(0, \max(Sl_m))$ и отрицательную часть $(0, \min(Sl_m))$. В каждой части возьмем половину от каждой выбранной части, т.е. $\Delta_1 = \max(Sl_m - 1)/2$ и $\Delta_2 = \min(Sl_m - 1)/2$. Эти значения можно использовать для деления на три части/кластера, выделенные таким образом. Для понимания деталей процедуры кластеризации запишем эту процедуру более детально.

Сформируем группы следующим образом:

(а) расстояние от начальной точки оси XOY $(0,0)$ до первой точки пересечения $(m_1, 1+\Delta_1)$ определяет число измерений N_{up} ($m=1, 2, \dots, m_1=N_{up}$), попадающих в первую (верхнюю) группу, они характеризуются средней кривой $Y_{up}(x)$;

(b) расстояние между двумя точками $(m_1, 1+\Delta_1)$, $(m_2, 1+\Delta_2)$ пересечения прямой с упорядоченным распределением наклонов определяет по оси OX число измерений N_{mn} (m_1+1, m_2-1), попадающих в среднюю группу «mn» с наклонами, близкими к единице; и, наконец,

(c) $(m_2, 1+\Delta_2)$, $(M-1, 0)$ – последняя группа измерений, равная N_{dn} , попадает в нижнюю группу «dn» и характеризуется последней частью кривой $Y_{dn}(x)$.

Если число измерений $N_{mn} > N_{up} + N_{dn}$, то такой цикл измерений оценивается как «хороший» и является относительно стабильным. В случае, когда $N_{mn} \approx N_{dn} \approx N_{up}$, такие измерения оцениваются как «приемлемые» (с оценкой «удовлетворительно»), и, наконец, случай, когда $N_{mn} < N_{up} + N_{dn}$ оценивается на оценку «плохо», такие измерения в целом оцениваются как неудовлетворительные. Количественно все три случая можно оценить с помощью соотношения

$$R_t = \left(\frac{N_{mn}}{N_{up} + N_{dn} + N_{mn}} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{N_{mn}}{M} \right) \cdot 100\%. \quad (19)$$

В выражении (19) параметр M определяет полное число измерений. На основе этой оценки могут быть введены следующие критерии: поставить оценки «отлично» и «хорошо» можно экспериментам, когда $60\% < R_t < 100\%$; оценка «удовлетворительно» ставится эксперименту при $30\% < R_t < 60\%$; наконец, «плохая» оценка ставится, когда $R_t < 30\%$. Поэтому, создав эту триаду из исходных измерений, можно ввести следующие определения:

$$\begin{aligned} F_0(x) &\cong \langle a_1(x) \rangle F_1(x) + \langle a_2(x) \rangle F_2(x), \\ F_0(x) \equiv Y_{up}(x) &= \frac{1}{N_{up}} \sum_{m=0}^{N_{up}-1} y_m^{(up)}(x), 1+\Delta_1 < Sl_m < \max(Sl_m), \\ F_2(x) \equiv Y_{dn}(x) &= \frac{1}{N_{dn}} \sum_{m=0}^{N_{dn}-1} y_m^{(dn)}(x), \min(Sl_m) < Sl_m < 1-\Delta_2, \\ F_1(x) \equiv Y_{mn}(x) &= \frac{1}{N_{mn}} \sum_{m=0}^{N_{mn}-1} y_m^{(mn)}(x), 1-\Delta_2 < Sl_m < 1+\Delta_1. \end{aligned} \quad (20)$$

Здесь функция Sl_m определяет распределение наклонов, расположенных в порядке убывания; параметры $\Delta_{1,2}$, связанные со значением доверительного интервала, выбираются независимо для каждой серии измерений. Здесь мы добавили к предыдущему набору $y_m(x)$ три «искусственно» созданных измерения $F_{2,1,0}(x)$. В

результате этой процедуры независимые от индекса m функции $\{a_{1,2}(x)\}$ остаются практически неизменными (при достаточно больших значениях M) по сравнению со случаем, когда к исходным измерениям такая процедура кластеризации не применялась. Предположим также, что усредненная функция $Y_{mp}(x)$ отождествляется с исходным измерением $F_1(x)$, а два других измерения $F_{0,2}(x)$ совпадают с функциями $Y_{up}(x)$ и $Y_{dn}(x)$, соответственно. Решение уравнения (20) определяется выражениями (16) и (17). Эта процедура кластеризации оказывается очень эффективной и может быть применена к широкому набору случаев. Детали этой процедуры описаны на нетривиальном примере, обсуждаемом ниже.

Следующий вопрос, который будет рассмотрен в настоящем разделе, связан со сведением реальных измерений к ИЭ. Согласно определению, данному в [5] (см. также определение (1)), под ИЭ мы понимаем ситуацию, когда

$$F_m(x) \equiv F(x+mT) = F_{m+1}(x) \equiv F(x+(m+1)T),$$

а функция отклика (результат измерения) остается неизменной для всей серии измерений, включенных в один цикл. Как было сказано выше, в этом случае ИЭ совпадает с отрезком ряда Фурье (2). В связи с этим возникает вопрос: можно ли из общего решения (12) выделить чисто периодические Фурье-компоненты $Pr_q(x)$ ($q=1, 2, \dots, L$) и представить теоретикам для сравнения очищенную функцию, которую следует сравнить с гипотезой, претендующей на количественное описание экспериментальных результатов с микроскопической точки зрения? Имеет смысл подробно показать эту процедуру для случая «короткой» памяти ($L=2$), имея в виду эту ситуацию как наиболее вероятную. Как было показано выше, случай большого числа измерений $2 < L < M$ при некоторых разумных предположениях может быть сведен к случаю короткой памяти.

1. $L=2$, случай, когда $k_{1,2}(x) > 0$:

$$\begin{aligned} F_0(x) &= [k_1(x)]^{x/T} Pr_1(x) + [k_2(x)]^{x/T} Pr_2(x) \\ F_1(x) &= k_1(x)^{1+(x/T)} Pr_1(x) + k_2(x)^{1+(x/T)} Pr_2(x) \end{aligned}$$

Из этой системы уравнений можно легко найти искомую периодическую функцию $Pr(x)$, которая будет представлена в виде линейной комбинации функций $Pr_{1,2}(x)$

$$\begin{aligned} Pr_1(x) &= [k_1(x)]^{-(x/T)} \frac{F_0(x)k_2(x) - F_1(x)}{k_2(x) - k_1(x)}, \\ Pr_2(x) &= [k_2(x)]^{-(x/T)} \frac{F_1(x) - F_0(x)k_1(x)}{k_2(x) - k_1(x)}, \\ Pr(x) &= w_1 Pr_1(x) + w_2 Pr_2(x). \end{aligned} \quad (21)$$

Здесь, для «страховки», мы ввели неизвестные весовые константы $w_{1,2}$, чтобы использовать их в качестве подгоночных параметров на заключительном этапе сравнения подгоночной функции ИЭ с гипотезой, полученной из конкурирующей модели или микроскопической теории. Очевидно, что нули функций $k_{1,2}$ в (21) не определяют искомые периодические функции, и вырожденный случай должен рассматриваться отдельно.

2. $L=2$, случай, когда $k_1(x) > 0$, $k_2(x) < 0$:

$$\begin{aligned} F_0(x) &= [k_1(x)]^{x/T} Pr_1(x) + [|k_2(x)|]^{x/T} \cos\left(\pi \frac{x}{T}\right) Pr_2(x) \\ F_1(x) &= k_1(x)^{1+(x/T)} Pr_1(x) - |k_2(x)|^{1+(x/T)} \cos\left(\pi \frac{x}{T}\right) Pr_2(x), \end{aligned}$$

Решение в этом случае принимает вид

$$\begin{aligned} Pr_1(x) &= [k_1(x)]^{-(x/T)} \frac{F_1(x) + |k_2(x)| F_0(x)}{k_1(x) + |k_2(x)|}, \\ Pr_2(x) &= [|k_2(x)|]^{-(x/T)} \frac{F_0(x)k_1(x) - F_1(x)}{k_1(x) + |k_2(x)|}, \\ Pr(x) &= w_1 Pr_1(x) + w_2 Pr_2(x). \end{aligned}$$

Случаи, когда вырожденные «корни» одинаково совпадают друг с другом $k_1(x) \equiv k_2(x)$, и случай комплексно-сопряженных «корней» $k_{1,2}(x) = \text{Re}(k(x)) \pm i \text{Im}(k(x))$, опущены. Авторы предлагают пытливому и продвинутому читателю получить их в качестве упражнения.

Тщательный анализ изложенной теории показывает, что она позволяет выйти за пределы допустимых значений контролируемой переменной x . Однако подробное описание этой возможности выходит за рамки данной статьи, поэтому такое подробное рассмотрение опущено.

3. ПРОВЕРКА ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕОРИИ НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1. Описание реальных данных

Здесь мы скажем несколько слов о реальных данных и их особенностях. В качестве реальных данных мы взяли вихревые ковариационные экологические данные, связанные с содержанием CH_4 , CO_2 и паров воды H_2O в атмосфере, где расположены соответствующие детекторы для измерения содержания искомым газов. Так, если в предыдущей работе [7] мы обрабатывали данные, связанные напрямую лишь с концентрацией углекислого газа, метана и водяного пара, то в данной работе мы рассматриваем баланс углекислого газа, метана и водяного пара, т. е. произведение соответствующей концентрации на величину вертикальной скорости.

3.2. Процедура обработки данных

Чтобы уменьшить влияние высокочастотных (ВЧ) случайных флуктуаций, мы интегрируем исходные данные методом трапеций, предварительно нормируя их в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned} Y_j &= \frac{y_j - \text{mean}(y)}{\text{Range}(y)}, j=1, 2, \dots, N, \\ J_0 &= 0, J_j = J_{j-1} + \frac{1}{2} (x_j - x_{j-1}) (Y_j + Y_{j-1}), \\ \text{Range}(y) &= \max(y) - \min(y). \end{aligned} \tag{22}$$

Эти выражения делают исходные данные y_j (а) безразмерными и (б) отфильтрованными. Процедура интегрирования устраняет высокочастотные колебания и сглаживает возможные выбросы. После этой предварительной обработки можно подготовить 3 прямоугольные матрицы для каждого выбранного газа: CH_4 , CO_2 и атмосферной влажности H_2O . Каждая матрица содержит в общей сложности N строк $\times M$ столбцов, где N содержит 3600 ежесекундных точек в каждом столбце (1-часовое измерение), а $M=24 \times 7=168$ часов в неделю. Предварительный анализ показал, что эта процедура подготовки данных за одну неделю является наиболее приемлемой и оптимальной.

Предположив, что названные подготовленные данные могут быть классифицированы как KB эксперименты, можно получить три нормированные интегральные кривые J_r , ($r=up, mn, dn$) в соответствии с процедурой кластеризации, описанной в предыдущем разделе. Наша дальнейшая цель — описать эти 9 кривых для трех исходных матриц с использованием минимального числа подгоночных параметров. Внимательный анализ показывает, что, не нарушая справедливости предлагаемой общей теории, в выражении (15) можно предположить, что $Pr_1(x)=Pr_2(x)\approx Pr(x)$. Функции $\kappa_{1,2}(x)$ определяются в этом же выражении строкой ниже. Неизвестные функции $\langle a_{1,2}(x) \rangle$, служащие для вычисления искомых корней $\kappa_{1,2}(x)$, выведем из выражений (7) и (8). Неизвестный нелинейный параметр в виде величины максимального периода T , фигурирующего в определении периодической функции (2), может быть вычислен путем минимизации величины относительной погрешности

$$RelErr(T_{mx}, K_{min}) = \min \left(\frac{stdev(J_r(x) - F_0(x, T_{mx}, K_{min}))}{mean|J_r(x)|} \right) \cdot 100\% \quad (23)$$

Здесь упрощенная подгоночная функция $F_0(x, T_{mx}, K_{min})$ определяется выражением

$$\begin{aligned} F_0(x, T_{mx}, K_{min}) &= A_0 + G(x, T_{mx}) A_{C_0} + \\ &+ G(x, T_{mx}) \sum_{k=1}^{K_{min}} \left[A_{C_k} \cos \left(2\pi k \frac{x}{T_{mx}} \right) + A_{S_k} \sin \left(2\pi k \frac{x}{T_{mx}} \right) \right], \\ G(x, T_{mx}) &= (\kappa_1(x))^{x/T_{mx}} + \kappa_2(x)^{x/T_{mx}}. \end{aligned} \quad (24)$$

В последнем выражении удобно использовать нормированную входную переменную $x_j = j/N$, локализованную в интервале $[0, 1]$. Поэтому наиболее вероятный интервал, на котором может находиться значение T_{mx} , определяется как (0.5, 1.75). Это предположение подтвердилось и численными оценками по формуле (23). Из упрощенной подгоночной функции (24) легко найти периодическую функцию (2), соответствующую ИЭ

$$Pr(x) \cong A_0 + \sum_{k=1}^{K_{min}} \left[A_{C_k} \cos \left(2\pi k \frac{x}{T_{mx}} \right) + A_{S_k} \sin \left(2\pi k \frac{x}{T_{mx}} \right) \right] \equiv$$

$$\begin{aligned} &\equiv A_0 + \sum_{k=1}^{K_{\min}} [A_{\text{md}_k} \cos(\omega_k x - \text{Ph}_k)], \\ &A_{\text{md}_k} = \sqrt{A_{c_k}^2 + A_{s_k}^2}, \text{Ph}_k = \tan^{-1} \left(\frac{A_{s_k}}{A_{c_k}} \right). \end{aligned} \quad (25)$$

Упрощенная подгоночная функция (25) (содержащая минимальное число параметров аппроксимации $P_{\text{rm}} = [(T_{\text{mx}}, A_0) + 2K_{\min}]$) позволяет получить искомую АЧХ, содержащую ведущую минимальную частоту $\omega_{\min} = 2\pi/T_{\text{mx}}$ и суммарный отрезок частот $\omega_k = \omega_{\min} k$, расположенный в интервале $[1, K_{\min}]$.

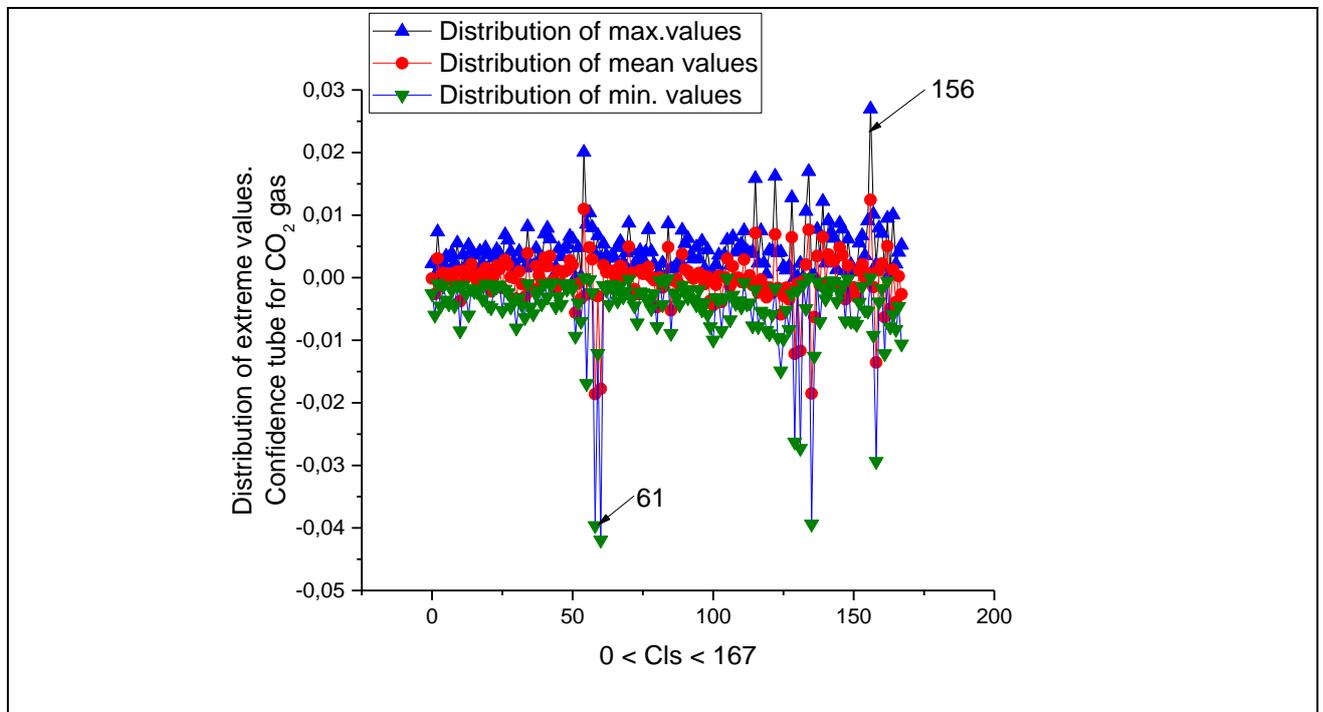


Рис. 1(а). Труба доверия (распределение экстремальных значений) для газа CO_2 . Экстремальные значения $M(\text{max})=156$, $M(\text{min})=61$ показаны стрелками.

Труба доверия (ТД) позволяет выбрать три характерные кривые: две экстремальные и среднюю, которые инвариантны относительно перестановок всех оставшихся точек, локализованных внутри каждого столбца.

Чтобы сэкономить место на показе похожих рисунков для всех данных, покажем детали обработки данных только по метану CH_4 . Остальные данные обрабатываются аналогичным образом. Чтобы упростить предварительный анализ данных, полезно использовать концепцию трубы доверия (ТД). Она формируется из трех значений: максимального, среднего и минимального, соответственно, которые берутся из каждого столбца исходной прямоугольной матрицы. Фактически все остальные измеренные данные в каждом столбце будут располагаться внутри ТД. Три распределения $Mx(m)$, $Mn(m)$ и $Min(m)$, рассчитанные для всех столбцов $m=1, 2, \dots, M=168$, представлены на Рис. 1(a).

На Рис. 1(b) показаны исходные данные, соответствующие экстремальным значениям $m=65$ (минимальное значение) и $m=101$ (максимальное значение), соответственно.

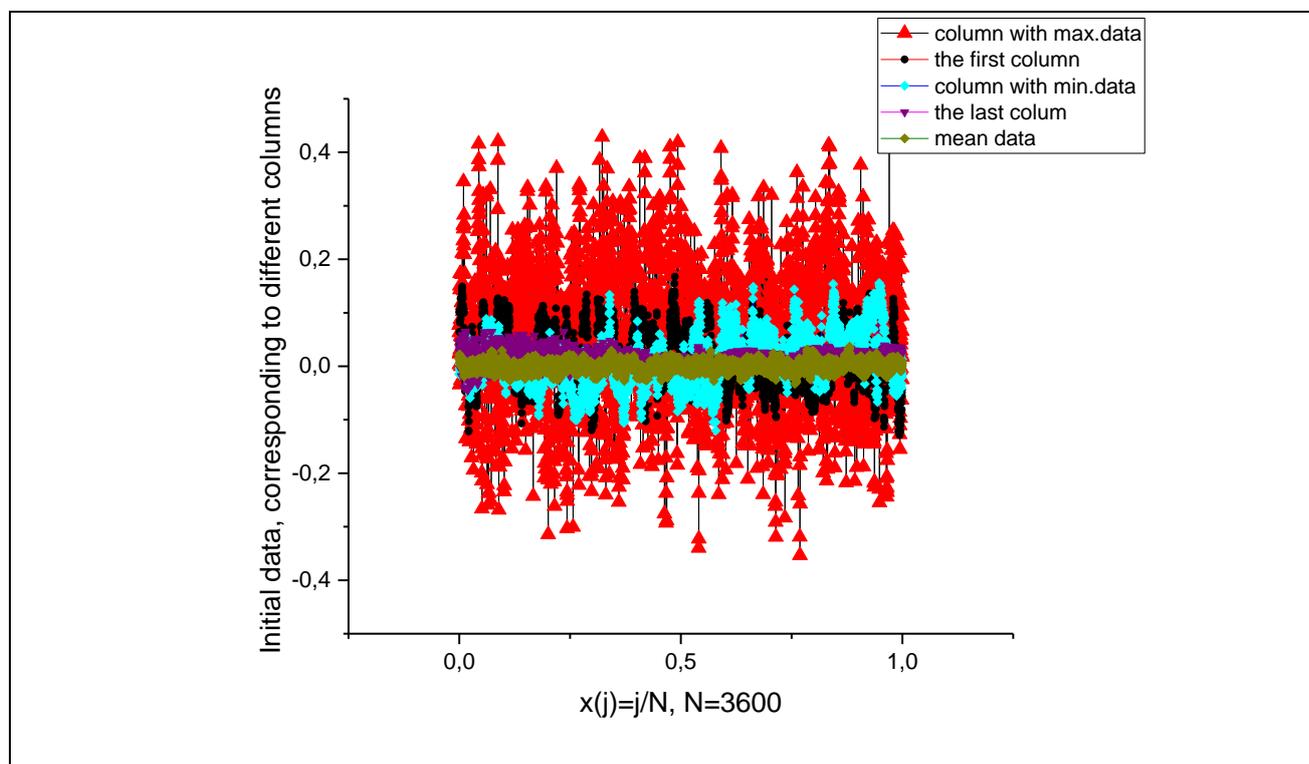


Рис. 1(b). Некоторые примеры исходных данных, соответствующих различным столбцам, минимальное значение $m=61$, максимальное значение $m=156$, начальный и конечный столбцы $m=0,167$, включая средние данные.

Все исходные данные (Рис. 1b) выглядят как последовательности без тренда. Они не демонстрируют каких-либо специфических особенностей по сравнению с их изначально подготовленными кумулятивными данными, показанными на рисунке 1(с) ниже.

Процедура интегрирования, выполненная в соответствии с выражением (22), показана на Рис. 1(с).

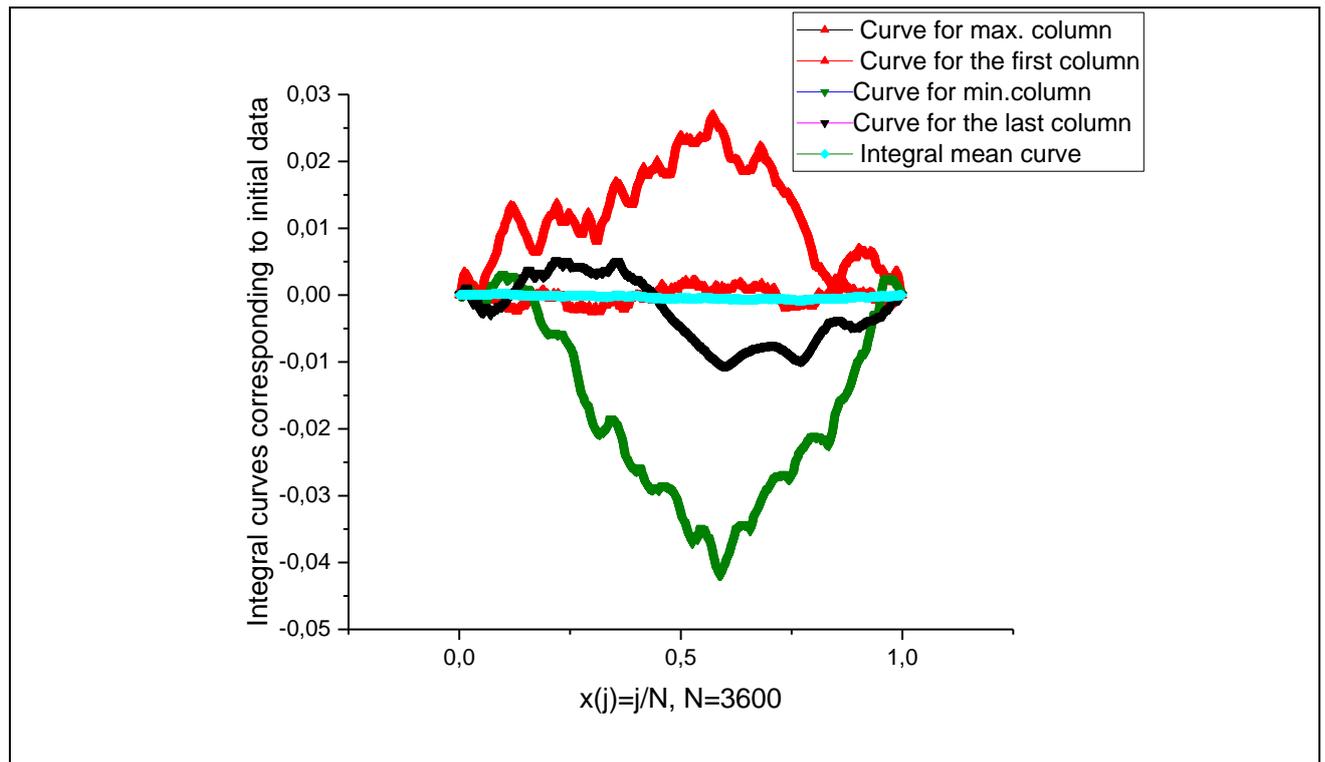


Рис. 1 (с). Интегрированные данные, полученные в соответствии с выражением (22).

Совсем иная картина получается после суммирования (интегрирования) исходных данных. Заметно, что нормализованные данные проявляют колебательные свойства, усугубленные малыми колебаниями. Часть данных увеличивают свои значения, а часть имеет тенденцию к уменьшению своих значений. Поэтому необходимо сосредоточиться на анализе интегрированных данных, представленных на этом рисунке (Рис. 1 (с)).

Как уже упоминалось выше, Рис. 1(с) демонстрирует эффективность процедуры интегрирования. Она устраняет ВЧ флуктуации и позволяет получить сглаженные кривые для дальнейшего анализа. На Рис. 2(а) показано распределение наклонов (после исключения единичного значения).

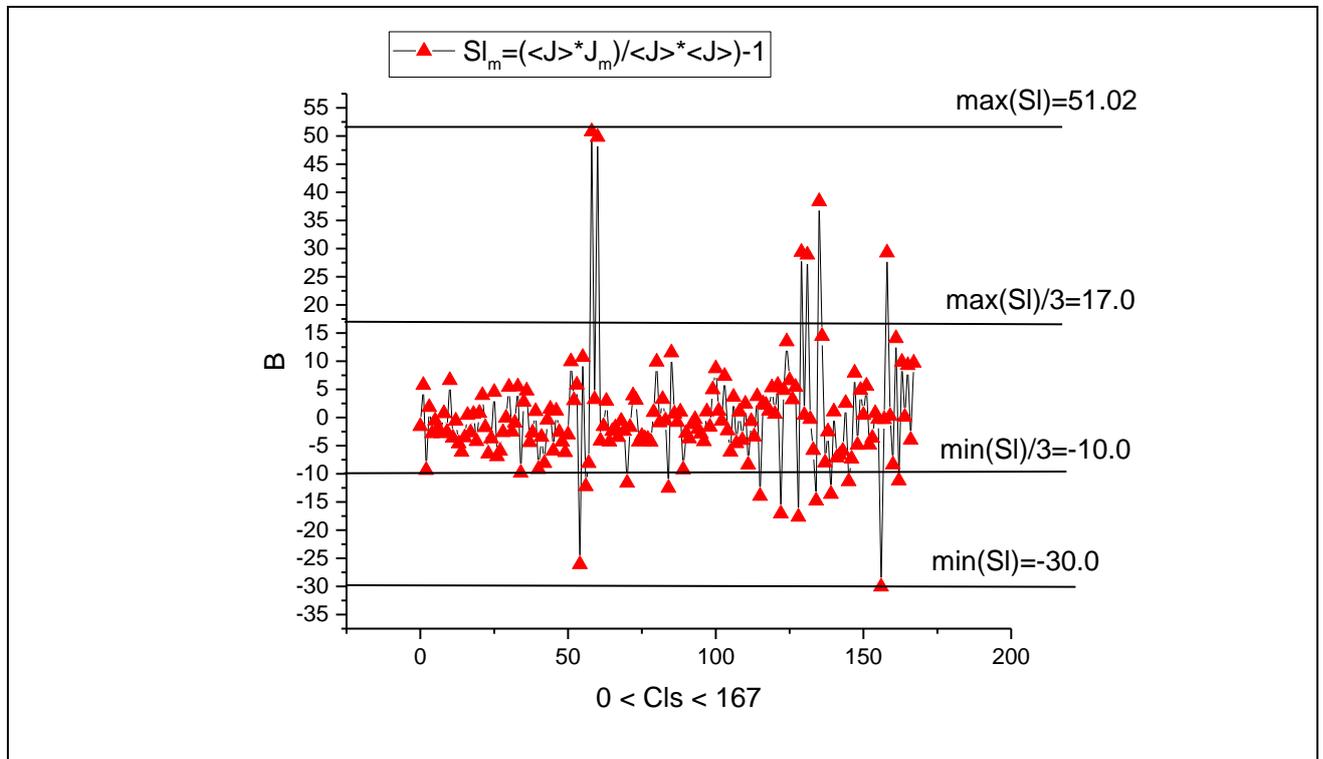


Рис. 2 (а). Распределение интегральных наклонов $SI_m = [(J_m \cdot \langle J \rangle) / (\langle J \rangle \cdot \langle J \rangle)] - 1$ и деление их на три части для получения усредненных интегральных кривых в соответствии с выражением (20). В этом случае $\Delta_{1,2} = 1/3$.

Весь отрезок с границами ($\min(SI)$, $\max(SI)$) можно разделить на три почти равных отрезка: ($1/3\max(SI)$, $\max(SI)$ для $F_0(x)$), ($1/3\min(SI)$, $1/3\max(SI)$ для $F_1(x)$) и ($\min(SI)$, $1/3\min(SI)$ для $F_2(x)$). Разделительные линии для каждой из трех частей измерений показаны на Рис. 2(а). Количество измерений, входящих в каждый выбранный сегмент, показано на Рис. 2(б).

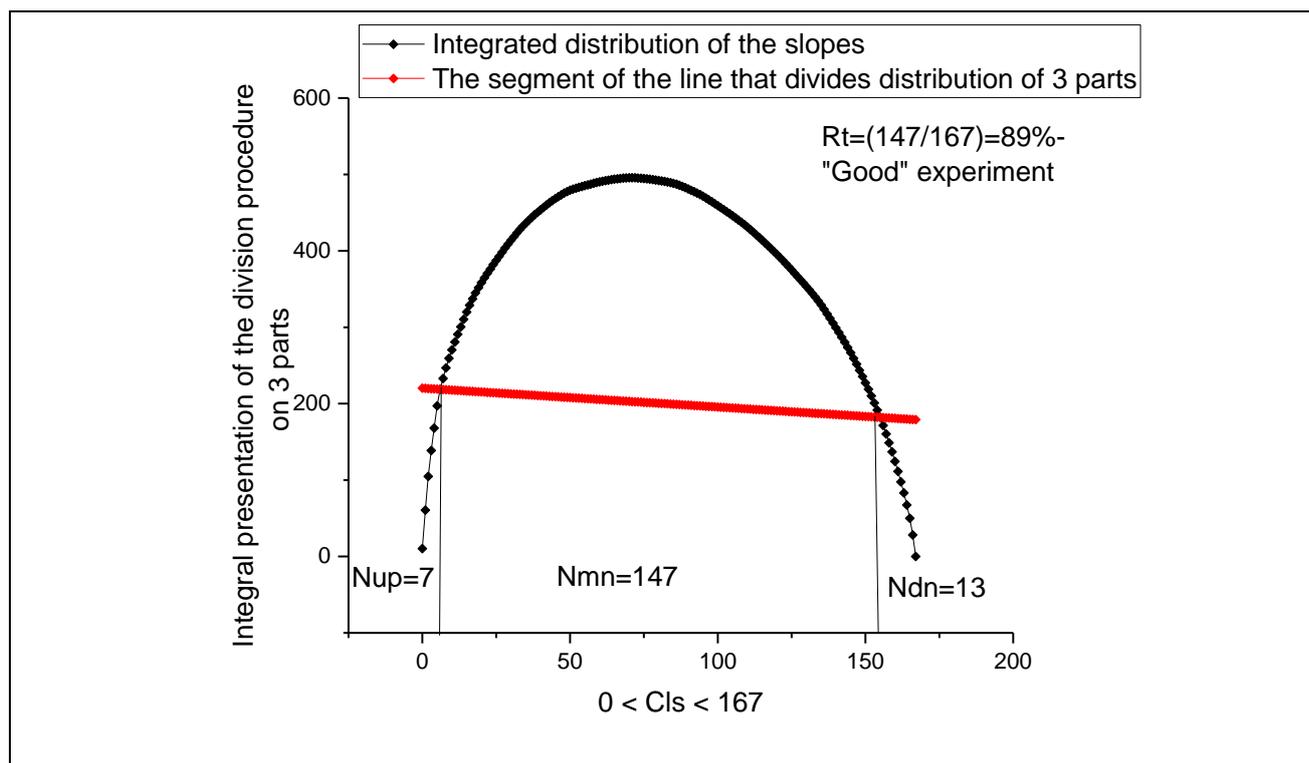


Рис. 2 (b). Для наглядного представления результатов, приведенных на предыдущем рисунке, удобно упорядочить все наклоны и интегрировать их для получения последовательности ранжированных амплитуд.

В таком представлении можно легко найти значения $N_{up}=7$, $N_{mn}=147$, $N_{dn}=13$ и оценить качество этого эксперимента первой недели $R_t=89\%$ для данных по газу CO_2 . Для другого газа CH_4 можно ожидать других значений R_t . Они приведены в Таблице 1 (см. ниже).

Это наиболее удобный рисунок для демонстрации предлагаемого алгоритма с помощью колоколообразной кривой. Эта информация помогает получить искомые усредненные интегральные функции $F_{0,1,2}$ на основе выражения (20). Рис. 3(a) демонстрирует окончательный результат для газа CH_4 .

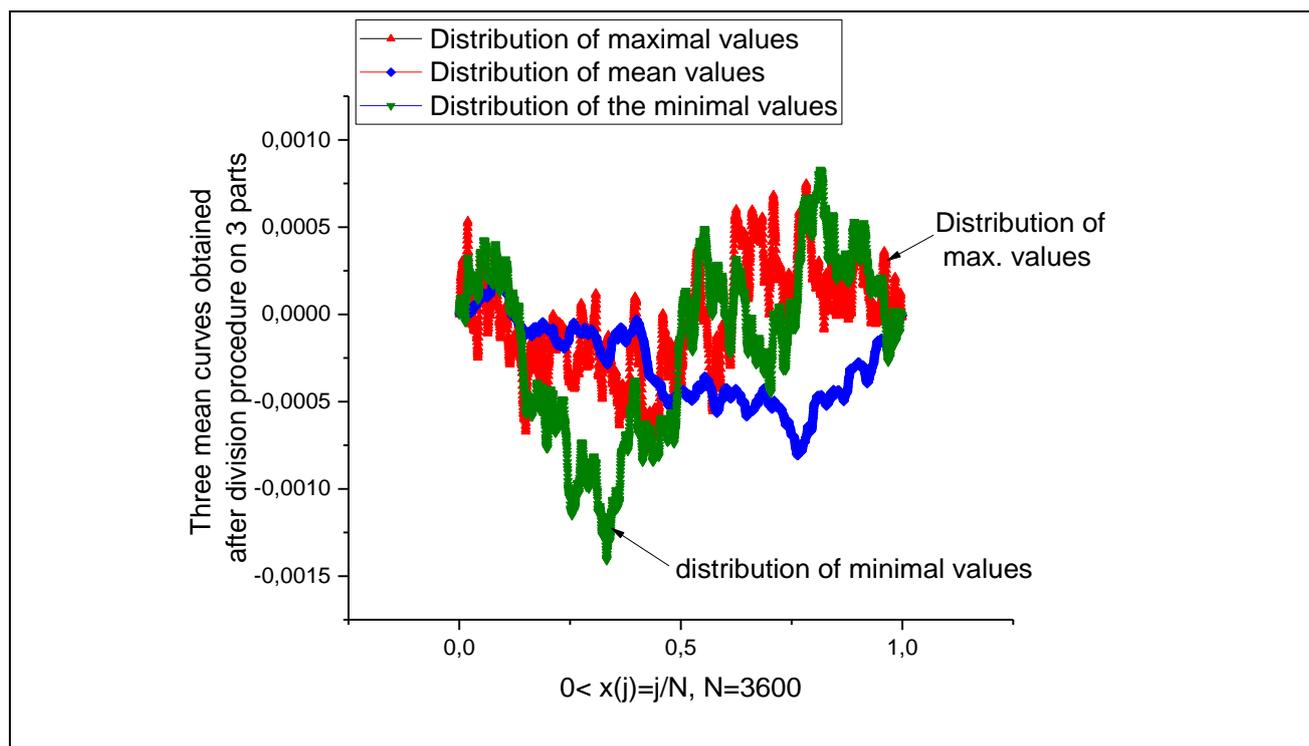


Рис. 3 (а). Три усредненные интегральные кривые (нормализованные и рассчитанные как интегральные данные) для газа CO_2 , полученные в конечном итоге для процедуры подгонки с функцией (24) и приведения к идеальному эксперименту.

В сравнении с чистыми данными о концентрации данные о потоке показывают их осциллирующий характер.

Затем эти три кривые могут быть аппроксимированы упрощенной функцией (24). Только один нелинейный параметр аппроксимации T_{mx} может быть найден из минимизации относительной погрешности (23) в предположении, что этот параметр находится в интервале $[0.5T, 1.75T]$. Другие параметры аппроксимации (A_0, A_{C_k}, A_{S_k} ($k=1, 2, \dots, K_{\text{min}}$)) найдены с помощью ЛМНК. Аппроксимация этих трех кривых показана на Рис. 3(b).

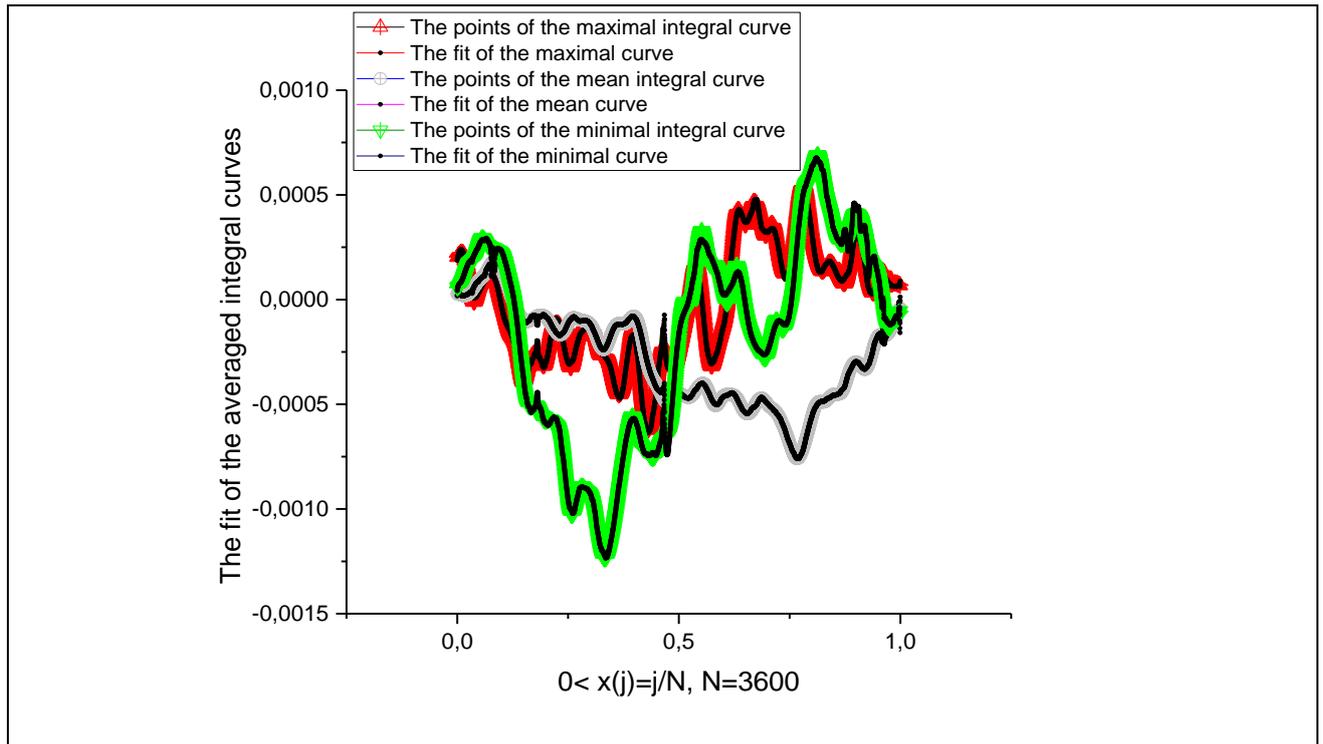


Рис. 3 (b). Подгонка усредненных интегральных кривых J_{up} , J_{mn} и J_{dn} упрощенной подгоночной кривой (24).

Распределения АЧХ, взятых в виде модулей и фаз $A_{md_k} = (A_{c_k}^2 + A_{s_k}^2)^{1/2}$, $Ph_k = \tan^{-1} \left(\frac{A_{s_k}}{A_{c_k}} \right)$ для трех усредненных интегральных функций $F_{0,1,2}$, показаны на Рис. 4(a) и (b) соответственно.

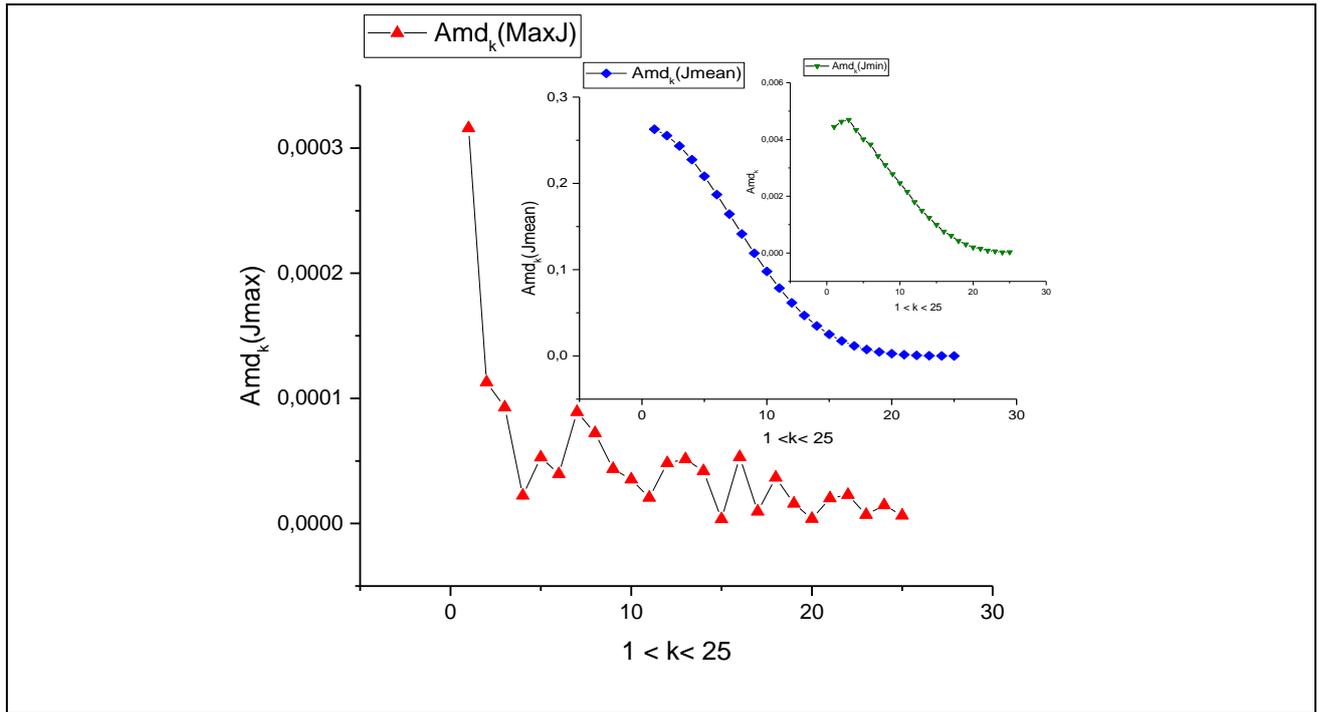


Рис. 4 (а). Распределения модулей Amd_k для всех трех интегральных кривых J_{mn} , J_{mn} , J_{dn} , показанных на Рис. 3 (б). Интересно отметить, что разместить их на одном рисунке невозможно, так как они имеют разные амплитуды.

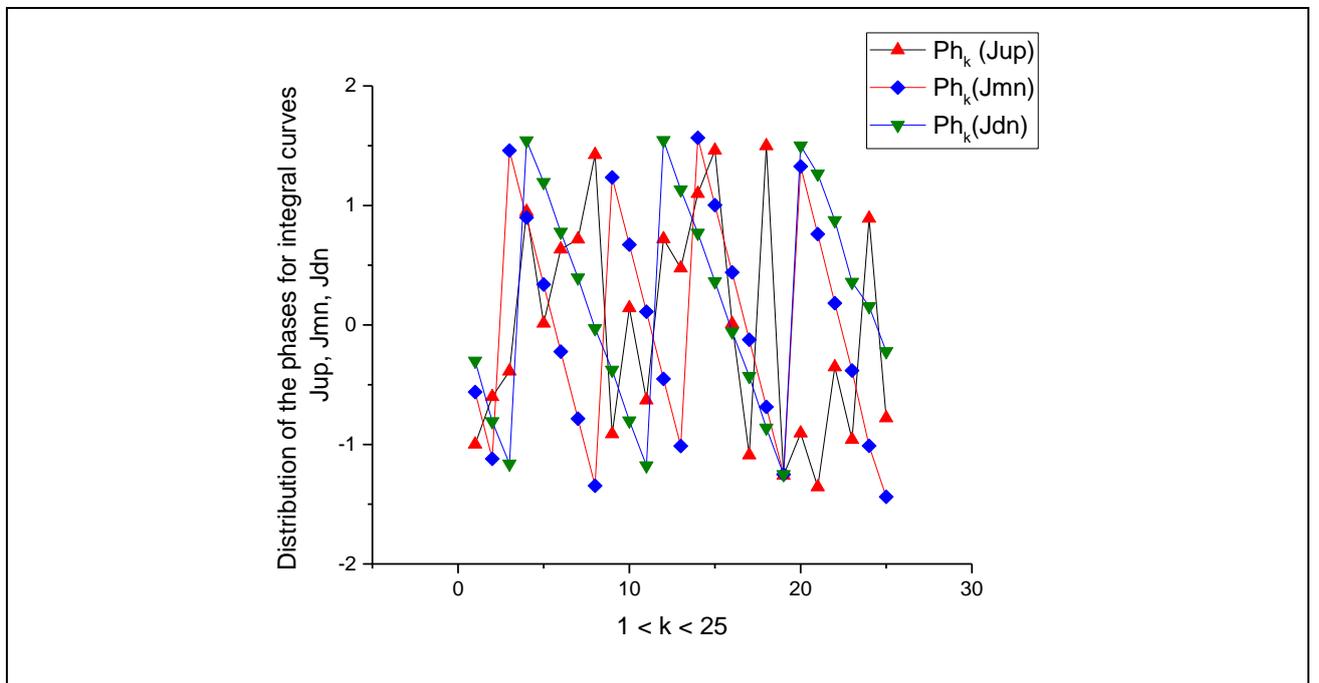


Рис. 4 (б). Распределения фаз $Ph_k = \tan^{-1}(As_k/As_k)$ для трех кривых, показанных на Рис. 3(б).

На Рис. 4(с) мы демонстрируем три периодические кривые, которые соответствуют «идеальному» эксперименту.

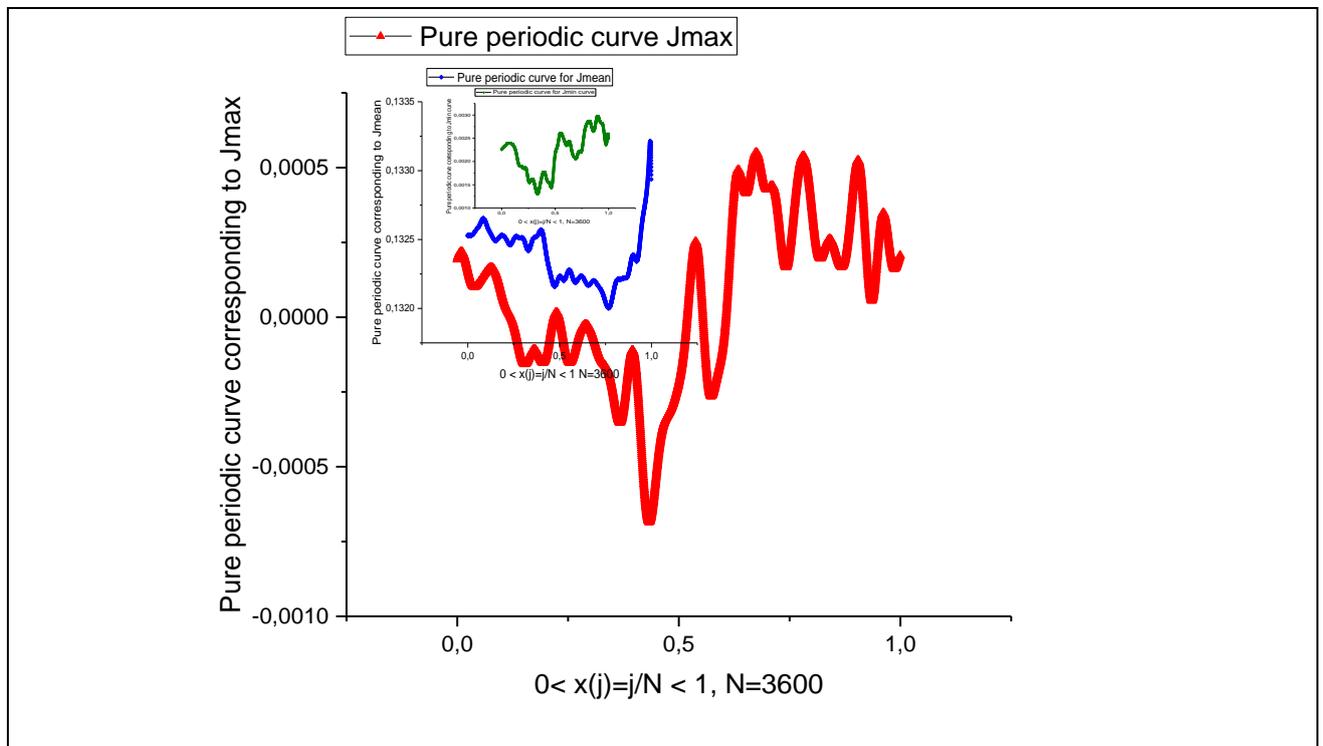


Рис. 4 (с). Модифицированные чисто периодические кривые $Pr(x)$, полученные в соответствии с выражением (25) из упрощенной подгоночной кривой (24). Периодические параметры показаны на Рис. 4 (а) и (b).

Интересно отметить, что они имеют разные масштабы и, следовательно, не могут быть показаны на одном рисунке. Основные параметры подгонки, связанные с периодическими функциями (25) для всех трех выбранных веществ, собраны в Таблицах 1–4.

Таблица 1. Расчет основных параметров N_{up} , N_{mn} , N_{dn} и R_t для CH_4 , CO_2 и H_2O в течение 4 недель, относящихся к февралю 2024 года. Подробности см. в выражении (20).

Газ/неделя	N_{up}	N_{mn}	N_{dn}	$R_t(\%)$
$CH_4/1wk(0-7)$	35	121	11	72,455
$CH_4/2wk(7-14)$	21	116	30	69,461
$CH_4/3wk(14-21)$	16	141	10	84,431
$CH_4/4wk(21-28)$	18	137	12	82,035
$CO_2/1wk(0-7)$	7	152	8	91,018
$CO_2/2wk(7-14)$	5	157	5	94,012
$CO_2/3wk(14-21)$	10	140	17	83,832
$CO_2/4wk(21-28)$	17	142	8	85,031
$H_2O/1wk(0-7)$	4	159	4	95,211
$H_2O/2wk(7-14)$	1	164	2	98,204
$H_2O/3wk(14-21)$	14	149	4	89,222
$H_2O/4wk(21-28)$	10	154	3	92,216

Таблица 2. Набор основных параметров, связанных с периодическими функциями и относящиеся к усредненным интегральным кривым для газа CH_4 .

k	$A_{c_k} (J_{up})$	$A_{s_k} (J_{up})$	$A_{c_k} (J_{mn})$	$A_{s_k} (J_{mn})$	$A_{c_k} (J_{dn})$	$A_{s_k} (J_{dn})$
	T_{mx}	A_0	T_{mx}	A_0	T_{mx}	A_0
T_{mx}, A_0	1,0635	4,60467E-6	1,9591	1,26201E-5	1,9365	2,48197E-5
k=1	-2,88078E-4	-5,51339E-5	5,19784	17,2207	-0,01551	0,66897
k=2	-7,46133E-5	4,28281E-5	11,3271	-7,52796	0,52892	0,02386
k=3	-2,62737E-5	8,27381E-6	-6,51193	-5,37605	0,02362	-0,35579
k=4	-1,19733E-5	1,03999E-5	-1,62614	3,90184	-0,19997	-0,01698
k=5	-6,33079E-6	1,27707E-5	1,64533	0,16105	-0,00907	0,09133
k=6	1,66724E-7	7,38361E-6	-0,09653	-0,46822	0,03229	0,00344

k=7	4,66842E-6	3,3709E-6	-0,0801	0,04488	8,36735E-4	-0,00801
k=8	4,53143E-6	1,54078E-6	0,00657	0,00599	-0,00109	-8,27201E-5

Таблица 3. Набор основных параметров, связанных с периодическими функциями и относящиеся к усредненным интегральным кривым для газа CO₂.

k	A _c _k (Jup)	A _s _k (Jup)	A _c _k (Jmn)	A _s _k (Jmn)	A _c _k (Jdn)	A _s _k (Jdn)
	T _{mx}	A ₀	T _{mx}	A ₀	T _{mx}	A ₀
T _{mx} , A ₀	2,4994	-4,87956E-5	2,4994	-1,89231E-5	2,4994	-5,15067E-5
k=1	5,739	35,1052	8,32128	48,8561	7,0547	44,1951
k=2	27,9061	-9,51763	38,6716	-13,8051	35,3632	-11,8506
k=3	-10,336	-18,7419	-14,9711	-25,7217	-13,0844	-23,9188
k=4	-10,3636	8,57309	-13,9556	12,3532	-13,2663	11,0218
k=5	5,59923	4,51429	7,98282	5,86663	7,27551	5,74028
k=6	1,42352	-2,85784	1,71977	-4,0054	1,76143	-3,72706
k=7	-1,10406	-0,25837	-1,51022	-0,24596	-1,43388	-0,28867
k=8	0,00563	0,30348	0,03973	0,40179	0,02329	0,38935
k=9	0,05261	-0,01533	0,06669	-0,02622	0,06612	-0,02288
k=10	-0,00271	-0,00426	-0,004	-0,00509	-0,00372	-0,00519

Таблица 4. Набор основных параметров, связанных с периодическими функциями и относящиеся к усредненным интегральным кривым для паров H₂O.

k	A _c _k (Jup)	A _s _k (Jup)	A _c _k (Jmn)	A _s _k (Jmn)	A _c _k (Jdn)	A _s _k (Jdn)
	T _{mx}	A ₀	T _{mx}	A ₀	T _{mx}	A ₀
T _{mx} , A ₀	1,3505	-1,27131E-5	1,3505	-1,27131E-5	1,09098	3,59308E-6
k=1	0,00137	-0,00128	0,00137	-0,00128	-3,27398E-5	-8,20476E-6
k=2	5,30561E-5	-0,00145	5,30561E-5	-0,00145	-3,27837E-6	1,00861E-5
k=3	-7,98729E-4	-9,09201E-4	-7,98729E-4	-9,09201E-4	1,17805E-6	7,3396E-7
k=4	-0,00101	-1,24383E-4	-0,00101	-1,24383E-4	7,9935E-7	1,58899E-6

k=5	-5,68944E-4	4,69685E-4	-5,68944E-4	4,69685E-4	1,83581E-6	-7,37466E-7
k=6	-9,90357E-5	4,96939E-4	-9,90357E-5	4,96939E-4	-1,5128E-6	-6,08823E-8
k=7	1,89188E-4	2,73372E-4	1,89188E-4	2,73372E-4	-1,24363E-6	8,58641E-7
k=8	1,63936E-4	3,39089E-5	1,63936E-4	3,39089E-5	1,38365E-6	2,41622E-6
k=9	7,96425E-5	-2,93135E-5	7,96425E-5	-2,93135E-5	1,4022E-6	-1,53316E-6
k=10	3,69983E-6	-3,16791E-5	3,69983E-6	-3,16791E-5	-8,70399E-7	-1,5842E-8

Комментарии к таблицам 1–4. В этих таблицах мы перечислили основные параметры подгонки, которые формируют периодические функции (25), которые вычисляются для всех трех веществ CH_4 , CO_2 и H_2O . Все эти параметры относятся к первой неделе февраля 2024 года. В таблице 4 мы должны заметить, что параметры, связанные с усредненными интегральными кривыми, относящимися к J_{up} и J_{mn} , совпадают друг с другом (мы фиксируем вырожденный случай).

Аналогичным образом можно обработать и другие данные, связанные с газом CO_2 и парами H_2O . Покажем подгонку средних интегральных кривых для газа CO_2 (Рис. 5(a)) и паров H_2O (Рис. 5(b)).

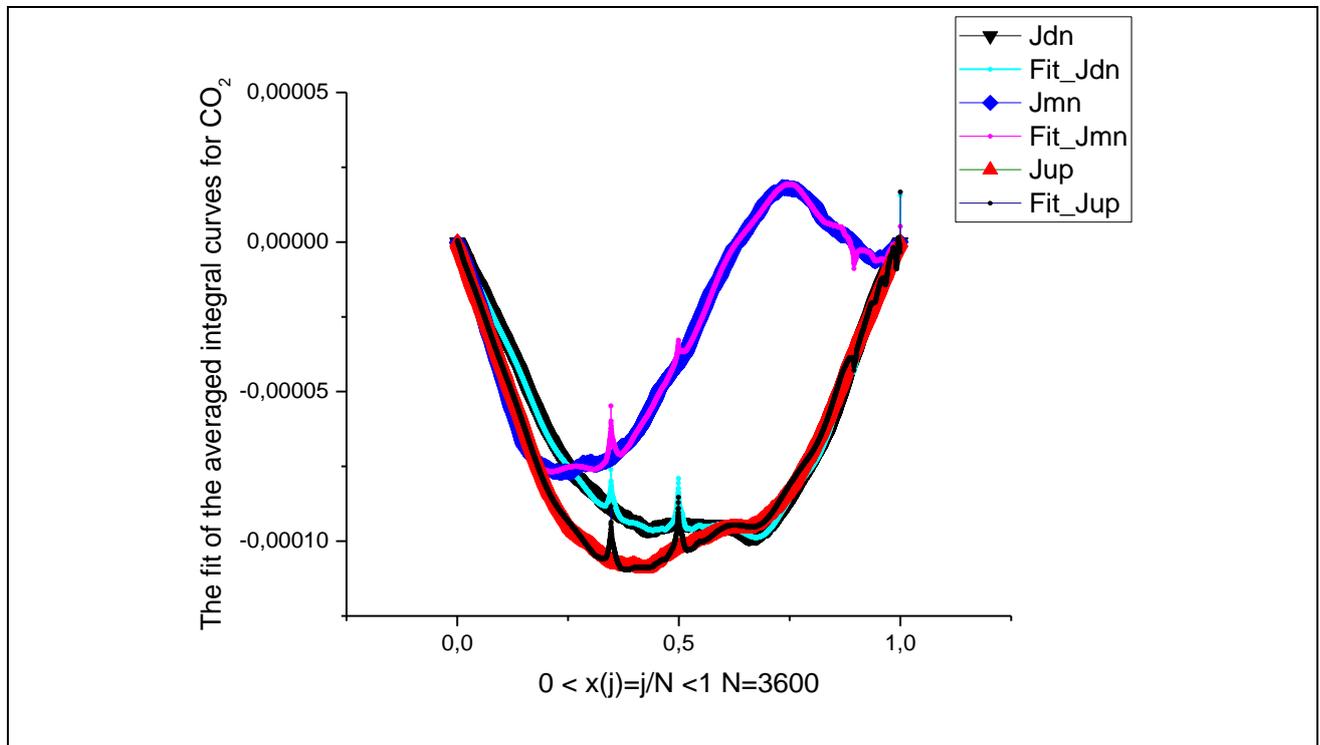


Рис. 5 (а). Подгонка усредненных интегральных кривых для газа CO_2 .

Выбросы, которые отчетливо видны на этом рисунке, не могут быть объяснены. С нашей точки зрения для более точной подгонки необходимо больше дополнительных мод. Чтобы сравнить все анализируемые газы в одной шкале, мы зафиксировали для всех газов $K=8$.

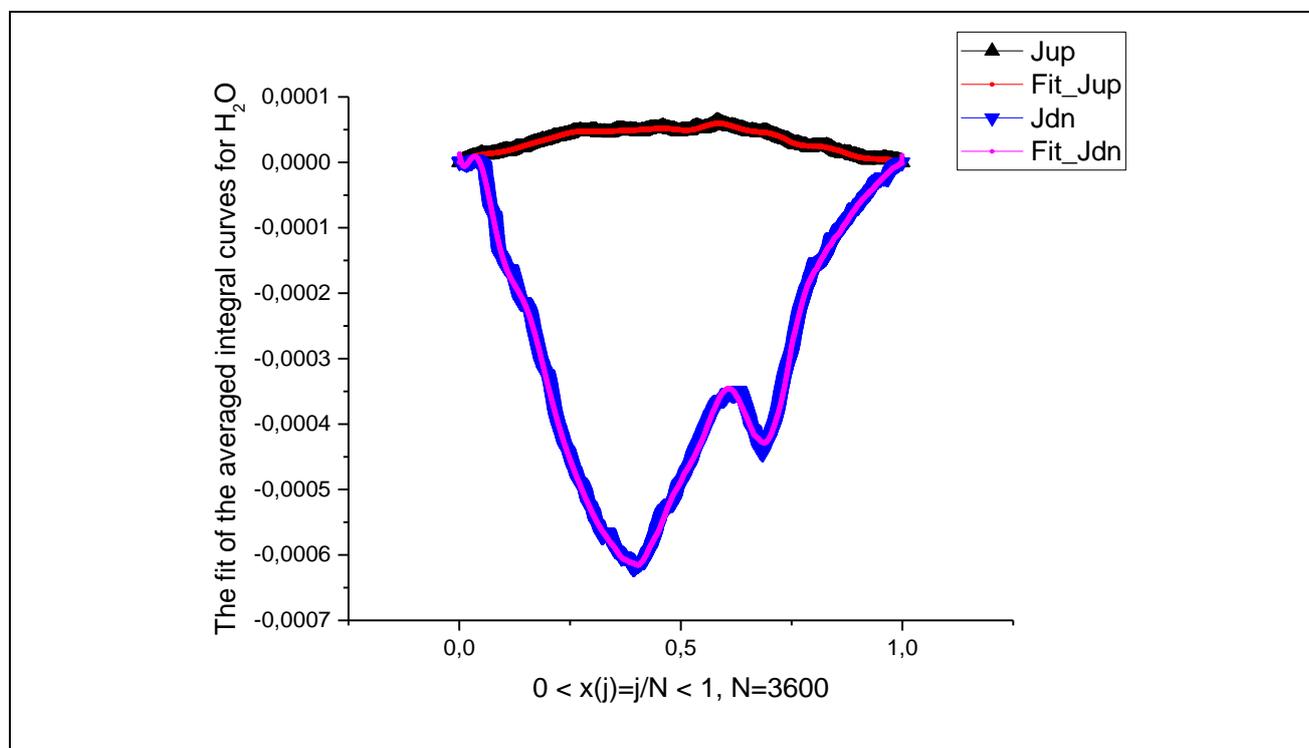


Рис. 5 (b). Подгонка усредненных интегральных кривых для паров H_2O .

В данном случае мы показали подгонку только двух кривых J_{up} и J_{dn} . Они очерчивают пределы других кривых, в том числе и усредненной кривой J_{mn} . Как уже упоминалось выше, чтобы сравнивать все анализируемые газы в одной шкале, мы установили для всех них $K=8$. Если сравнить эти кривые между собой, то можно заметить, что интегральные кривые проявляют осциллирующие свойства, которые не заметны по исходным данным.

Далее мы показываем только основные и наиболее выразительные рисунки. На рисунках б(а)–б(с) мы попытались обосновать оптимальный выбор прямоугольных матриц, соответствующих периодичности в одну неделю.

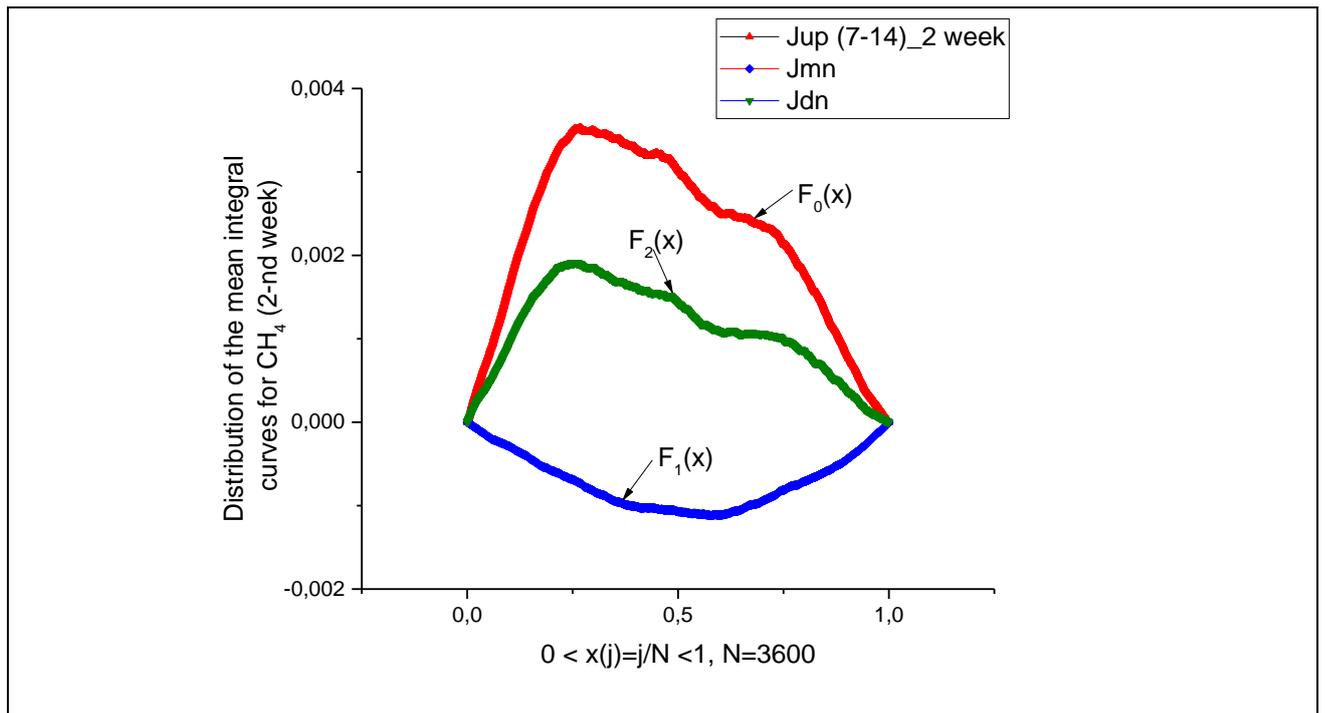


Рис. 6 (а). Эволюция трех усредненных интегральных кривых в течение второй недели.

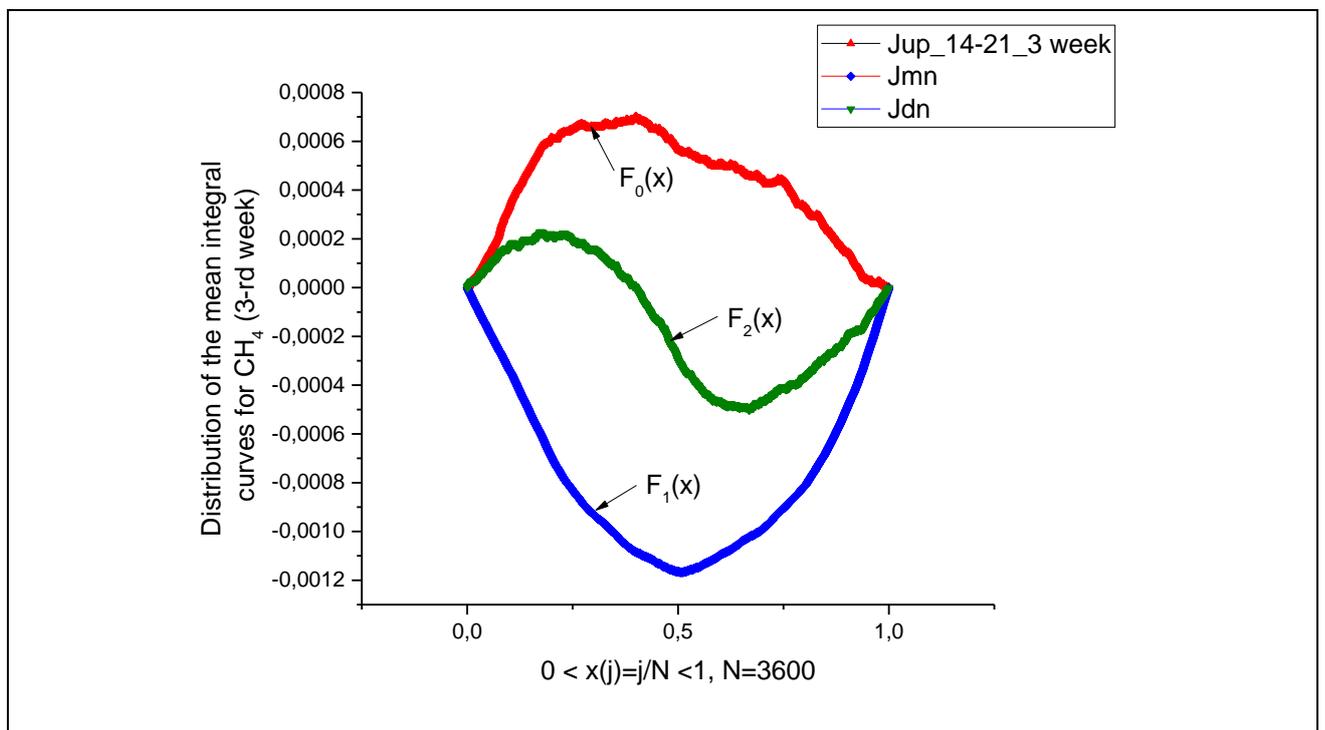


Рис. 6 (b). Эволюция трех усредненных интегральных кривых в течение третьей недели.

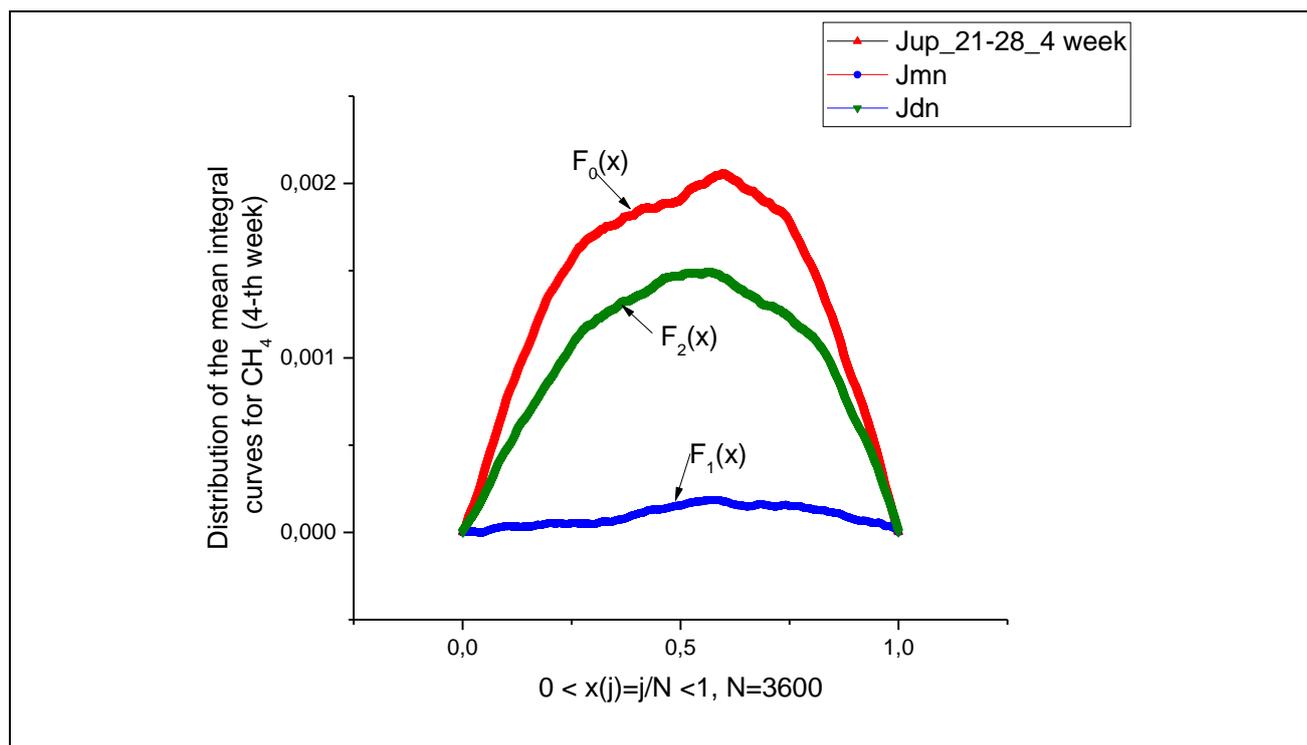


Рис. 6 (с). Эволюция трех усредненных интегральных кривых в течение последней четвертой недели, соответствующей февралю 2024 года.

На этих рисунках можно заметить четко выраженные и заметные колебания газа CH_4 и выраженные тенденции изменения этих колебаний при переходе к следующему возможному и независимому колебанию. Похожее поведение наблюдается для газа CO_2 и паров H_2O . В целом это наблюдение важно и полностью изменяет все предыдущие и общепринятые алгоритмы анализа экологических (вихревых ковариационных) данных.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мы предложили теорию для КВЭ, которая основана на заданной выборке последовательных измерений при однофакторном эксперименте. Эти измерения должны быть заданы в виде прямоугольной матрицы $N \times M$, столбцы которой ($m=1, 2, \dots, M$) включают в себя точки данных ($j=1, 2, \dots, N$), соответствующих одному эксперименту, реализованному в течение одного периода T . Все столбцы ($m=1, 2, \dots, M$) определяют весь цикл последовательных/повторяющихся измере-

ний, реализованных в течение всего периода наблюдения $M \cdot T$. Благодаря описанному алгоритму можно получить только 3 ключевых усредненных кривых (см. выражение (20)), которые могут быть описаны упрощенной функцией подгонки (24). Эта функция играет двойную роль: (а) подгонки усредненных измерений и (b) извлечения чистой периодической функции (25), соответствующей «идеальному эксперименту». Другие два важных результата можно сформулировать следующим образом.

1. Создание полностью компьютеризированных лабораторий, где «вход» совпадает с исходными данными, представленными в виде матрицы $N \times M$, а «выход» — с ограниченным числом подгоночных параметров $Prm = [(T_{mx}, A_0, A_{c0}) + 2K_{min}]$, следующих из выражения (25).

2. Создание нового метрологического эталона на основе сравнения «шаблонного» детектора/прибора с испытанными по оптимальному числу подгоночных параметров Prm , полученных из зарегистрированных флуктуаций.

Отметим следующий факт: обнаруженная нами периодичность, выраженная в предыдущих данных [7] (данные о концентрациях углекислого газа, метана и водяного пара), в представленных данных (баланс/количество углекислого газа, метана и водяного пара) исчезает. Она разрушается в ветровых потоках.

Проблема, требующая дальнейшего исследования, вытекает из решения (19) на основе предположения $\langle a_i(x) \rangle, k(x \pm T) = k(x), Pr(x \pm T) = Pr(x)$. К каким новым решениям приведет отказ от этого предположения? Ответ на этот вопрос требует дальнейшего исследования.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nigmatullin R., Rakhmatullin R.* Detection of quasi-periodic processes in repeated-measurements: New approach for the fitting and clusterization of different data // Communications of Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2014.V. 19. P. 4080–4093.

2. *Khamzin A.A., Nigmatullin R.R., Machado J.T.* Detection of quasi-periodic processes in complex systems: how do we quantitatively describe their properties? // *Physica Scripta*. 2014.V. 89. P. 11.

3. *Nigmatullin R.R., Osokin S.I., Al-Amri S., Azam A., Baleanu D., Memic A.* The First Observation of Memory Effects in the InfraRed (FT-IR) Measurements: Do Successive Measurements Remember Each Other? // *PLoS ONE*, Open access journal. 2014. April 9 (4) e94305.

4. *Nigmatullin R.R., Osokin S.I., Rakhmatullin R.M.* How to reduce reproducible measurements to an ideal experiment? // *Magnetic Resonance in Solids, Electronic Journal*. 2014.V. 16 (2). P. 1–19.

5. *Nigmatullin R.R., Striccoli D., Zhang W.* General theory of experiment containing reproducible data: The reduction to an ideal experiment // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2015.V. 27. P. 175–192.

6. *Kuczma M.* A survey of the theory of functional equations. *Publikacije Elektrotehnickog Fakulteta Univerziteta u Beogradu (Publications de La Faculté d'électrotechnique de L'université de Belgrade)*, 1964. V. 130. P. 1–64.

7. *Litvinov A.A., Nigmatullin R.R., Osokin S.I.* Quasi-reproducible experiments: Universal fitting function for quantitative description of complex systems data // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2024. V. 45. No. 8. P. 3956–3971.
<https://doi.org/10.1134/S1995080224604739>

NEW METHOD OF DESCRIPTION OF EDDY-COVARIANCE ECOLOGIC DATA

R.R. Nigmatullin¹ [0000-0003-2931-4428], A.A. Litvinov² [0009-0000-3901-3704],

S.I. Osokin³ [0000-0002-0699-5390]

^{1, 2}*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Radioelectronics and Informative Measurements Technics department, 420111 Kazan, Russia.*

³*Kazan Federal University, Institute of Information Technologies and Intellectual Systems, 420008 Kazan, Russia.*

¹renigmat@gmail.com, ²litvinov85@gmail.com, ³s.osokin@it.kfu.ru

Abstract

In this paper, the authors propose the foundations of an original theory of quasi-reproducible experiments (QRE) based on the testable hypothesis that there exists an essential correlation (memory) between successive measurements. Based on this hypothesis, which the authors define for brevity as the verified partial correlation principle (VPCP), it can be proved that there exists a universal fitting function (UFF) for quasi-reproducible (QR) measurements. In other words, there is some common platform or "bridge" on which, figuratively speaking, a true theory (claiming to describe data from first principles or verifiable models) and an experiment offering this theory for verification measured data, maximally "cleaned" from the influence of uncontrollable factors and apparatus/software function, meet. Actually, the proposed theory gives a potential researcher the method of purification of initial data and finally suggests the curve that periodic and cleaned from a set of uncontrollable factors. The final curve corresponds to an ideal experiment.

The proposed theory has been tested on eddy covariance ecologic data related to the content of CH₄, CO₂ and water vapors of H₂O in the local atmosphere where the corresponding detectors for measuring of the desired gases content are located.

For these tested eddy covariance data associated with the presence in atmosphere two gases CH₄, CO₂ and H₂O vapors there is no simple hypothesis containing a minimal number of the fitting parameters, and, therefore, the fitting function that follows from this theory can serve as the only and reliable quantitative description of this

kind of data belonging to the tested complex system. We should note also that the final fitting function removed from uncontrollable factors becomes pure periodic and corresponds to an ideal experiment. Applications of this theory to practical applications, the place of this theory among other alternative approaches, (especially touching the professional interests of ecologists) and its further development are discussed in the paper.

The paper examines the phenomenon of joint creativity of several authors, and provides examples from various fields of activity. The main attention is paid to information technologies: inventions made at the end of the 20th century are analyzed. Their authors are pairs of outstanding specialists who combined the talents of a programmer and a manager. They determined the further development of the IT industry and radically changed the quality of mankind's way of life. The stories of the emergence of famous computers, operating systems, the World Wide Web, and network navigation tools are briefly described.

Keywords: *quasi-reproducible experiments, complex systems, verified partial correlation principle, universal fitting function, quasi-periodic measurements, quasi-reproducible measurements, memory effects, eddy covariance*

The list of the main abbreviations (They are given in the alphabetic order): AFR – amplitude-frequency response, (F)LLSM – (functional) linear least square method, IM – Intermediate Model, IE – "Ideal Experiment", QRE(s) – Quasi-reproducible experiment(s), VPCP – Verified partial correlation principle, CT – confidence tube, HF – high-frequency

REFERENCES

1. Nigmatullin R., Rakhmatullin R. Detection of quasi-periodic processes in repeated-measurements: New approach for the fitting and clusterization of different data // Communications of Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2014. V. 19. P. 4080–4093.
2. Khamzin A.A., Nigmatullin R.R., Machado J.T. Detection of quasi-periodic processes in complex systems: how do we quantitatively describe their properties? // Physica Scripta. 2014. V. 89. P. 11.

3. *Nigmatullin R.R., Osokin S.I., Al-Amri S., Azam A., Baleanu D., Memic A.* The First Observation of Memory Effects in the InfraRed (FT-IR) Measurements: Do Successive Measurements Remember Each Other? // PLoS ONE, Open access journal. 2014. April 9 (4) e94305.

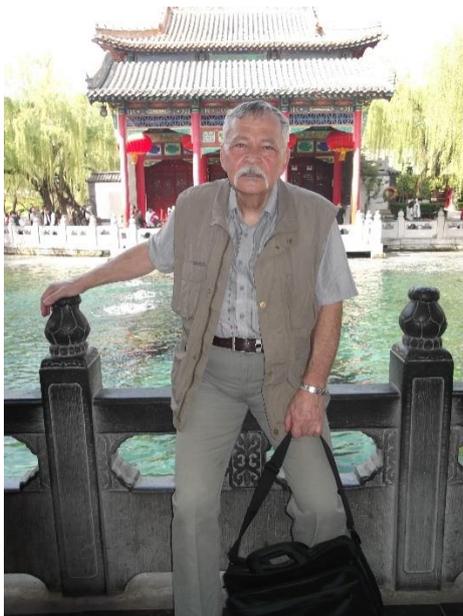
4. *Nigmatullin R.R., Osokin S.I., Rakhmatullin R.M.* How to reduce reproducible measurements to an ideal experiment? // Magnetic Resonance in Solids, Electronic Journal. 2014. V. 16 (2). P. 1–19.

5. *Nigmatullin R.R., Striccoli D., Zhang W.* General theory of experiment containing reproducible data: The reduction to an ideal experiment // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2015. V. 27. P. 175–192.

6. *Kuczma M.* A survey of the theory of functional equations. Publikacije Elektrotehnickog Fakulteta Univerziteta u Beogradu (Publications de La Faculté d'électrotechnique de l'université de Belgrade), 1964. V. 130. P. 1–64.

7. *Litvinov A.A., Nigmatullin R.R., Osokin S.I.* Quasi-reproducible experiments: Universal fitting function for quantitative description of complex systems data // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2024. V. 45. No. 8. P. 3956–3971.
<https://doi.org/10.1134/S1995080224604739>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



НИГМАТУЛЛИН Равиль Рашидович – доктор физико-математических наук, профессор, преподаватель кафедры Радиоэлектроники и информационно-измерительной техники Казанского национального исследовательского университета им. А.Н. Туполева.

Подробнее: <http://tre.kai.ru/staff/Nigmatullin/>

Raoul Rashidovich NIGMATULLIN – Doctor of Phys.-Math. Science, Full Professor, Teacher of the Radioelectronics and Informative-Measurements Technics Department, Kazan National Research Technical University (KNRTU-KAI) named after A.N. Tupolev. More details: <http://tre.kai.ru/staff/Nigmatullin/>

E-mail: renigmat@gmail.com

ORCID 0000-0003-2931-4428



ЛИТВИНОВ Александр Алексеевич – научный сотрудник, Институт информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия.

Alexander Alekseevich LITVINOV – Researcher, Institute of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: sharebox@bk.ru

ORCID 0009-0000-3901-3704



ОСОКИН Сергей Игоревич – доцент, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной деятельности Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского федерального университета. Подробнее: <https://kpfu.ru/Sergey.Osokin>

Sergey Igorevich OSOKIN – Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Director for Research at the Institute of Information Technologies and Intelligent Systems of Kazan Federal University. More details: <https://eng.kpfu.ru/Sergey.Osokin>

E-mail: s.osokin@it.kfu.ru

ORCID 0000-0002-0699-5390

Материал поступил в редакцию 15 декабря 2024 года

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ ЦИТИРОВАНИЯ

И. Г. Ольгина^[0000-0002-9932-4552]

Омский государственный технический университет

inna_olgina@mail.ru

Аннотация

С появлением науки о сетях стало возможным исследовать сложные сетевые системы, в том числе социальные и информационные, посредством представления их в виде графовых моделей. Рост в геометрической прогрессии общего объема научных публикаций обуславливает актуальность задач анализа их взаимосвязей. В науке о сетях для решения данных задач разрабатываются модели и методы, относящиеся к сфере так называемых сетей цитирования. Однако сетевые метрики не используются при анализе публикаций в базах цитирования.

В работе рассмотрены вопросы создания системы поддержки принятия решений при выборе источников информации на основе данных о цитировании научных публикаций. Разработан программный комплекс для принятия решений по определению важности публикации в определенной тематической области. В основу работы этого программного комплекса заложен метод ранжирования публикаций по важности на основе анализа сетей цитирования, позволяющий выявить публикации, которые явно не выделяются в чистом виде при ранжировании на основе известных библиометрических показателей или известных мер центральности узлов. Проведены исследование и сравнительный анализ программного обеспечения для визуализации и исследования всех видов графов и социальных сетей. Выполнены исследования, подтверждающие эффективность предлагаемой системы поддержки принятия решений при выборе источников информации.

Ключевые слова: *сеть цитирования, публикация, наукометрия, система поддержки принятия решений, архитектура программного комплекса, сетевой анализ, граф.*

ВВЕДЕНИЕ

Теория сетей имеет приложения во многих дисциплинах. История становления и развития науки о сетях начинается с 1736 года [1]. В 1936 году Денеш Кёниг, венгерский профессор математики, написал первую книгу по теории графов, озаглавленную «Теория конечных и бесконечных графов» [2]. Широкое распространение начинает получать сетевой анализ, применяемый преимущественно в исследовании социальных сетей посредством представления их в виде графовых моделей.

При возрастающем количестве информации в виде научных публикаций возникает потребность в более глубоком их анализе с помощью сетевого подхода. Следует отметить, что в настоящее время отсутствует способ анализа публикаций, позволяющий учесть все необходимые структурно-топологические особенности сети, для решения таких задач в содержательной интерпретации, как определение обзорных статей, эмпирических и важных статей по определенной тематике.

Актуальность темы настоящего исследования обусловлена необходимостью разработки технологии анализа научных публикаций, основанной на исследовании показателей сетей цитирования (сетевых метриках), которые являются разновидностью социальных сетей.

Цель проведенного исследования – разработка системы поддержки принятия решений на основе анализа сетей цитирования публикаций для выбора источников информации, на которые в первую очередь стоит обратить внимание на этапе исследования предметной области. Под источниками информации подразумеваются научные публикации (статьи, патенты, материалы конференций, научные журналы и книги). Входными данными для названной системы являются публикации и выявленные взаимосвязи между ними – цитирования.

ОБЗОР ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Сеть цитирования представляет собой ориентированный граф, который связывает цитаты в коллекции документов. Каждая вершина (или узел) на графе представляет документ в коллекции, и каждое ребро направлено от одного документа к другому, на который он ссылается (или наоборот, в зависимости от конкретной реализации) [3].

В 2021 г. опубликована монография [4], в которой рассмотрены основные понятия сети и цитирования, построения моделей сети в виде неориентированных и ориентированных графов, представлена формализация понятия меры центральности. В 1977 г. L. Freeman [5] впервые предложил интуитивные концепции, положенные в основу определений мер центральности акторов. Из предложенных им определений следует, что центральность узла сети – мера его важности в сети. Характеристика «центральность» позволяет определить степень важности вершины графа, основываясь на ее расположении.

В 2021 году опубликована статья [6], авторы которой представили способ построения графа цитирования журналов с учетом весов дуг следующим образом: математической моделью сети цитирования журналов является ориентированный граф $G_{cit}(V, E, W)$, где V – множество вершин (соответствующих журналам), E – множество дуг (связывают пары вершин i и j , если статьи журнала i имеют хотя бы одну ссылку на статьи журнала j), W – множество весов дуг (вес $w(i, j)$ дуги $e(i, j)$ равен количеству ссылок, сделанных со всех статей журнала i на статьи журнала j).

Значимость научных журналов характеризуется посредством их ранжирования по значениям показателей, построенных на основе данных о цитировании статей. Для графа цитирования в [6] с целью ранжирования взят показатель центральности узла PageRank (PR) и осуществлено сравнение ранжирования журналов на основе данного показателя с рейтингом журналов SCIENCE INDEX с помощью метода ранговой корреляции Спирмена. Полученные результаты свидетельствуют об умеренной прямой связи между двумя ранжированиями.

В статьях [7–11] даны примеры анализа сетей цитирования статей. В работе [7] приведена содержательная интерпретация важности вершины по *hub centrality* (мере центральности по информативности). Это статьи, имеющие высокую степень *hub centrality* и являющиеся реферативными статьями и обзорами. Стоит

отметить, что алгоритм вычисления степени *hub centrality* работает в рамках определенной компоненты связности графа.

Широкое применение получил анализ сетей цитирования публикаций среди западных ученых. Исследователи из Китая и США в 2020 году в работе [12] предложили модификацию меры центральности PageRank. Для сравнения разработанных расширений метода PageRank авторы вычисляли коэффициент ранговой корреляции и выбирали метод с наилучшей корреляцией. Затем было проведено сравнение рейтингов по новым методам с реальным использованием (т. е. с посещениями веб-сайта GenBank и загрузками Figshare). Для генерации сети был разработан алгоритм сбора данных по цифровому идентификатору объекта (*digital object identifier (DOI)*), в результате осуществлялось построение сети цитирования DOI-DOI. Недостатком этого алгоритма является ограничение возможности формирования полной сети: в сеть не будут включены статьи, не имеющие DOI. Например, могут быть не охвачены публикации, изданные в ранние годы, или статьи, которым не присваивался DOI. Соответственно алгоритм не применим для российских баз цитирования.

Стоит отметить, что применение алгоритма PageRank для анализа научных публикаций рассмотрено во многих зарубежных статьях (например, [12–17]). PageRank решает проблему, связанную с тем, что сети цитирования всегда направлены назад во времени. В этой модели каждая вершина графа является публикацией. Цель этого метода – оценить влияние вершины через ее цитирования.

Существует специализированное программное обеспечение (ПО) для визуализации и исследования всех видов графов и социальных сетей. Цель его создания состоит в том, чтобы помочь аналитикам данных выдвигать гипотезы, интуитивно обнаруживать закономерности, выявлять структурные особенности или ошибки во время поиска данных. Это дополнительный инструмент к традиционной статистике, поскольку визуальное мышление с интерактивными интерфейсами признано удобным для облегчения рассуждений.

Сравнительный анализ ПО для визуализации и исследования всех видов графов и социальных сетей представлен в работе [18] и приведен в таблице 1. Отметим, что существующее ПО – только зарубежных производителей, поэтому

актуальна разработка российского продукта, адаптированного для анализа публикаций.

Таблица 1. Сравнительный анализ программного обеспечения для визуализации и исследования всех видов графов и социальных сетей

	Gephi	Sentinel visualizer	TomSawyer Perspectives	VOSviewer
Показатели	центральность по посредничеству, по близости к другим узлам			количество цитирований количество ссылок
	коэффициент кластеризации, PageRank, обнаружение сообщества, кратчайший путь	центральность по степени связности центральность по информативности, центральность по авторитетности, собственное значение		
Сильные стороны	Глубокая настройка внешнего вида сети. Работа алгоритмов обнаружения структурных шаблонов	Анализ социальных сетей, структуры данных, геопространства. Интеллектуальные алгоритмы для обнаружения аномалий, модели поведения	Обработка крупномасштабных графов, быстрое отображение и манипулирование данными, глубокая настройка внешнего вида сети	Работа с научными публикациями
Слабые стороны	Нет возможности комплексной оценки с учетом нескольких показателей			Невозможен анализ топологии сети
Стоимость	Бесплатно	Платно	Платно	Бесплатно
Страна	Франция	США	Америка	Нидерланды

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ ЦИТИРОВАНИЯ

Рассмотрим этапы проектирования системы поддержки принятия решений (СППР) при выборе источников информации, позволяющей автоматизировать обработку и анализ данных о публикациях и принять решение о важности источника информации в определенной тематической области (рисунок 2).



Рис. 2. Этапы разработки СППР при выборе источников информации

На рисунке 3 представлена архитектура программного комплекса СППР, реализованного с использованием языка программирования Python. Каждый программно-алгоритмический модуль комплекса содержит функциональные блоки, используемые на определенном этапе проектирования системы принятия решений при выборе источников информации.

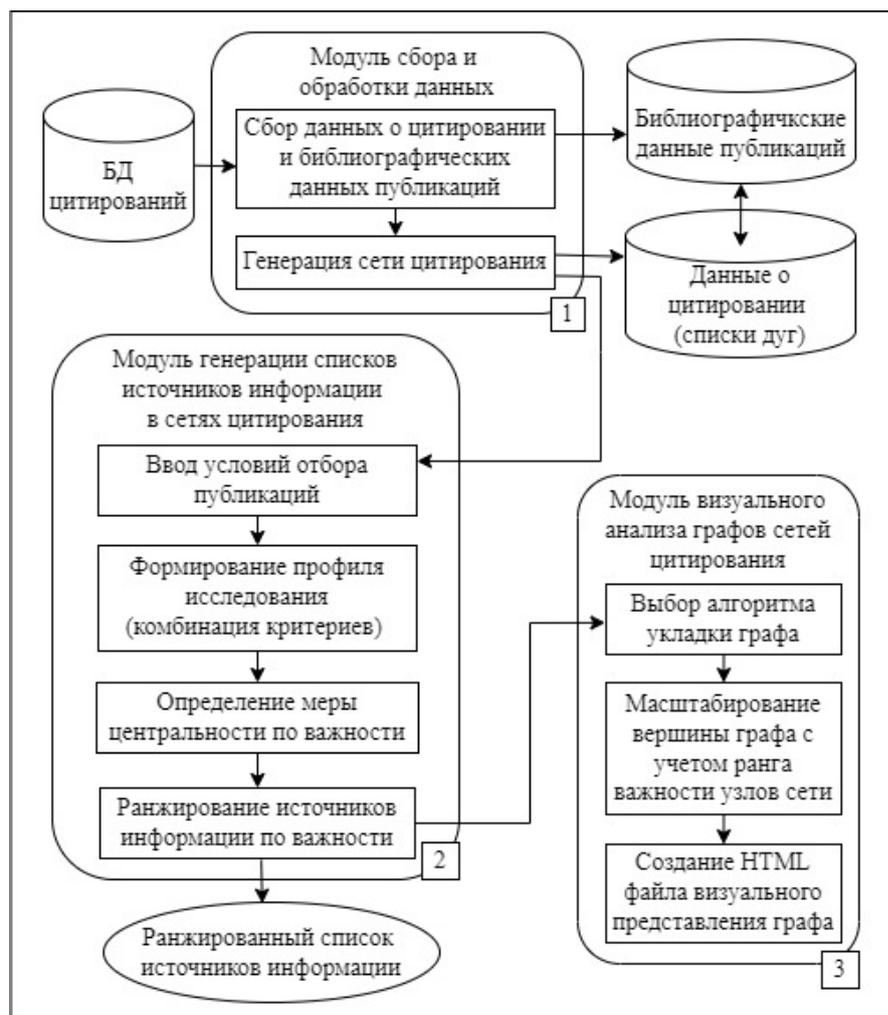


Рис. 3. Архитектура программного комплекса для разработки СПНР при выборе источников информации в сетях цитирования

Рассмотрим процессы разработки СПНР (рис. 2), реализуемые соответствующими программно-алгоритмическими модулями (рис. 3).

На *первом этапе* с помощью модуля (1) осуществляются сбор и обработка данных о цитировании публикаций. Программный модуль позволяет получать сеть цитирования в виде ориентированного графа. Реализована возможность остановки и продолжения сбора данных в любой момент (без потери данных), получения библиографических данных публикаций по номеру вершины графа. Реализована возможность записи библиографических данных публикаций и изданий, на которые ссылаются авторы, в таблице Microsoft Excel [19].

Затем на *втором этапе* обработанные данные о цитировании поступают на вход модуля (2) для формирования множества релевантных показателей для

выбора важной публикации согласно выбранной цели исследования. Далее в модуле (2) на *третьем этапе* осуществляется формирование профиля исследования, исходя из цели. На *четвертом этапе* осуществляется оценка источников информации, которая вычисляется методом ранжирования научных публикаций по важности [20].

Результаты работы модуля (2) проверялись на согласованность с результатами известных методов: метода ранговой корреляции Спирмена и Стьюдента [21] и метода анализа иерархий (МАИ) [22].

На *пятом этапе* в модуле (3) полученные результаты используются для просмотра и визуального анализа графа сети цитирования на основе исследования и ранжирования публикаций по важности. Этот модуль также может использоваться в базах данных научного цитирования, в различных типах и видах библиотек, вузах и научно-исследовательских институтах [23].

Интерфейс программного комплекса представлен на рисунке 4.

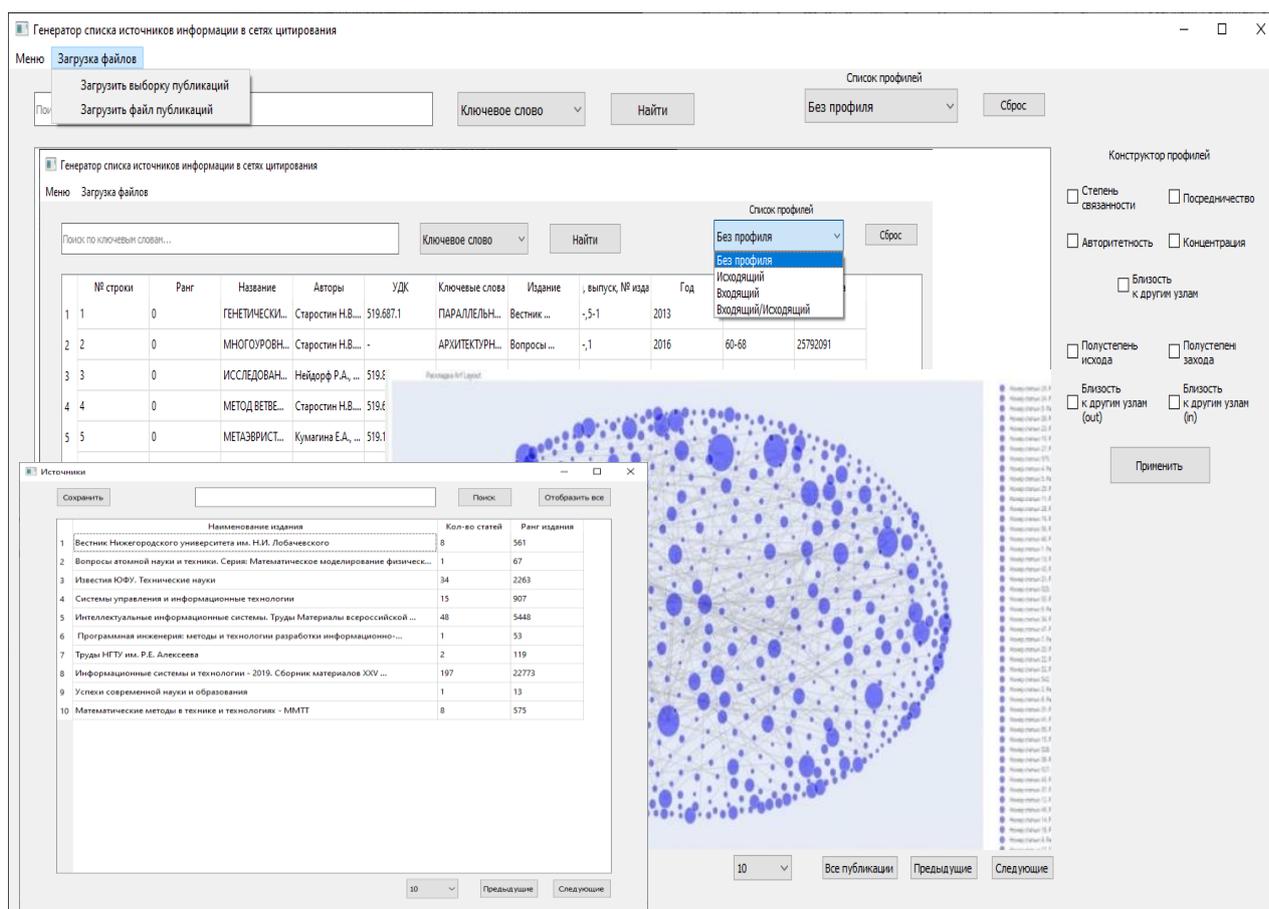


Рис. 4. Интерфейс программного комплекса СППР

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

Этап 1. Сбор данных о цитировании, создание графовых моделей и библиографических данных о публикации

Основной задачей выявления структурной информации о сети цитирования является сбор данных. С целью получения и обработки данных из различных баз данных цитирования разработан соответствующий модуль (1). В основу его работы заложен алгоритм сбора данных для построения сети цитирования публикаций. Этот алгоритм подробно описан в работе [24]. Разработанный алгоритм программы имеет преимущества при построении графовых моделей сети цитирования в виде списков дуг, которые записываются в файл с расширением .net. Используя данный алгоритм, можно получить сеть, в которую входят все источники информации, учитывая всю глубину связей. Кроме того, алгоритм позволяет получать сеть цитирования публикаций, включая все публикации по заданной тематике, еще не имеющие цитирований.

В первом блоке модуля (1) производится сбор данных. Во втором блоке модуля осуществляется генерация графа сети цитирования.

Использованы два способа представления графа сети цитирования: в виде матрицы смежности и в виде списка дуг. Исследованы и созданы условия для построения модели сети цитирования (рис. 5).

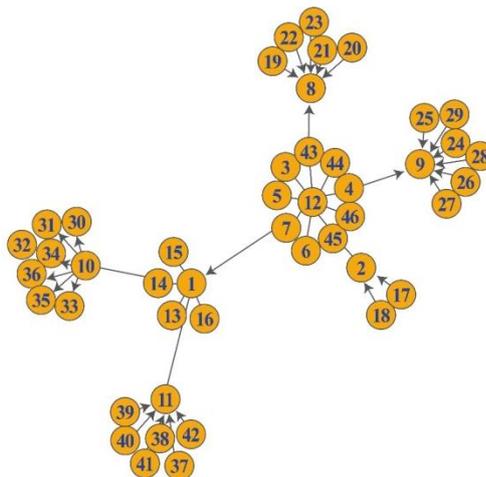


Рис. 5. Фрагмент сети цитирования научных публикаций библиографической базы данных RePEC

На рисунке 5 представлен пример графа сети цитирования, полученный на основе данных цитирования библиографической БД RePEc [25]. БД RePEc обеспечивает доступ к более 850 000 различным материалам по экономике, финансам, менеджменту и маркетингу. Из данных о цитировании публикаций БД RePEc выделена компонента связности, содержащая 46 узлов.

Этап 2. Формирование множества показателей для анализа сетей цитирования

Проведен анализ способов расчета мер центральности узлов сети, используемых в современной практике. Показано, что для выявления значимой роли узлов сети цитирования недостаточно одной из мер центральности, и на данный момент не существует универсальной меры.

Для определения значимой роли узла сети цитирования достаточно учитывать следующие меры центральности:

- центральность по степени связности (degree centrality);
- центральность по близости к другим узлам (closeness centrality);
- центральность по посредничеству (betweenness centrality);
- центральность по авторитетности (authority centrality);
- центральность по информативности (hub centrality).

В работе [7] рассмотрены эти меры центральности именно для ранжирования узлов сети цитирования научных публикаций. В связи с тем, что сеть цитирования является ориентированной, входящие и исходящие связи анализируются отдельно. При определении центральности по близости к другим узлам для орграфов можно рассматривать как дистанции от определяемой вершины до всех остальных (режим *out*), так и дистанции от всех вершин до определяемой (режим *in*). В случае, когда цитируемым объектам придается большая значимость, имеет смысл пользоваться вторым определением.

Этап 3. Формирование профиля исследования и расчет комплексного показателя важности публикации

Полученное множество показателей рассмотрено с целью формирования профиля исследования. *Профиль исследования* – это комплекс мер центральности узла сети цитирования с установленным индексом релевантности для каждой меры, имеющих общую задачу. Исходя из профиля исследования, можно

определить важные публикации, отвечающие поставленной задаче. Для этого создан программно-алгоритмический модуль (2).

Особенность данного модуля заключается в созданном конструкторе профилей, с помощью которого можно выбирать уже готовые профили исследования либо формировать собственные, исходя из целей отбора публикаций. На основе осуществленного отбора релевантных мер центральности узлов можно сформировать, например, следующие профили исследования, соответствующие таким целям, как: лучшие идеи (авторитетность и входящее цитирование), лучшие обзоры (исходящее цитирование и информативность), публикации-коммуникаторы (близость и промежуточность). Названный конструктор профилей реализован во *втором блоке* модуля (2).

В связи с тем, что граф сети цитирования может содержать большое количество вершин и дуг, для сокращения времени обработки и визуализации данных в модуле (2) в *первом блоке* предусмотрены параметры отбора: по тематике, ключевым словам, годам издания, авторам, аффилиациям организаций, типам и видам изданий.

В *третьем блоке* модуля (2) реализован расчет комплексного показателя важности публикации

$$C^h(v) = \sum_{i=1}^n k_i^h R_i(v), \quad (3)$$

где C^h – мера центральности по важности соответствующего профиля исследования; v – узел сети; R_i – ранг i -го показателя; n – число показателей; k_i^h – весовой коэффициент – индекс релевантности i -го показателя, $0 \leq k_i \leq 1$, $k_i^h \in Q$; h – профиль исследования.

Разработанная математическая модель определения важности узлов сети цитирования позволяет учитывать все структурно-топологические характеристики заданного фрагмента сети в комплексе и определять комплексную оценку центральности узлов сети цитирования как сумму рангов узлов сети по каждой мере центральности с учетом их релевантности.

Этап 4. Ранжирование публикаций по важности согласно профилю исследования

Ранжирование публикаций происходит в *четвертом блоке* модуля (2), где реализован метод ранжирования публикаций по важности, который сводится к вычислению суммы рангов узлов сети по каждой мере центральности с учетом их релевантности. Данный метод можно также назвать методом комплексной оценки центральности узлов сети – определяется значение комплексного показателя C^h (мера центральности по важности соответствующего профиля исследования). Далее осуществляется ранжирование публикаций в порядке убывания значения C^h .

Этап 5. Визуализация данных о цитировании

В СППР входит модуль (3) для просмотра и визуального анализа графов сетей цитирования на основе исследования и последующего ранжирования публикаций по важности. В качестве входной информации используются файл с библиографическими данными публикаций в виде таблицы MS Excel и файл с ориентированным графом в формате Rajek. Программный модуль выполняет следующие функции: выбор алгоритма укладки графа, обеспечивающего круговую, планарную, случайную, спектральную и специальные (для больших графов) визуализации; масштабирование вершины графа с учетом ранга важности узлов сети; отображение информации о публикации; создание HTML-файла визуального представления графа.

Этап 6. Оценка эффективности генератора списка источников информации в сетях цитирования

С целью подтверждения эффективности предложенного метода ранжирования публикаций по важности были проведены экспериментальные исследования: собраны и обработаны данные из различных баз цитирования RePEc, eLIBRARY.RU, Scopus, OpenAlex; результаты, полученные в ходе экспериментов, сравнены с результатами, полученными известными методами.

С помощью методов ранговой корреляции Спирмена и Стьюдента установлена тесная положительная линейная зависимость между значениями показателя, определенными с помощью метода ранжирования публикаций по важ-

ности, разработанного автором, и значениями мирового показателя цитируемости, взвешенного по предметной области – Field-Weighted Citation Impact (FWCI). Установлено также, что теснота связи между рангами, полученными по разработанному методу, и рангами, полученными по FWCI, зависит от профиля исследования (набора критериев – мер центральности узлов сети). Значение коэффициента ранговой корреляции в сравнении с профилем исследования «Входящий/Исходящий», рассмотренным в статье [26], свидетельствует о сильной прямой связи между двумя ранжированиями при критическом значении 0,01. При этом значение коэффициента ранговой корреляции в сравнении с профилем исследования «Входящий», а также с мерой центральности по полустепени захода (количеству цитирований научных публикаций), свидетельствует о слабой прямой связи при критическом значении 0,05. В итоге сделан вывод о целесообразности использования предложенной нами формулы определения важности узлов сети цитирования с помощью комбинирования сетевых метрик для улучшения и расширения показателей оценки научных публикаций.

Произведено сравнение результатов ранжирования научных статей разработанным методом с результатами, полученными методом анализа иерархий (МАИ). На основе полученных значений глобальных приоритетов МАИ проранжированы статьи-кандидаты. По результатам ранжирования статей двумя сравниваемыми методами установлено, что значения рангов R^c и $R^{МАИ}$ равны, где R^c – ранг статьи, полученный разработанным методом, $R^{МАИ}$ – ранг статьи по методу анализа иерархий. Следовательно, ранжирование разработанным методом произведено верно. Проведенные исследования позволили установить, что использование метода сетевого анализа научных публикаций для ранжирования статей является эффективным. Полученные результаты позволяют оценить согласованность рангов статей сравниваемых методов [21].

Стоит отметить, что метод ранжирования публикаций по важности позволяет работать с большим числом публикаций, что дает возможность улавливать более сложные закономерности и зависимости данных. Таким образом, очевидно преимущество применения этого метода на больших выборках в отличие от МАИ. Метод анализа иерархий имеет ограничения в применении на больших

выборках, так как для учёта всех критериев решения необходимо получать очень большие объёмы точной и достоверной информации [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований спроектирована система поддержки принятия решений при выборе источников информации в интернете. Разработан программный комплекс, позволяющий проводить сбор данных о цитировании, предобработку, визуальный анализ графа сети цитирования на основе исследования и последующего ранжирования публикаций по важности. В целом программный комплекс способствует эффективному анализу научных публикаций в автоматизированном режиме и сокращает время на обработку данных.

В основу работы программного комплекса заложен разработанный метод ранжирования научных публикаций по важности, который позволяет работать с большим числом публикаций, что дает возможность улавливать более сложные закономерности и зависимости данных. Таким образом, очевидно преимущество применения этого метода на больших выборках.

Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что применение разработанных алгоритмов и метода для решения задач ранжирования публикаций на основе анализа сетей цитирования уменьшают время, затраченное на обработку информации без использования данной технологии, улучшают эффективность поиска источников информации и позволяют оптимизировать процесс выбора источников информации по предметной области.

Благодарность

Автор выражает благодарность Людмиле Альбертовне Денисовой, д.т.н., профессору кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Омского государственного технического университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sylvester J. J.* On an Application of the New Atomic Theory to the Graphical Representation of the Invariants and Covariants of Binary Quantics, with Three Appendices // *American Journal of Mathematics*. 1878. Vol. 1. no. 1. P. 64–104.

<https://doi.org/10.2307/2369436>

2. *König D.* Theory of finite and infinite graphs. Boston: Birkhäuser, 1990. 426 p. ISBN 978-1-4684-8973-6.

3. *Egghe L. Rousseau R.* Introduction to Informetrics: quantitative methods in library, documentation and information science. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990. 450 p. ISBN 0-444-88493-9.

4. *Бредихин С.В., Ляпунов В.М., Щербакова Н.Г.* Библиометрические сети научных статей и журналов. Ин-т вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2021. 334 с. ISBN 978-5-901548-44-8.

5. *Freeman L.* A set measures of centrality based on betweenness // *Sociometry*. 1977. Vol. 40, No. 1. P. 35–41. <https://doi.org/10.2307/3033543>

6. *Печников А.А., Чебуков Д.Е.* Структура графа цитирования журналов Math-Net.Ru // Научный сервис в сети Интернет: тр. XXIII Всерос. науч. конф. (20–23 сент. 2021 г.) / Ин-т приклад. мат. им. М.В. Келдыша РАН. М.: Изд-во ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2021. С. 265–278.

7. *Бредихин С.В., Ляпунов В.М., Щербакова Н.Г., Юргенсон А. Н.* Параметры «Центральности» узлов сети цитирования научных статей // Проблемы информатики. 2016. № 1 (30). С. 39–57.

8. *Бредихин С.В., Ляпунов В.М., Щербакова Н.Г.* Мера важности научной периодики – «центральность по посредничеству» // Проблемы информатики. 2014. № 3. С. 53–63.

9. *Бредихин С.В., Ляпунов В.М., Щербакова Н.Г.* Ранжирование коллекции периодических изданий базы данных RePEc на основе метрик Eigenfactors // Проблемы информатики. 2014. № 1 (22). С. 36–42.

10. *Бредихин С.В., Ляпунов В.М., Щербакова Н.Г.* Мера «центральности» для ранжирования научных статей // Проблемы информатики. 2015. № 1. С. 55–64.

11. *Бредихин С.В., Ляпунов В.М., Щербакова Н.Г.* Параметры пар узлов сети цитирования научных статей // Проблемы информатики. 2016. № 2. С. 30–49.

12. *Ding Y., Yan E., Frazho A., Caverlee J.* PageRank for ranking authors in co-citation networks // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2009. Vol. 60, No. 11. P. 2229–2243. <https://doi.org/10.1002/asi.v60:11>

13. *Ding Y.* Applying weighted PageRank to author citation networks // Journal of the American Society for Information Science and Technology. 2011. Vol. 62, No. 2. P. 236–245. <https://doi.org/10.1002/asi.21452>

14. *Maslov S., Redner S.* Promise and pitfalls of extending Google's PageRank algorithm to citation networks // Journal of Neuroscience. 2008. Vol. 28. No. 44. P. 11103–11105.

15. *Jezek K., Fiala D., Steinberger J.* Exploration and Evaluation of Citation Networks // Open Scholarship: Authority, Community, and Sustainability in the Age of Web 2.0: Proceedings of the 12th International Conference on Electronic Publishing held (Toronto, Canada, 25–27 June 2008) / University of West Bohemia. Pilsen: University of West Bohemia, 2008. P. 351–362.

16. *Nykl M., Ježek K., Fiala D., Dostal M.* PageRank variants in the evaluation of citation networks // Journal of Informetrics. 2014. Vol. 8, No. 3. P. 683–692.

17. *Mejia C., Wu V., Zhang Y., Kajikawa Y.* Exploring topics in bibliometric research through citation networks and semantic analysis // Frontiers in Research Metrics and Analytics. 2021. Vol. 6. P. 742311.

18. *Ольгина И.Г., Бадрызлов С.В.* Анализ сетей цитирования научных публикаций // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Омск, 25–26 апреля 2023 г.). Омск: ОмГТУ, 2023. С. 91–99.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615709 Российская Федерация. Программный комплекс LinkAnalyzer 1.0 для сбора и анализа информации о цитировании научных публикаций: № 2020614572: заявл. 21.05.2020: опубл. (зарег.) 29.05.2020 / И.Г. Ольгина, А.Н. Абдрахманов; заявитель Ом. гос. техн. ун-т. 1 с.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661693 Российская Федерация. Генератор списка источников информации в сетях цитирования: № 2021660969: заявл. 14.07.2021: опубл. (зарег.) 14.07.2021 / И.Г. Ольгина, Д.С. Осипов; заявитель Ом. гос. техн. ун-т. 1 с.

21. *Ольгина И.Г.* Анализ результатов ранжирования научных публикаций с использованием метода ранговой корреляции // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 3. С. 74–78.

<https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-3-74-75>

22. *Ольгина И.Г., Андреева Е.Г., Янишевская А.Г., Федоров В.К.* Сравнительный анализ метода сетевого анализа научных публикаций и метода анализа иерархий при выборе источников информации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 9. С. 484–488.

<https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-9-484-485>

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023666387 Российская Федерация. Визуализатор сетей цитирования: № 2023665592; заявл. 27.07.2023; опубл. 31.07.2023/ И.Г. Ольгина, С.В. Бадрызов; заявитель и правообладатель Ом. гос. техн. ун-т. 1 с.

24. *Ольгина И.Г., Пронин И.В., Абдрахманов А.Н.* Построение графовых моделей сети цитирования научных публикаций // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Омск, 19–20 мая 2020 г.). Омск: ОмГТУ, 2020. Т. I. С. 118–125.

25. RePEC. General principles. URL: <http://repec.org/> (дата обращения: 26.11.2024).

26. *Ольгина И.Г.* Программные и алгоритмические средства сетевого анализа для определения важности научных публикаций // Электронные библиотеки. 2023. № 5. С. 646–672. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2023-26-5-646-672>

SUPPORT SYSTEM FOR THE SELECTION OF INFORMATION SOURCES IN CITATION NETWORKS

I. G. Olgina^[0000-0002-9932-4552]

Omsk State Technical University

inna_olgina@mail.ru

Abstract

With the advent of network science, it has become possible to explore complex network systems, including social and information networks, by presenting them as graph models. The exponential growth of the total volume of scientific publications determines the relevance of the tasks of analyzing their interrelations. In network

science, models and methods related to the field of so-called citation networks are being developed to solve these problems. However, network metrics are not used when analyzing publications in citation databases. The paper considers the issues of creating a decision support system for the selection of information sources based on data on the citation of scientific publications. A software package has been developed for making decisions on determining an important publication in a certain thematic area. The software package is based on a method of ranking publications by importance based on the analysis of citation networks, which allows you to identify publications that do not clearly stand out when ranking based on known bibliometric indicators or known measures of centrality of nodes in their pure form. A study and comparative analysis of software for visualization and research of all types of graphs and social networks has been conducted. Studies have been carried out confirming the effectiveness of the proposed decision support system in the selection of information sources.

Keywords: *citation network, publication, scientometry, decision support system, software architecture, network analysis, graph.*

REFERENCES

1. Sylvester J.J. On an Application of the New Atomic Theory to the Graphical Representation of the Invariants and Covariants of Binary Quantics, with Three Appendices // American Journal of Mathematics. 1878. Vol. 1, No. 1. P. 64–104. <https://doi.org/10.2307/2369436>
2. König D. Theory of finite and infinite graphs. Boston: Birkhäuser, 1990. 426 p. ISBN 978-1-4684-8973-6.
3. Egghe L. Rousseau R. Introduction to Informetrics: quantitative methods in library, documentation and information science. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990. 450 p. ISBN 0-444-88493-9.
4. Bredihin S.V., Ljapunov V.M., Shherbakova N.G. Bibliometric networks of scientific articles and journals. Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch RAS: ICM&MG SB RAS, 2021. 334 p. ISBN 978-5-901548-44-8. (In Russ.).

5. *Freeman L.* A set measures of centrality based on betweenness // *Sociometry*. 1977. Vol. 40, No. 1. P. 35–41. <https://doi.org/10.2307/3033543>
6. *Pechnikov A.A., Chebukov D.E.* Structure of the citation graph of Math-Net.Ru journals // *Nauchnyj servis v seti Internet: trudy dvadcat' tret'ej Vserossijskoj nauchnoj konferencii*. Scientific service on the Internet: Conference proceedings. M. 2021. P. 265–278. <https://doi.org/10.20948/abrau-2021-2> (In Russ.).
7. *Bredihin S.V.* Centrality parameters of nodes of the scientific articles citation network // *Problemy Informatiki – Problems of Informstics*. 2016. No. 1. P. 39–57 (In Russ.).
8. *Bredihin S.V., Ljapunov V.M., Shherbakova N.G.* Measurement of the scientific periodicals importance: cooperation centrality // *Problemy Informatiki – Problems of Informstics*. 2014. No. 3. P. 53–64 (In Russ.).
9. *Bredihin S.V., Ljapunov V.M., Shherbakova N.G.* Ranking of the collection of periodicals in the RePEc database based on Eigenfactor metrics // *Problemy Informatiki – Problems of Informstics*. 2014. No. 1 (22). P. 36–42 (In Russ.).
10. *Bredihin S.V., Ljapunov V.M., Shherbakova N.G.* A measure of "centrality" for ranking scientific articles // *Problemy Informatiki – Problems of Informstics*. 2015. No. 1. P. 55–64 (In Russ.).
11. *Bredihin S.V., Ljapunov V.M., Shherbakova N.G.* Parameters of pairs of nodes of the network for quoting scientific articles // *Problemy Informatiki – Problems of Informstics*. 2016. No. 2. P. 30–49 (In Russ.).
12. *Ding Y., Yan E., Frazho A., Caverlee J.* PageRank for ranking authors in co-citation networks // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2009. Vol. 60, No. 11. P. 2229–2243. <https://doi.org/10.1002/asi.v60:11>
13. *Ding Y.* Applying weighted PageRank to author citation networks // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2011. Vol. 62, No. 2. P. 236–245. <https://doi.org/10.1002/asi.21452>
14. *Maslov S., Redner S.* Promise and pitfalls of extending Google's PageRank algorithm to citation networks // *Journal of Neuroscience*. 2008. Vol. 28. No. 44. P. 11103–11105.
15. *Jezek K., Fiala D., Steinberger J.* Exploration and Evaluation of Citation Networks // *Open Scholarship: Authority, Community, and Sustainability in the Age of*

Web 2.0: Proceedings of the 12th International Conference on Electronic Publishing held (Toronto, Canada, 25–27 June 2008) / University of West Bohemia. Pilsen: University of West Bohemia, 2008. P. 351–362.

16. *Nykl M., Ježek K., Fiala D., Dostal M.* PageRank variants in the evaluation of citation networks // *Journal of Informetrics*. 2014. Vol. 8, No. 3. P. 683–692.

17. *Mejia C., Wu V., Zhang Y., Kajikawa Y.* Exploring topics in bibliometric research through citation networks and semantic analysis // *Frontiers in Research Metrics and Analytics*. 2021. Vol. 6. P. 742311.

18. *Olgina I.G., Badryzlov S.V.* Analysis of citation networks of scientific publications]. *Sistemy upravlenija, informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie: materialy Vtoroj Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. Uchast. Control systems, information technologies and mathematical modeling: Collected papers*. Omsk: OmGTU. 2023. P. 91–99 (In Russ.).

19. *Olgina I.G., Abdrahmanov A.N.* Certificate of state registration of the computer program No. 2020615709 Russian Federation. Link Analyzer 1.0 software package for collecting and analyzing information about citation of scientific publications: No. 2020614572: application 21.05.2020: publ. 29.05.2020; the applicant is the Omsk State Technical University.

20. *Olgina I.G., Osipov D.S.* Certificate of state registration of the computer program No. 2021661693 Russian Federation. Generator of a list of information sources in citation networks: No. 2021660969: application 14.07.2021: publ. 14.07.2021; the applicant is the Omsk State Technical University.

21. *Olgina I.G.* Analysis of the results of ranking scientific publications using the rank correlation method // *News of the Tula state university. Technical sciences*. 2024. No. 3. P. 74–78 (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-3-74-75>

22. *Olgina I.G., Andreeva E.G., Yanishevskaya A.G., Fedorov V.K.* Comparative analysis of the method of network analysis of scientific publications and the method of hierarchy analysis in the selection of information sources // *News of the Tula State University. Technical sciences*. 2024. No. 9. P. 484–488 (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-9-484-485>

23. *Olgina I.G., Badryzlov S.V.* Certificate of state registration of the computer program No. 2023666387 Russian Federation. Citation Network Visualizer:

No. 2023665592; application 27.07.2023; publ. 31.07.2023; the applicant is the Omsk State Technical University.

24. *Olgina I.G., Pronin I.V., Abdrahmanov A.N.* Graph models construction of the citation network of scientific publications // *Sistemy upravlenija, informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie: materialy Vtoroj Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchast* [Control systems, information technologies and mathematical modeling: Collected papers]. Omsk: OmGTU. 2020. V. 1. P. 118–125 (In Russ.).

25. RePEC. General principles. URL: <http://repec.org/> (date accessed: 26.11.2024).

26. *Olgina I.G.* Software and algorithmic tools of network analysis for determining the scientific publications importance // *Russian Digital Libraries Journal*. 2023. No. 5. P. 646–672. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2023-26-5-646-672>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ОЛЬГИНА Инна Геннадьевна – старший преподаватель кафедры «Математические методы и информационные технологии в экономике», ОмГТУ. Область научных интересов: теория графов, применение методов системного анализа для исследования сетей цитирования, цифровые технологии в работе библиотек. Число научных публикаций – 21.

Inna Gennadevna OLGINA – Senior Lecturer of the Mathematical Methods and Information Technologies in Economics Department, Omsk State Technical University. Research interests: graph theory, application of systems analysis methods for the citation networks research, digital technologies in the work of libraries. The number of publications – 21.

email: inna_olgina@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9932-4552

Материал поступил в редакцию 28 ноября 2024 года

УДК 004.4

... А ДВЕ ГОЛОВЫ – ЛУЧШЕ

Ю. Е. Поляк^[0000-0001-8411-335X]

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный экономико-математический институт Российской академии наук,
117418 Москва, Нахимовский пр. д.47*

polak@cemi.rssi.ru

Аннотация

Рассмотрен феномен совместного творчества нескольких авторов, приведены примеры из различных сфер деятельности. Основное внимание уделено информационным технологиям: проанализированы разработки, выполненные в конце XX-го века. Их авторы – пары выдающихся специалистов, сочетавших таланты программиста и менеджера. Они определили дальнейшее развитие ИТ-отрасли и радикально изменили качество жизни всего человечества. Кратко описаны истории появления знаменитых компьютеров, операционных систем, всемирной паутины, средств навигации в сети.

Ключевые слова: *информационные технологии, креативные тандемы, Apple I и II, программное обеспечение, всемирная паутина, браузер Mosaic, навигация в интернете*

ВВЕДЕНИЕ

Услышав известную поговорку про две головы, одни сразу вспоминают пару Ильф–Петров; другие – Маркс–Энгельс, третьи – Минин–Пожарский. Любители литературы назовут братьев Стругацких, Вайнеров, Гримм, Гонкур; супружеские пары А. и С. Голон, М. и С. Дяченко; Д. Дидро и Ж. Д'Аламбера, И. Гёте и Ф. Шиллера, П. Вайля и А. Гениса. В изобразительном искусстве заметный след оставили творившие совместно Ф. Кало и Д. Ривера, В. Степанова и А. Родченко, основатели «Соц-арта» В. Комар и А. Меламид, А. Виноградов и В. Дубосарский; книжные иллюстраторы братья А. и В. Траугот (до гибели в 1961 г. их отца, Георгия Николаевича, это был не дуэт, а трио). «На троих» работали Кукрыниксы (Куприянов–Кры-

лов–Соколов), а в группу «Митьки» входят десятки художников. Множество проектов создали архитекторы братья Л., В. и А. Веснины. Среди известных театральных деятелей назовём основателей Художественного театра В. Немировича-Данченко и К. Станиславского, режиссёров МТЮЗа К. Гинкаса и Г. Яновскую, актёров братьев Маркс и Адельгейм. Кинематограф обязан появлением братьям Л. и О. Люмьер.

Одному известному деятелю приписывается фраза «Пока народ безграмотен, из всех искусств важнейшими для нас являются кино и цирк»¹. Возможно, он ничего подобного не говорил, но здесь уместно вспомнить, что именно в цирковой среде, пожалуй, чаще всего встречаются семейные мини-коллективы. Лишь один пример: братья Э. и А. Запашные, представители известной династии.

Немало братьев работало в области связи и транспорта. В конце XVIII-го века почти одновременно Ж-М. и Ж-Э. Монгольфье совершили полёт на тепловом аэростате (воздушном шаре), а К. и И. Шапп продемонстрировали оптический телеграф. Век спустя У. и О. Райт впервые в истории смогли управлять полётом самолёта – аппарата тяжелее воздуха. В начале XX-го века братья Стенли, а позднее братья Дobl изобретали и испытывали паромобили (автомобили с паровым двигателем), развивавшие скорость более 240 километров в час.

Обратимся к музыке. Ф. Мендельсон-Бартольди совместно с И. Мошелесом писал вариации для фортепиано с оркестром. Из четырёх композиторов братьев Покрасс только двое – Дмитрий и Даниил – вместе трудились над советскими патристическими песнями. В области исполнительского искусства известны фортепианные дуэты В. Пальмов–В. Биберган, Л. Брук–М. Тайманов, Long Island Piano Duo; струнный Квартет имени Бородина. Часто совместно выступало знаменитое трио С. Рихтер–Д. Ойстрах–М. Ростропович. Упомянем также такие разноплановые вокальные коллективы, как дуэты сестёр Р. и К. Бэрри, Р. и К. Лисициан, трио теноров П. Доминго–Х. Каррерас–Л. Паваротти, октет Ады Якушевой из МГПИ, краснознамённый ансамбль (штатная численность коллектива — 285 человек). А вот арт-проект творческой группы Pussy Riot не имеет постоянного состава.

¹ <https://www.kommersant.ru/doc/693880>

Современная наука становится всё более коллективным делом. Растёт число публикаций, написанных в соавторстве, над созданием нового знания работают целые коллективы (инновационные команды, временные творческие группы, «инкубаторы» и т. п.), но часто выдающиеся результаты получают отдельные учёные или небольшие группы. Математика стала иной после работ таких «танDEMов», как П. Александров–П. Урысон, А. Колмогоров–В. Арнольд, Э. Винберг–А. Онищик, М. Атья–И. Зингер. Большую роль в преподавании и изучении физики сыграл «Ландафшиц» – десяти томный «Курс теоретической физики» Л. Ландау и Е. Лифшица (о котором злые языки говорили, что там нет ни одного слова Ландау и ни одной мысли Лифшица). Не редкость, когда у открытия три автора (Бардин–Купер–Шриффер, Черенков–Франк–Тамм). А публикация по ядерной физике может быть подписана множеством фамилий – так, у статьи «Observation of the $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c + K + K - \pi - \text{decay}$ »² 989 авторов.

Этот обзор можно продолжать бесконечно. За его пределами остаются творческие объединения – «Могучая кучка», «Бубновый валет», «Мир искусства», «Серапионовы братья», Никола Бурбаки; Козьма Прутков (коллективный псевдоним А.К. Толстого и трёх братьев Жемчужниковых), ещё один псевдоним Гривадий Горпожакс (Горчаков–Поженян–Аксёнов) и многое другое.

Но перейдём к информационным технологиям, в становлении которых также велика роль коллективного творчества. Обращает внимание интересная особенность компьютерной индустрии: большинство важнейших разработок выполнено мини-коллективами из двух специалистов, причем как минимум один из них был высококлассным программистом, а другой (или оба) – незаурядным менеджером.

Мы проследим несколько историй возникновения и успеха таких творческих танDEMов, благодаря которым жизнь приобрела совершенно новые качества. Их главные достижения, навсегда изменившие мир, укладываются в крошечный по историческим меркам, но важнейший для последующих событий временной отрезок – последнюю четверть XX-го века. Многие из этих разработчиков во-

² Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics, 2021, Vol. 815, <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2021.136172>

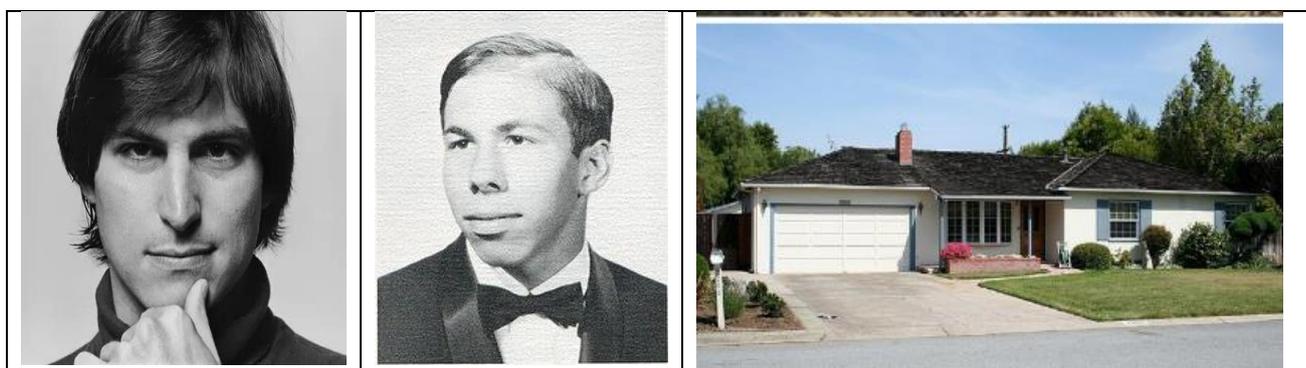
шли в число богатейших людей мира и заслуженно пользуются значительно большим уважением, чем их соседи по списку Форбса³, чьи состояния получены по наследству или в результате торговли углеводородами.

APPLE

Стив Возняк (Stephen Gary Wozniak, р. 11 августа 1950)

Стив Джобс (Steven Paul Jobs, 24 февраля 1955 – 5 октября 2011)

16-летний школьник Джобс познакомился с 21-летним гением электроники Возняком в 1971 году. Вскоре Возняк создал электронное устройство Blue box для бесплатных международных звонков путем взлома телефонных сетей. Джобс осознал коммерческий потенциал изобретения и организовал кустарное производство для продажи его студентам и местным жителям. Было реализовано порядка 100 изделий. Через несколько лет Возняк собрал для личного пользования компьютер (позже названный Apple I). У Джобса возникла идея продавать и его. После первых успешных продаж (по цене \$666.66) 1 апреля 1976 года была создана компания Apple Computer.



Слева направо: С. Джобс; С. Возняк; гараж, в котором в 1976 году был основан Apple Computer (дом Пола и Клары Джобс – 2066 Crist Drive, Los Altos, CA, USA)

В июне 1977 года поступил в продажу исключительно удачный Apple II, и эта дата считается началом «микрокомпьютерной революции», несмотря на существование таких персональных компьютеров, как Xerox Alto (1973), Altair 8800 (1974), а также разработок фирм Sinclair, Tandy, Commodore, Atari [1].

³ <https://www.forbes.com/billionaires/>

Компьютеры Apple и Macintosh длительное время конкурировали с IBM PC. Возняк изобретал очередные гениальные изделия, а Джобс придумывал, как их оформить, преподнести на рынке и получить доход. Когда это сотрудничество распалось, начался некоторый спад. И тогда компания выпустила массу популярных и полезных гаджетов: аудиоплеер iPod (2001), мультимедийный смартфон с сенсорным экраном iPhone (2007), планшетный компьютер iPad (2010). Появились аксессуары: умные часы Apple Watch, умные колонки с голосовым управлением Apple HomePod и другие. Летом 2011 г. Apple становится самой дорогой компанией мира по рыночной капитализации. Джобс успел это застать.



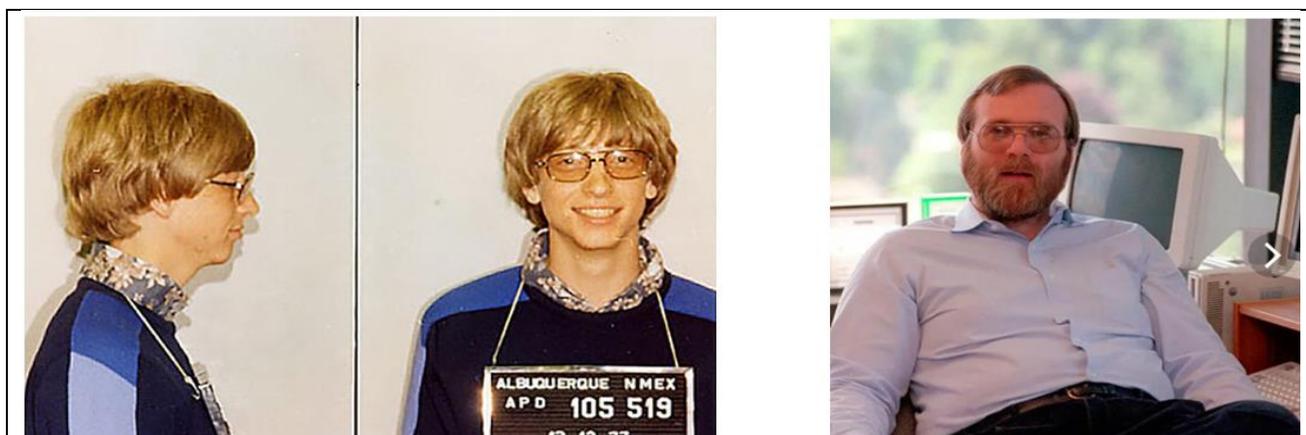
MICROSOFT

Билл Гейтс (William Henry Gates III, р. 28 октября 1955)

Пол Аллен (Paul Gardner Allen, 21 января 1953 — 15 октября 2018)

В 1975 году программист Билл Гейтс бросил Гарвардский университет, чтобы вместе со школьным товарищем Полом Алленом создать компанию Microsoft. В совместном бизнесе Аллен занимался техническими идеями и перспективными разработками, Гейтс – деловым общением. Первым продуктом Microsoft стал бейсик-интерпретатор, позволявший пользователям разрабатывать программы на языке высокого уровня. В то время машинный код вводился вручную непосредственно в память компьютера с помощью передней панели с тумблерами, кнопками и светодиодными дисплеями, но вскоре взаимодействие через терминал стало основным интерфейсом человек-машина.

В 1980 году компания Microsoft подписала контракт с компьютерным гигантом IBM на разработку операционной системы MS-DOS. Это сотрудничество продолжалось, и в ноябре 1985 года появилась новая операционная система Microsoft Windows. Выгодная сделка прославила Гейтса и закрепила на долгие годы в качестве монополиста на рынке программного обеспечения. Благодаря технологическим инновациям, продуманной бизнес-стратегии и агрессивной деловой тактике, Microsoft стала крупнейшим разработчиком программного обеспечения. А недоучившийся в Гарварде Гейтс стал богатейшим человеком мира, открыл благотворительный фонд и в июне 2007 года, через 34 года после поступления, по решению администрации университета получил диплом о высшем образовании, а также степень почётного доктора права.



Билл Гейтс в возрасте 20 лет; Пол Аллен

VISICALC

Дэн Бриклин (Daniel Bricklin, р. 16 июля 1951)

Боб Фрэнкстон (Bob Frankston, р. 14 июня 1949)

Первая версия электронной таблицы VisiCalc была выпущена в 1979 году. Она работала на компьютере Apple II. Идея создания программы возникла у Д. Бриклина на лекции в Гарвардской школе бизнеса. Когда в выписанной на доске финансовой модели обнаруживалась ошибка, лектору приходилось стирать и переписывать много записей в таблице. Бриклин решил создать компьютерную программу, «электронную таблицу», выполняющую те же действия. VisiCalc вывел прикладное программное обеспечение на новый уровень: при изменении любой ячейки весь лист автоматически пересчитывался. Вместо многих

часов работы процесс занимал считанные минуты. Соавтором Бриклина стал Боб Фрэнкстон; распространением занималась компания VisiCorp.

Благодаря Visicalc, персональные компьютеры из инструмента развлечения и хобби превратились в необходимый инструмент ведения бизнеса. Деловой мир сразу увидел, что покупать персональные компьютеры весьма выгодно: с их помощью стало возможным значительно эффективнее вести бухгалтерию, составлять документы и т. д. Многие организации стали выполнять необходимые расчёты не на больших ЭВМ, а на гораздо более дешевой альтернативе. Это привело к падению спроса на большие и мини ЭВМ. В результате компьютерный гигант IBM, «проспавший» микрокомпьютерную революцию, в августе 1981 г. выпустил собственный IBM PC.

За несколько лет были проданы сотни тысяч копий программы, резко выросли и продажи персональных компьютеров (предприятия приобрели до 90% Apple II именно из-за VisiCalc).



Бриклин и Фрэнкстон в 1980 году и 40 лет спустя

Позже под влиянием VisiCalc появились более мощные программы SuperCalc (1980), Lotus 1-2-3 (1983), Microsoft Excel (в 1985 году на Macintosh и в 1987 году для Windows 2.0), Quattro Pro (1987), пакет «Мастер» Е.Н. Веселова. Электронным таблицам посвящен раздел книги [1].

WORLD WIDE WEB

Тим Бернерс-Ли (Sir Timothy John Berners-Lee, р. 8 июня 1955)

Роберт Кайо (Robert Cailliau, р. 26 января 1947)

В 1990 году сотрудник ядерного центра CERN Тимоти (Тим) Бернерс-Ли ввёл понятие «World Wide Web» (всемирная паутина). При этом он создал единый указатель ресурса (URL – Uniform Resource Locator), язык обобщённой разметки гипертекста (HTML – Hypertext Markup Language), протокол передачи гипертекста (HTTP – Hypertext Transfer Protocol); тогда же появились первые веб-браузер и веб-сервер. Этой работе способствовало то, что ещё в 1987 году бельгийский инженер CERN Роберт Кайо (Robert Cailliau) предложил систему гипертекста для доступа к документации CERN⁴. В 1990 г. Бернерс-Ли и Кайо совместно разработали концепцию и технологию всемирной сети: первый генерировал идеи, второй взял на себя экономическое обоснование и управление проектом.



Т. Бернерс-Ли; посвящение в рыцари; Р. Кайо

Кайо разработал для всемирной паутины логотип WWW, причём настаивал, чтобы буквы были непременно зелёного цвета. Бернерс-Ли 6 августа 1991 года запустил первый в мире веб-сайт⁵, где описывалось, что такое всемирная паутина, как установить веб-сервер и т. п. Этот сайт также являлся первым в мире интернет-каталогом. Эти работы создали техническую базу для интернета в современном виде, но всемирная популярность пришла только с появлением браузера Mosaic [2, 3].

⁴ Gillies, James; Cailliau, Robert. How the Web Was Born. Oxford University Press, 2000. p. 197

⁵ <http://info.cern.ch>

MOSAIC

Марк Андрессен (Marc Andreessen, р. 25 октября 1964)

Эрик Бина (Eric J. Bina, р. 9 июля 1971)

По словам разработчика сети Ethernet Роберта Меткалфа, «во времена первого поколения Web, когда Тим Бернерс-Ли создал указатель ресурса URL, протокол передачи гипертекста HTTP и стандарты языка HTML, лишь немногие считали, что Web может быть лучше, чем Gopher⁶. Когда во втором поколении Марк Андрессен и Эрик Бина из Иллинойского университета представили браузер Mosaic, миллионы мгновенно осознали, что Web может быть лучше секса»⁷.

К тому времени Андрессен действительно был студентом Иллинойского университета в Урбана-Шампейне (бакалавром информатики он стал только в 1993 году). А Бина получил степень магистра в 1988 г. В Национальный центр суперкомпьютерных приложений NCSA он пришел в 1991 году в качестве программиста. Там Бина и Андрессен начали работу над Mosaic в декабре 1992 года, и к марту 1993 года у них была рабочая версия. В том же году были выпущены версии для Unix, Windows, Amiga и Mac.

⁶ Протокол Gopher – текстовый предшественник веба, вытесненный более совершенным HTTP

⁷ Bob Metcalfe. Microsoft and Netscape open some new fronts in escalating Web Wars // InfoWorld, August 21, 1995, Vol. 17, Issue 34, p.35



Microsoft and Netscape open some new fronts in escalating Web Wars

After its phenomenal stock offering two weeks ago, Netscape Communications Corp. is well on its way to becoming the Microsoft of the Internet. But then, of course, after Thursday's shipment of Windows 95 and the Microsoft Network (MSN), Microsoft Corp. is too. Microsoft and Netscape are now the principal antagonists in a war for control of the software that runs the World Wide Web.

At this point, I should say that Netscape's co-owner, International Data Group (IDG), of which I am a vice president, is a big Netscape customer and was invited some months ago to invest \$2 million. I should also say that Microsoft is one of IDG's largest advertising customers. There, I feel much better now.

At last week's Spotlight conference a few weeks ago, John Schoch, MSN's group general manager for mobile applications, demonstrated Netscape's in-development tool for MSN content. Netscape is cool. On the phone with Schoch, I learned something that most of Netscape's shareholders probably don't know yet, which is that Netscape has now been announced, not just as the development tool for MSN, but separately from MSN as a complete set of tools, viewers, and servers. Netscape will be offered to you as "MSN on a box" in direct competition with Netscape.

Netscape viewers will be a lot like Web browsers, except they will be on the client end of an advanced distributed object system for browsing Netscape-generated multimedia content including Hypertext Markup Language (HTML). Netscape servers will be a lot like Web servers, except they will also handle Netscape multimedia objects. Netscape will be backward compatible. Microsoft controlled fourth-generation Web software.

In the Web's first generation, Tim Berners-Lee invented the Uniform Resource Locator (URL), Hypertext Transfer Protocol (HTTP), and HTML standards with prototype Unix-based servers and browsers. A few people noticed that the Web might be better than Gopher. In the second generation, Marc Andreessen and Eric Bein developed NCSA Mosaic at the University of Illinois. Several million users suddenly noticed that the Web might be better than us. In the third generation, Andreessen and Bein left NCSA to found Netscape.

The Web Wars began as Netscape wandered if it could stand to remain compatible with standards that were out of its control under Berners-Lee in the World Wide Web Consortium (W3C) at MIT. Now, in the fourth generation, the Web Wars escalate as Netscape advances Web technology using Microsoft-controlled standards.

According to Schoch, Netscape is the future of the Web. MSN aligns this week with a corporate strategy that can download Netscape viewers. Netscape viewers don't need MSN to operate, and Netscape servers running on Windows NT will enable you to set up Netscape with MSN members in the development tool for MSN content.

Netscape is multimedia object technology based on Microsoft's ActiveX. It has its own URL, named URL, meaning it has its own multimedia markup language, not just HTML. And it is a response considerably on HTML by optimizing for high latency on the spreading and now increasingly clogged Internet.

Imagine using Netscape on any of the other 300 MSN clients, including Microsoft's. Internally you click a hypertext and you're looking at a Netscape page that, because you are using a Netscape viewer, you can't see in its full glory. If at all, you download a Netscape viewer, which lets you continue browsing the old Web while giving you access to the dazzling multimedia objects on the new Microsoft Netscape Web. And you're locked.

Expect fierce competition between Microsoft and Netscape. The important question is whether Microsoft or Netscape wins, but whether we'll end up choosing our Web standards from those developed in open competing consortium or those controlled by Microsoft.

Web Wars began as Netscape during the Web Wars when DUCKOY indexes did to Dites during the CD-ROM Wars. It's good but expected. If W3C follows in the footsteps of any of the various delinquent Unix consortia. The most likely cause of Netscape's making would be if distributed multimedia URLs turn out a dog.

Web Wars began as Netscape wandered if it could stand to remain compatible with the Internet.

М. Андриссен, Э. Бина; статья Р.Меткалфа

Автор хорошо помнит, какое неизгладимое впечатление произвела на него демонстрация Mosaic в Международном центре научной и технической информации. Имея к тому времени почти 30-летний опыт программирования, он с трудом припоминает что-то столь же впечатляющее (кроме, пожалуй, первых электронных таблиц – VisiCalc, SuperCalc).

Благодаря интуитивно понятному, функционально совершенному пользовательскому интерфейсу, поддержке графики и простоте установки браузер стал исключительно популярным: за год он был скопирован и установлен на двух миллионах компьютеров. Можно считать, что существуют две различные эры в истории Web: до браузера Mosaic и после. Сочетание веб-протокола, который обеспечивал коммуникацию, и нового браузера создало условия для взрыва интереса к интернету. Именно в Mosaic появились поддержка звука и видео, закладки и список посещённых страниц (history). От Mosaic ведут свою историю многие браузеры - Netscape Navigator (1994), Internet Explorer (1996) и другие.

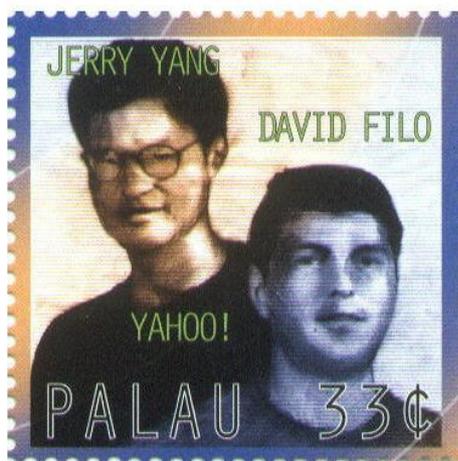
YAHOO!

Дэвид Фило (David Robert Filo, р. 20 апреля 1966)

Джерри Янг (Jerry Yang, 楊致遠, р. 6 ноября 1968)

Mosaic стимулировал взрывной рост числа пользователей, сайтов, объёмов информации. Возникла необходимость упорядочивать и искать эту информацию. Современная картина поисковых средств начала складываться ко второй половине 90-х годов. Сначала списки ресурсов представляли собой небольшие текстовые файлы с названиями вроде «любимые ссылки аспиранта Сидорова». Позже появляются электронные каталоги веб-адресов - универсальные и специализированные. В 1994 г. стэнфордские аспиранты Янг и Фило решили сделать для себя удобный инструмент для навигации по интернету (существовавшие тогда каталоги их не удовлетворяли), и они создали веб-сайт «Гид по всемирной паутине Джерри и Дейва». В апреле сайт был переименован в Yahoo!. По одной версии, это слово является акронимом фразы Yet Another Hierarchical Official Oracle. По другой, оно происходит от названия человекообразных существ йеху из книги Свифта «Путешествия Гулливера». Yahoo! фактически представлял собой большой и очень качественный каталог сайтов. Несколько позднее, когда создаваемые списки стали слишком громоздкими, возникла необходимость в базе данных.

Янг и Фило быстро оценили коммерческий потенциал проекта и 2 марта 1995 года основали корпорацию Yahoo!, ставшую впоследствии одной из крупнейших интернет-компаний начала века (в 2016 г. сайт yahoo.com был пятым по посещаемости в интернете), затем она была приобретена компанией Verizon. Википедия сообщает: «Yahoo! не смогла привлечь достаточной аудитории в эпоху мобильных гаджетов. В 2023 году Yahoo! объявила о сокращении 1600 сотрудников. Это составило 20% всего персонала».



Марка страны Палау (1999): Джерри Янг и Дэвид Фило, соучредители Yahoo!

Через полтора года после презентации Yahoo! появился его российский аналог. В 1995 г. лаборатория сетевых информационных ресурсов ЦЭМИ РАН начала каталогизацию отечественных ресурсов интернета [5, 6]. Разработчики ничего не знали о Фило и Янге, но существовавшие тогда каталоги их тоже не удовлетворяли. Основу заложил ещё один тандем: Юрию Поляку принадлежит идея рубрикатора и организация информационного наполнения, Алексей Дыбенко создал базу данных. 29 ноября 1996 г. на семинаре РОЦИТ был представлен каталог, ставший известным под названием «АУ!» (позднее «@Rus», «Апорт»). Вплоть до конца тысячелетия он оставался лучшим в рунете, его часто называли «русским Yahoo!». Помимо онлайн-ового каталога, информация из базы легла в основу книг [7–9] – первых и самых полных справочников для своего времени, адекватно представлявших картину рунета. Сейчас идея издания печатного справочника интернет-ресурсов кажется наивной, но для того времени это было вполне актуальным. Напомним, тогда постоянный доступ к интернету имела незначительная часть населения страны.

Экспоненциальный рост информационного наполнения рунета, появление мощных поисковых систем привели к закрытию «чистых» каталогов. «АУ!» влился в популярный тогда поисковик «Апорт». Кроме того, специалисты лаборатории в 1999–2002 годах работали над каталогом совершенно нового типа, интегрированным в поисковую систему Яндекс (с этой компанией у нашего коллектива были

давние дружеские отношения). Каталог строился на базе многомерной рубрикации; сходные принципы положены в основу фасетной классификации [10, 11], но в интернете они ранее не применялись. Наш коллектив разработал концепцию каталога и принципы классификации, выполнил первоначальное наполнение базы данных и обучение редакторов.

К лету 2000 года в каталоге Яндекса было более 40 000 российских интернет-ресурсов, что соответствует примерно 300 тысячам единиц описания в обычном каталоге [6]. После ряда модернизаций каталог продолжал действовать до 2018 года.

Далее мы рассмотрим ведущие поисковые машины России, США и Китая.

ЯНДЕКС

Аркадий Волож (р. 11 февраля 1964)

Илья Сегалович (13 сентября 1964 — 27 июля 2013)

Одной из таких поисковых машин (не первой, но лучшей в России) стал Яндекс, представленный 23 сентября 1997 года. Его отличают использование академических разработок по морфологии русского языка и оригинальные алгоритмы поиска. Разработкой и совершенствованием поискового механизма много лет руководил Илья Сегалович, который добился лидерства Яндекса в русскоязычном поиске. Деловые способности его одноклассника Воложа, руководителя компании Яндекс, зарегистрированной в 2000 г., позволили создать вокруг поисковой машины мощную экосистему с множеством полезных сервисов⁸ и выйти на IPO на бирже NASDAQ (2011).

Яндекс появился не на пустом месте. К 1997 году в «портфеле» его команды уже был ряд серьёзных проектов: поиск по Международному классификатору изобретений, электронный «Библейский компьютерный справочник», индексирование полного собрания сочинений А.С. Грибоедова по заказу ИМЛ РАН.

Для улучшения качества поиска, совершенствования системы морфологического распознавания слов в Академии наук была приобретена легальная электронная копия словаря русского языка. Грамматический словарь русского языка

⁸ <https://yandex.ru/all>

под редакцией академика А.А. Зализняка, итог многолетней работы, включает около 100 тысяч словоформ. Такая серьёзная научно-методологическая основа, дальнейшее сотрудничество разработчиков с группой академика Ю.Д. Апресяна из ИППИ РАН надолго предопределили лидерство Яндекса при обработке русскоязычных запросов [12].



Яндекс много лет остаётся самой дорогой компанией рунета⁹. Но в списке всех российских компаний Яндекс с капитализацией 0.985 трлн руб. в 2023 г. был лишь 14-м, а возглавляли список Сбер (6.04 трлн) и Роснефть (5.58)¹⁰. Заметим, в мире ИТ-компании лидируют. В пятерку входят Apple (\$3.392 трлн), Microsoft (3.122), Amazon (2.229) и Alphabet (Google, 2.204). В этом списке Walmart – 13-я, Mastercard – 20-я, Bank of America – 26-й, McDonald – 56-й, General Electric – 70-я, Walt Disney – 76-й¹¹.

В результате международных санкций в 2024 г. компания разделилась¹², но финансовый отчёт от 29.10.2024 сообщает о росте выручки на 36%¹³.

⁹ <https://www.forbes.ru/tekhnologii/485182-30-samyh-dorogih-kompanij-runeta-2023-rejting-forbes>

¹⁰ <https://www.tbank.ru/invest/social/profile/AK47pfl/c38fabe1-f0a5-4161-bdb4-09af44918f16>

¹¹ <https://companiesmarketcap.com/>

¹² <https://habr.com/ru/news/830138/>

¹³ [https://yastatic.net/s3/ir-](https://yastatic.net/s3/ir-docs/docs/2024/q3/a376037dc4dd0f0114ac6752de3efb1c/МКРАО_Q3_2024_RUS_0f011.pdf)

[docs/docs/2024/q3/a376037dc4dd0f0114ac6752de3efb1c/МКРАО_Q3_2024_RUS_0f011.pdf](https://yastatic.net/s3/ir-docs/docs/2024/q3/a376037dc4dd0f0114ac6752de3efb1c/МКРАО_Q3_2024_RUS_0f011.pdf)

GOOGLE

Ларри Пейдж (Lawrence Edward Page, р. 26 марта 1973)

Сергей Брин (р. 21 августа 1973)

Сергей Михайлович Брин родился в Москве. Его родители – выпускники механико-математического факультета МГУ: мама, Женя Краснокутская (однокурсница автора), окончила МГУ в 1971 году; отец, Михаил Брин, – годом раньше. В октябре 1979 года семья переехала в Америку, где Михаил стал профессором Мэрилендского университета, Евгения работала в NASA, а Сергей, получив степень бакалавра в Мэриленде, поступил в магистратуру Стэнфордского университета. Там в 1995 году он познакомился с Л.Пейджем.



Сергей Брин с матерью в Москве



Семья Брин: Сергей, его брат Сэм, Евгения Валентиновна и Михаил Израилевич

Лоуренс Эдвард Пейдж (Ларри) родился 26 марта 1973 г. в семье сотрудников Мичиганского университета: отец – профессор информатики, мать – преподаватель программирования. С самого раннего возраста он интересовался персональными компьютерами. После школы он стал бакалавром по компьютерной инженерии в Мичиганском университете и магистром по информатике в Стэнфорде. Приведем слова Пейджа: «Мы были отличной командой, потому что, возможно, я мыслил несколько шире, разбирался в различных областях. Я закончил факультет компьютерных технологий и больше него знал про технику и оборудование, а он больше смыслил в математике. Он был невероятно умён, даже по меркам факультета компьютерных технологий».

Совместная работа Брина и Пейджа «Анатомия системы крупномасштабного гипертекстового интернет-поиска» легла в основу проекта, который сейчас весь мир знает, как Google. Авторы предложили новый принцип обработки данных при поиске информации в глобальной сети. В его основе лежала идея о том, что важность отдельной веб-страницы тем выше, чем больше других страниц на неё ссылаются. Предложенный алгоритм ранжирования страниц получил название PageRank, и оказалось, что основанная на нем поисковая система превосходит существовавшие аналоги, которые оценивали страницы по количеству появления на них искомого слова.



Time, 20.02.2006. Сверху вниз: Л. Пейдж, директор фирмы Эрик Шмидт, С. Брин

Заметим, что к этому времени Робин Ли создал небольшую поисковую систему RankDex (1996) на базе аналогичной стратегии для ранжирования страниц.

7 сентября 1998 года зарегистрирована компания Google Inc, ставшая через несколько лет мировым гигантом. По статистике около 82% пользователей интернета ищут информацию через поисковик Google, а весь рынок мобильных ОС на 85% состоит из систем Android¹⁴.

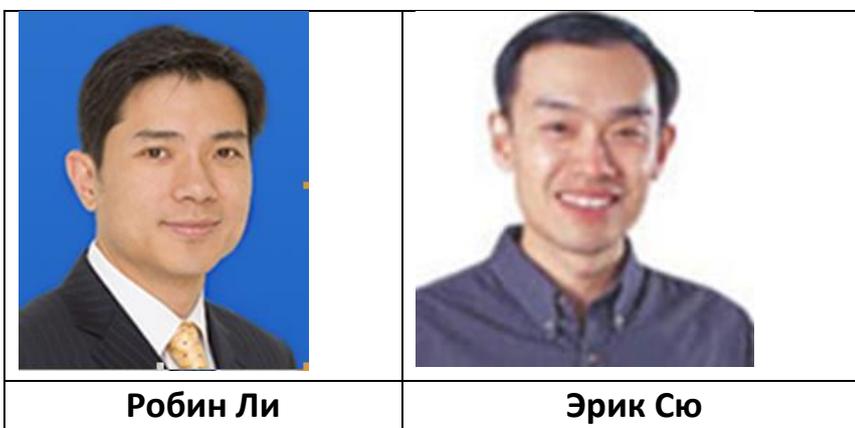
¹⁴ <https://gb.ru/blog/kompaniya-google/>

BAIDU

Робин Ли (Robin Li, 李彦宏, р. 17 ноября 1968)

Эрик Сю (Eric Xu Yong, 徐勇, р. 1964)

Один из крупнейших в мире (4-е место по запросам) поисковик Baidu основали в 2000 году Ли (Robin Li Yanhong) и Сю (Eric Xu Yong). Стартовый капитал в размере \$1.2 млн предоставили венчурные компании. К тому времени Робин Ли стал бакалавром информатики в Пекинском университете и магистром computer science в университете Буффало. Он разработал поисковую систему RankDex, где использовалась стратегия для ранжирования страниц; придуманный им поисковый механизм определял популярность сайта на основе анализа ссылок на него, как и в PageRank (впоследствии технология RankDex была запатентована при создании Baidu в Китае). Этой разработкой заинтересовались в Infoseek, одном из пионеров поисковой индустрии, проработав там два года, Ли со своим другом Сю вернулся в Китай, где они занялись национальным поисковиком. В 2005 году компания осуществила IPO на бирже NASDAQ, при размещении акции Baidu установили рекорд – к концу торговой сессии они подорожали в 4 с лишним раза.



Поисковик Baidu входит в число очень немногих национальных поисковых машин, которые в своей стране опережают по популярности Google. Помимо Китая и России с Яндексом, национальные системы лидируют в Южной Корее (Naver и Daum) и Чехии (Seznam). Кроме того, в Исландии Google проигрывает поисковику Leit.is, а в Японии и на Тайване – Yahoo!Japan и Yahoo!Taiwan соответственно. Не столь успешен во Франции Qwant, его доля не превышает нескольких процентов [12].

ОДНА ГОЛОВА – ТОЖЕ НЕПЛОХО (смотря какая)

И всё же: сколько голов лучше? Футболист на этот вопрос без раздумий ответит: «Чем больше, тем лучше» (если он, конечно, не вратарь). О головах он вряд ли задумается. Но вернёмся к компьютерной индустрии. Выше приведены примеры удачного сочетания пар специалистов, что дало выдающиеся результаты. Но одновременно с гениальными тандемами работали «герои-одиночки», которые также внесли заметный вклад в прогресс. Назовём некоторых.

Гениальный изобретатель Дуглас Энгельбарт получил много патентов, но его наиболее известная разработка – манипулятор «мышь», позволивший перейти от текстового интерфейса к графическому. Новый тип взаимодействия «человек–ЭВМ» сделал работу с компьютером доступной для широкого круга непрограммистов.

Рэй Томлинсон работал над аналого-цифровыми синтезаторами речи, но главное – в 1971 году он объединил удалённых пользователей сети ARPANet посредством электронной почты. Он же предложил символ @ для обозначения принадлежности почтовых адресов определённым хостам.

Российский программист Дмитрий Крюков 8 октября 1996 года сделал себе подарок на день рождения: в сети появилась первая русскоязычная поисковая система Rambler. В следующем году он представил счётчик «Рамблер-Топ-100» – первый рейтинг тогда ещё немногочисленных сайтов рунета и тематический каталог популярных ресурсов.

Предприниматель Джефф Безос является главой издательского дома The Washington Post, создателем аэрокосмической компании Blue Origin, совершившим космический полёт. Но нам он интересен в качестве основателя интернет-компании Amazon. Компания, стартовавшая в 1995 году как книжный онлайн-магазин, сейчас предоставляет огромный ассортимент продуктов и сервисов.

Максим Мошков создал и с ноября 1994 года поддерживает «Библиотеку Максима Мошкова», одну из первых и наиболее известных подобных библиотек в рунете. В то время как, по данным ВЦИОМ, 75% россиян бывают в библиотеках реже одного раза в год или вообще никогда, электронную библиотеку Мошкова Lib.ru ежедневно посещают 300 тысяч человек.

19-летний студент Марк Цукерберг в феврале 2004 года вместе со своими соседями по общежитию запустил социальную сеть Facebook. Сейчас он медиамагнат, интернет-предприниматель, филантроп, соучредитель проекта по разработке космического корабля на солнечных парусах. 24% акций компании Facebook позволили ему стать самым молодым в истории миллиардером.

					
Дуглас Энгельбарт (1925– 2013)	Рэй Томлинсон (1941– 2016)	Дмитрий Крюков (1960– 2009)	Джефф Безос (1964)	Максим Мошков (1966)	Марк Цукерберг (1984)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В компьютерной индустрии время летит быстро. Неузнаваемо изменяются носители информации, элементная база, оборудование, программные инструменты. Что было 10 лет назад, стало уже древней историей, 20 лет назад – древнейшей. Неудивительно, что молодёжь и даже 30–40-летние сограждане практически не знают историю вычислительной техники, даже отечественной. Как-то внук М.А. Карцева (1923–1983), создателя уникальных для своего времени ЭВМ М-4, М-10, М-13, увидев в музее дисковод 1960-х годов, спросил: «Что это за стиральная машина?». При этом в его кармане лежало устройство, на порядки более производительное, чем изобретения его гениального деда. Подобные пробелы в знаниях помогает устранять сайт «Виртуальный компьютерный музей»¹⁵.

Период, начавшийся в 1970-х годах, называют цифровой революцией. Её черты – насыщение вычислительной техникой, повсеместное проникновение интернета, массовое применение персональных коммуникационных устройств. До неузнаваемости изменились как отдельные предприятия, так и целые сегменты – образование, наука, госструктуры, коммуникации, искусство, медицина. В этом

¹⁵ <https://computer-museum.ru>

огромная заслуга героев этой статьи. Их разработки сделали жизнь такой, как она есть, и определили развитие на долгие годы и десятилетия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черемных С.В. Гиглавый А.В., Поляк Ю.Е. От микропроцессоров к персональным ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. 288 с.
2. Поляк Ю.Е. К истории интернета: первые полвека // История науки и техники. 2018. № 12. С. 3–16.
3. Поляк Ю.Е. Избранные работы по информационным технологиям. Saarbrücken, Lambert Academic Publishing, 2018. 637 с.
4. Поляк Ю.Е. Навигационные инструменты в глобальных сетях (краткая история) // Развитие вычислительной техники и её программного обеспечения в России и странах бывшего СССР: Вторая Международная конференция. Великий Новгород: Новгородский технопарк, 2011. С. 253–255.
5. Куликов В.В. Каталог русскоязычных ресурсов «АУ!» Телематика '98, Санкт-Петербург, 8–11 июня 1998 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (технический университет), 1998. С. 334–335.
6. Парахина О.В. Каталоги интернет-ресурсов и их место среди поисковых инструментов // RELARN-2001: Материалы конференции. Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2001. С. 93–96.
7. Поляк Ю.Е., Сигалов А.В. Жёлтые страницы Internet'98: Русские ресурсы. Санкт-Петербург: Питер, 1998. 600 с.
8. Вовченко Т.О. Информационные ресурсы Internet: Краткий справочник. М.: Эко-Трендз, 1996. 60 с. (Технологии электронных коммуникаций; Т. 68).
9. Russian Internet Directory / A. Dybenko, G. Egorova, M. Kabanov [et al.]. М.: ЦЭМИ РАН, МЦНТИ, 1998. 256 р.
10. Ранганатан Ш.Р. Классификация двоеточием. Основная классификация. М.: ГПНТБ СССР, 1970. 422 с.
11. Foskett A.C. The future of faceted classification. // The future of classification / ed. by R. Marcella and A. Maltby. Aldershot: Gower, 2000. P. 69–80.
12. Поляк Ю.Е. Субъективные заметки о поисковых системах // Электронные библиотеки. 2024. Т. 27. № 1. С. 65–97.

TWO HEADS ARE BETTER

Y. E. Polak^[0000-0001-8411-335X]

*Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences,
47 Nakhimovski Pr. Moscow 117418 Russia*

polak@cemi.rssi.ru

Abstract

The paper examines the phenomenon of joint creativity of several authors, and provides examples from various fields of activity. The main attention is paid to information technologies: inventions made at the end of the 20th century are analyzed. Their authors are pairs of outstanding specialists who combined the talents of a programmer and a manager. They determined the further development of the IT industry and radically changed the quality of mankind's way of life. The stories of the emergence of famous computers, operating systems, the World Wide Web, and network navigation tools are briefly described.

Keywords: *information technology, creative tandems, Apple I and II, software, The World Wide Web, Mosaic browser, Internet navigation*

REFERENCES

1. *Cheremnykh S.V., Giglavy A.V., Polak Y.E.* From microprocessors to personal computers. Moscow: Radio and Communications, 1988. 288 p.
2. *Polak Y.E.* On the history of the Internet: the first half century // History of science and technology. 2018. No. 12. P. 3–16.
3. *Polak Y.E.* Selected papers on information technology. Saarbrücken, Lambert Academic Publishing, 2018. 637 p.
4. *Polak Y.E.* Navigation tools in global networks (a brief history) // Development of computing technology and its software in Russia and the former USSR: Second International Conference. Veliky Novgorod: Novgorod Technopark, 2011. P. 253–255.
5. *Kulikov V.V.* Catalog of Russian-language resources "AU!". St. Petersburg: St. Petersburg State Institute of Precision Mechanics and Optics (Technical University), 1998. P. 334–335.

6. *Parakhina O.V.* Catalogs of Internet resources and their place among search tools // RELARN-2001: Conference Proceedings. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2001. P. 93–96.

7. *Polak Y.E., Sigalov A. V.* Yellow Pages of Internet'98: Russian resources. St. Petersburg: Piter, 1998. 600 p.

8. *Vovchenko T.O.* Information resources of the Internet: Brief reference book. M.: Eco-Trends, 1996. 60 p. (Technologies of electronic communications; V. 68).

9. Russian Internet Directory / A. Dybenko, G. Egorova, M. Kabanov [et al.]. M.: CEMI RAS, MCNTI, 1998. 256 p.

10. *Ranganathan S.R.* Colon classification. The main classification. M.: GPNTB SSSR, 1970. 422 p.

11. *Foskett A.C.* The future of faceted classification. // The future of classification / ed. by R. Marcella and A. Maltby. Aldershot: Gower, 2000. P. 69–80.

12. *Polak Y.E.* Subjective notes on search engines // Electronic libraries. 2024. T. 27. No. 1. P. 65–97.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ПОЛЯК Юрий Евгеньевич – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник Центрального экономико-математического института РАН. Подробнее: <http://computer-museum.ru/articles/soviet-muzeya/561/>

Yuri Evgenievich POLAK – Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher, Central Economics and Mathematics Institute. Moscow, Russia. More detailed: <http://computer-museum.ru/articles/soviet-muzeya/561/>

email: polak@cemi.rssi.ru

ORCID: 0000-0001-8411-335X

Материал поступил в редакцию 18 ноября 2024 года

ДОСТУПНЫЙ ИНТЕРНЕТ: ОТ ИНИЦИАТИВЫ WAI К РОССИЙСКОЙ ПРАКТИКЕ

Т. А. Полилова^[0000-0003-4628-3205]

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук, Миусская пл., 4, Москва, 125047*

polilova@keldysh.ru

Аннотация

Уже много лет консорциум W3C (World Wide Web Consortium) продвигает проект WAI (Web Accessibility Initiative), основной лозунг которого сформулирован как «Делаем веб доступным». В рамках инициативы WAI публикуются рекомендации WCAG (Web Content Accessibility Guidelines), помогающие разработчикам веб-сайтов учесть потребности людей с ограничениями по здоровью. В Российской Федерации разработан ГОСТ Р 52872-2019, основанный на рекомендациях WCAG. Некоторые положения ГОСТа Р 52872-2019 представлены в настоящей работе.

Закон № 181-ФЗ о социальной защите инвалидов, действующий с 1995 г., устанавливает норму, в соответствии с которой разработчики информационных ресурсов должны создавать инвалидам условия для беспрепятственного пользования средствами связи и информации. Общие положения закона № 181-ФЗ реализуются в директивных документах профильных ведомств. В настоящей работе рассмотрены положения приказа Минцифры 2023 г., определяющие порядок представления информации на сайтах организаций в виде, удобном для восприятия людьми с проблемами зрения и слуха. Положения упомянутого приказа Минцифры стимулируют разработчиков сайтов организаций, подведомственных органам управления в РФ разного уровня, обеспечивать достаточную контрастность текста, придерживаться адаптивного дизайна, оснащать нетекстовые объекты текстовым слоем или комментариями, упрощая работу инвалидов в интернете и способствуя развитию инструментов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: инициатива WAI, рекомендации WCAG, ГОСТ Р 52872-2019, цифровой контент, доступность для людей с ограничениями по здоровью

ВВЕДЕНИЕ

Первые годы своего развития интернет активно привлекал пользователей новыми техническими новинками: электронной почтой, мировой паутиной World Wide Web, где были размещены разнообразные текстовые и мультимедиа ресурсы. Но приходится констатировать, что долгое время многие сайты и инструменты веба создавались без учета возможностей людей с ограничениями по здоровью. Проблема доступности цифрового контента для таких людей охватывает многие аспекты, связанные с восприятием информации, размещенной в интернете.

В частности, для людей с ослабленным зрением важно, чтобы текст на экране обладал достаточной контрастностью. Таким пользователям будет полезна возможность увеличить на экране размер шрифта или изменить гарнитуру. Для слабовидящих людей полезна возможность озвучивания текстовой информации. Напротив, глухим людям желательно получить текстовый комментарий для звукового объекта. Содержательную видеозапись желательно сопровождать текстовой версией ведущейся дискуссии, которая позволяет более внимательно проанализировать выступления в темпе, удобном для пользователя.

Современные технологии предоставляют разработчикам сайтов разнообразные инструменты визуализации информации, создания коллажей, динамических цветовых и звуковых эффектов. Чтобы привлечь внимание пользователя, дизайнеры могут применять эффекты высокочастотного мигания или смены картинок, не задумываясь о том, как такие эффекты влияют на людей с чрезмерной возбудимостью и психическими отклонениями.

Создание комфортных условий работы в интернете для пользователей, имеющих те или иные ограничения по здоровью, является для разработчиков интернет-ресурсов важной гуманитарной миссией [1].

ИНИЦИАТИВА WAI И РЕКОМЕНДАЦИИ WCAG

Уже много лет консорциум World Wide Web Consortium (W3C) продвигает проект Web Accessibility Initiative (WAI) [2], основной лозунг которого можно сформулировать как «Делаем веб доступным» (Making the Web Accessible) (рисунок 1).

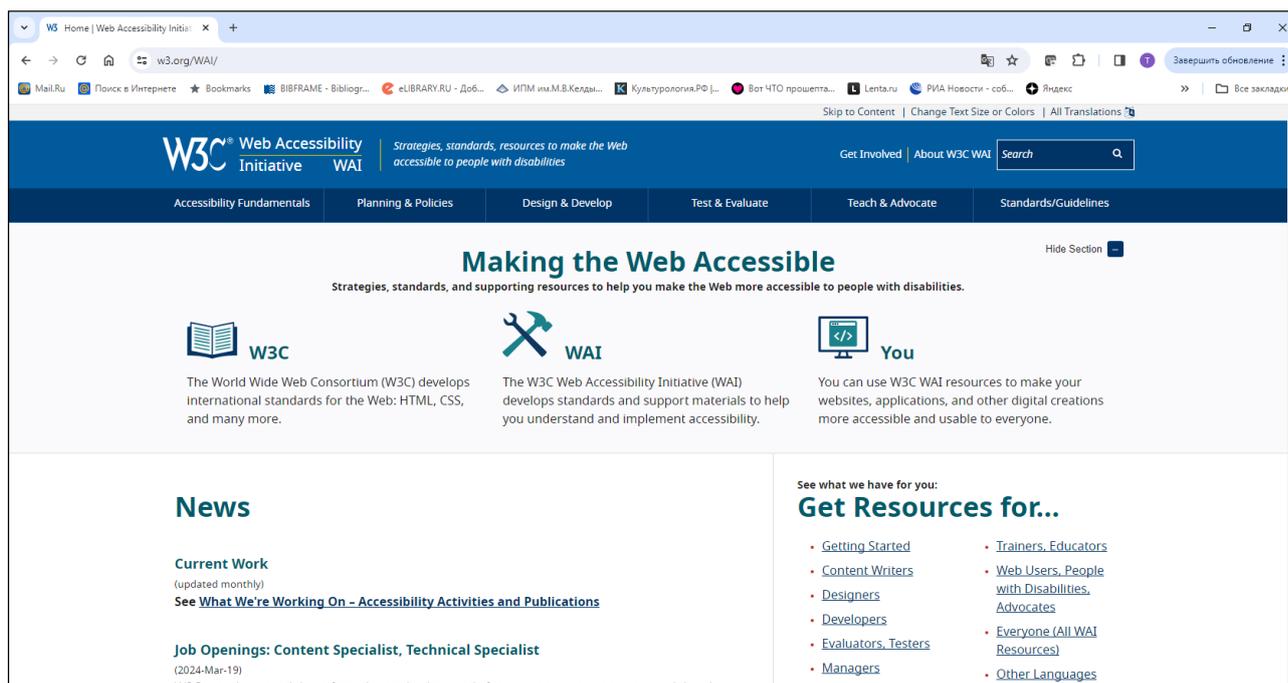


Рис. 1. Сайт проекта W3C Web Accessibility Initiative (WAI)

В рамках инициативы WAI разрабатываются стратегии, рекомендации, стандарты, средства разработки приложений, ресурсы, помогающие создателям сайтов учесть потребности людей с ограничениями по здоровью. Руководство Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) [3], разработанное консорциумом W3C, стало фактически международным стандартом, на который ориентируются создатели веба при разработке или обновлении политик доступности информации в интернете.

Рекомендации и ресурсы, подготовленные в рамках инициативы W3C WAI, ориентированы на разные категории разработчиков: авторов текстового контента, веб-дизайнеров, специалистов в области подготовки графических, аудио- и видеоматериалов и др. На проблемы обеспечения доступности информации должны обращать внимание программисты, тестировщики, менеджеры, руководители разработок. Такая коллективная работа специалистов всех направлений и уровней ответственности обеспечивает создание интернет-контента, удовлетворяющего требованиям определенного уровня доступности.

Рекомендации WCAG позволяют включить в зону внимания создателей интернет-ресурсов вопросы, связанные с соблюдением интересов людей, имеющих

те или иные ограничения по здоровью. Предлагая пользователям какой-либо инструмент или ресурс, разработчикам следует позаботиться о том, будет ли этот контент доступен, например, инвалидам по зрению, людям с ослабленным слухом, нарушениями интеллектуального и эмоционального развития.

В то же время разработчики проекта W3C WAI и рекомендаций WCAG констатируют, что, несмотря на широкий круг рассмотренных вопросов, предлагаемые подходы не способны удовлетворить потребности людей со всеми типами и степенями ограничений по здоровью. Рекомендации WCAG являются достаточно объемными, но одновременно и неполными.

ГОСТ Р 52872-2019

На основе и в стилистике руководства WCAG создан российский ГОСТ Р 52872-2019 «Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-цифровой форме. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности» [4]. Возможно, именно по причине следования традиции изложения положений WCAG текст ГОСТа Р 52872-2019 иногда воспринимается как излишне формалистический, хотя строгая «тематическая» формализация в нем отсутствует.

ГОСТ Р 52872-2019 предназначен для специалистов, занимающихся проектированием, разработкой и развитием цифровых материалов для размещения в интернете в контексте обеспечения доступности контента для людей с ограничениями по здоровью.

Этот ГОСТ основан на версии рекомендаций WCAG 2.1, актуальной на момент его принятия. В основе доступности цифрового контента лежат четыре принципа. Контент должен быть:

- воспринимаемым,
- управляемым,
- понятным,
- надежным.

Проиллюстрируем принцип воспринимаемый контент на примере оформления текстовой информации на веб-странице. ГОСТ рекомендует представлять текстовые блоки в том виде, в котором пользователи смогут их полноценно воспринять.

Форматирование текста

Какие требования выдвигает ГОСТ к форматированию текста?

- Для удобства слабовидящих ГОСТ рекомендует в текстовых блоках устанавливать ширину строки не более 80 символов для обычного шрифта размером 14 пунктов. Для увеличенного текста (с обычным шрифтом размером 18 пунктов или полужирным шрифтом размером 14 пунктов) число символов в строке лучше делать меньше.

- Не рекомендуется выравнивать строки в абзаце по ширине, т. е. одновременно слева и справа. Это требование, по-видимому, связано с тем, что в строках могут появляться большие интервалы между словами.

- Межстрочный интервал в абзаце как минимум в полтора раза больше размера шрифта.

- Интервал между абзацами как минимум в два раза больше размера шрифта;

- Интервал между словами составляет как минимум 0,16 от размера шрифта.

Контрастность

Здесь под контрастностью текста на экране понимается соотношение цвета шрифта и цвета фона. Наиболее комфортные условия чтения создаются в том случае, когда на сайте используется черный цвет для текста на белом фоне. Такая комбинация имеет наибольшую контрастность. Однако в последнее время появилась тенденция представлять на сайтах текстовые блоки в светло-сером или светло-голубом цветах с невысокой контрастностью. Такой малоконтрастный текст трудно воспринимается слабовидящими.

Существуют программы, которые умеют определять значение контрастности цвета текста на фоне заданного цвета, но в ГОСТе нет ссылок на такие программы, хотя в интернете можно найти десятки программ, определяющих контрастность одного цвета на фоне другого. Как можно померить контрастность шрифта на заданном фоне веб-страницы? Наиболее простой алгоритм действий состоит в следующем: нужно сделать скриншот сайта, поместить его в графический редактор, например, Photoshop, и с помощью несложных манипуляций определить шестнадцатеричный код цвета шрифта и цвета фона. Программа типа

Contrast Checker, имея два шестнадцатеричных кода, определит контрастность цвета шрифта по отношению к цвету фона. Коэффициент контрастности – запись в виде двух значений контрастности (шрифта и фона), разделенных двоеточием.

ГОСТ устанавливает минимальные требования по контрастности текста:

- Визуальное отображение текстовой информации и текст на изображениях имеют коэффициент контрастности не менее 4,5:1.
- Текст, набранный крупным шрифтом, и графическое представление текста имеют коэффициент контрастности не менее 3:1.

В ГОСТе описаны более строгие (расширенные) требования по контрастности:

- Визуальное отображение текстовой информации и графическое представление текста имеют коэффициент контрастности не менее 7:1.
- Текст, набранный крупным шрифтом, и графическое представление текста имеют коэффициент контрастности не менее 4,5:1.

Нетрудно заметить, что визуальное восприятие контрастности цвета шрифта зависит и от размера, и от жирности шрифта. На сайте корпорации W3C <https://www.w3.org/TR/UNDERSTANDING-WCAG20/visual-audio-contrast-contrast.html> даны соответствующее разъяснение и следующая установка. Большие шрифты не менее 18 пунктов, а также полужирные шрифты не менее 14 пунктов, имеющие контрастность не менее 3:1, удовлетворяют высокому уровню контрастности, а если они имеют контрастность не менее 4,5:1, то удовлетворяют наивысшему уровню контрастности в терминах ГОСТа.

В ГОСТе нет упоминаний о гарнитуре и насыщенности шрифтов, хотя для слабовидящих есть удобные или неудобные для чтения гарнитуры шрифтов. Гарнитурой называют объединение шрифтов, отличающихся по начертанию и кеглю (размеру), но одинаковых по характеру рисунка.

Разработчики веб-страницы часто используют на странице экзотические шрифты, руководствуясь соображениями дизайна. Далеко не все шрифты подходят для сайта. Есть шрифты с засечками, которые широко используются при издании книжной продукции. Примером такого шрифта является шрифт гарнитуры Times New Roman. Но в книгах используются и шрифты без засечек — рубленные

гарнитуры. Пример такого шрифта — Arial. Рублеными шрифтами набирают детские книги — это определено соответствующим государственным стандартом и санитарными нормами. В них нет отвлекающих элементов, поэтому ребёнку легко читать буквы.

На сайтах в интернете дизайнеры советуют использовать шрифты без засечек. Такие шрифты улучшают читабельность текста, потому что электронный формат чтения значительно отличается от печатного. Гарнитура шрифта на сайте требует упрощения. Шрифты рубленой гарнитуры снижают зрительную нагрузку и более удобны для восприятия.

Есть и другая рекомендация для выбора гарнитуры шрифта для сайта. Большой объем текста лучше читается в гарнитуре с засечками. Небольшие текстовые блоки и заголовки лучше оформлять рубленными шрифтами (<https://www.b17.ru/article/serif-or-sans-serif/?ysclid=lx3grbewdb198014153>).

Обратим внимание, что восприятие контрастности шрифта зависит также от насыщенности шрифта. Насыщенность передается толщиной линий в буквах. На сайте

<https://typodesign.ru/pervyj-kurs-tipografiki/registr-nasyshenost-contrast/?ysclid=lx6hkq9wcb711890987>

дано следующее определение: насыщенность литеры в шрифте определяется толщиной штриха по отношению к ее высоте. В большинстве гарнитур представлены светлые, нормальные, полужирные, жирные, сверхжирные шрифты (рисунок 2). Встречаются ультрасветлые и черные шрифты.

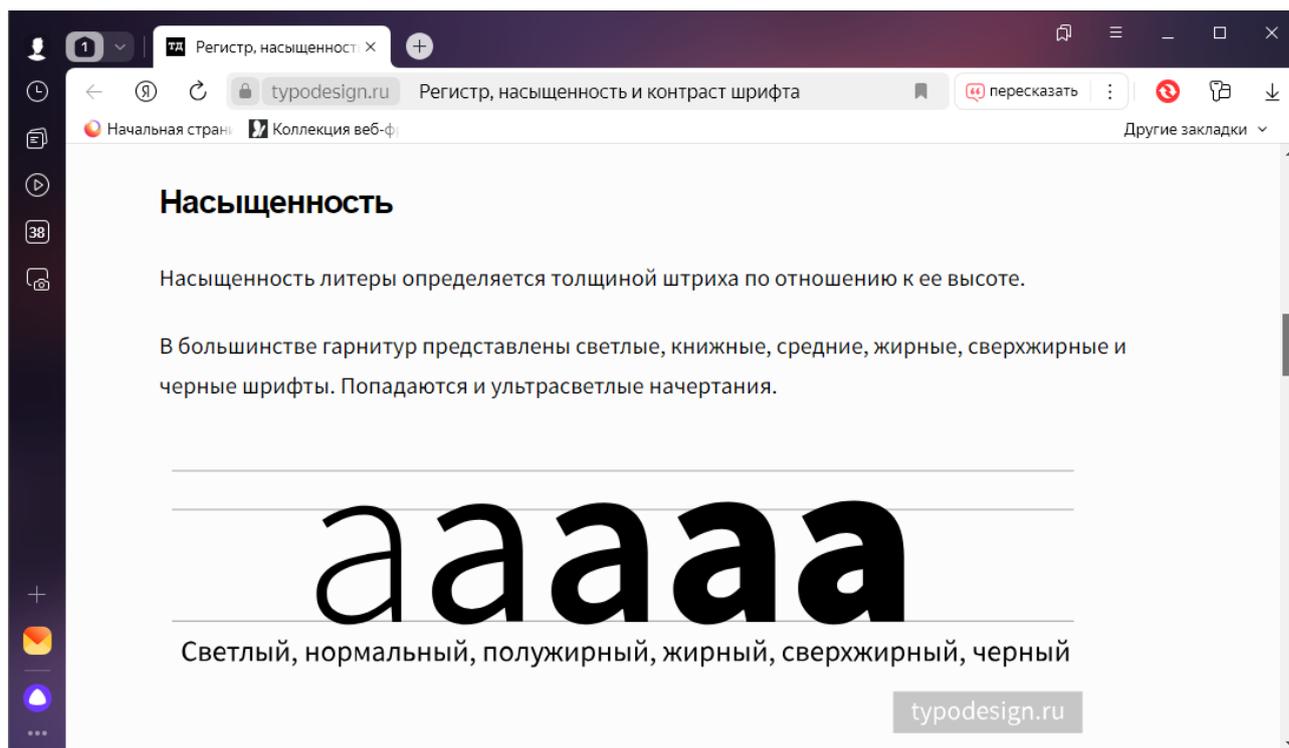


Рис. 2. Насыщенность литеры в шрифте

Панель с настройками для слабовидящих

ГОСТ вводит понятие «альтернативная версия веб-страницы», которая ориентирована на людей с проблемами по здоровью, в частности, слабовидящих. На альтернативную версию можно перейти с «обычной» страницы сайта, ориентированной на широкий круг пользователей. Должен быть доступен переход с альтернативной страницы на «обычную».

Альтернативная версия не обязана содержать столько же страниц контента, что и «обычная». Например, соответствующая альтернативная версия одной оригинальной страницы может быть представлена в виде нескольких страниц. На практике разработчики сайтов создавали специальную панель, на которой задавались настройки веб-страницы с целью создания более комфортных условий для работы слабовидящих. Панель позволяет выбрать размер шрифта, цвет фона сайта, гарнитуру шрифта, интервал между буквами (кернинг), цветовую схему сайта и пр. Пример такой панели, реализованной на сайте kremlin.ru, приведен на рисунке 3.

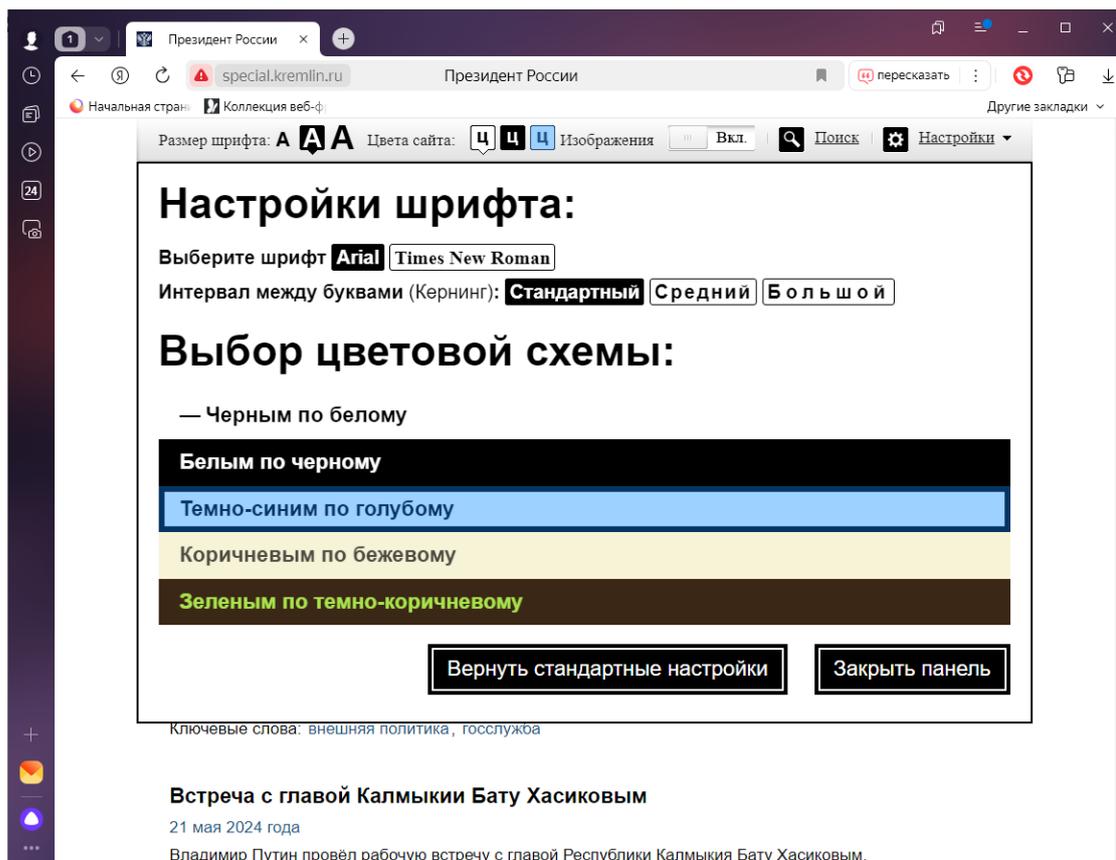


Рис. 3. Панель управления настройками для слабовидящих на сайте kremlin.ru

Посетители сайта kremlin.ru могут вызвать панель нажатием кнопки «глаз» на основной версии сайта. На появившейся панели посетитель может выбрать:

- размер шрифта обычный, средний, большой;
- режим с картинками и без картинок;
- шрифт Arial (без засечек) или Times New Roman (с засечками);
- интервал между буквами (кернинг) стандартный, средний, большой;
- цветовую схему сайта:
 - белый цвет шрифта на черном фоне,
 - темно-синий цвет шрифта на голубом фоне,
 - коричневый цвет шрифта на бежевом фоне,
 - зеленый цвет шрифта на коричневом фоне;

Посетитель может вернуть стандартные настройки и закрыть панель.

Многие государственные сайты уже внедрили решения для слабовидящих пользователей. Вот несколько примеров:

kremlin.ru — официальный сайт Президента Российской Федерации.

cbr.ru — Центральный банк Российской Федерации.

sfr.gov.ru — Социальный фонд России.

digital.gov.ru — Министерство цифрового развития.

rzd.ru — официальный сайт ОАО "Российские железные дороги".

Унифицированного решения в части создания панели для слабовидящих пока не сложилось. Здесь разработчики сайтов создают панели, руководствуясь своими представлениями о приоритетных потребностях слабовидящих, с оглядкой на имеющийся ГОСТ. На рисунке 4 представлена панель для слабовидящих на сайте keldysh.ru.

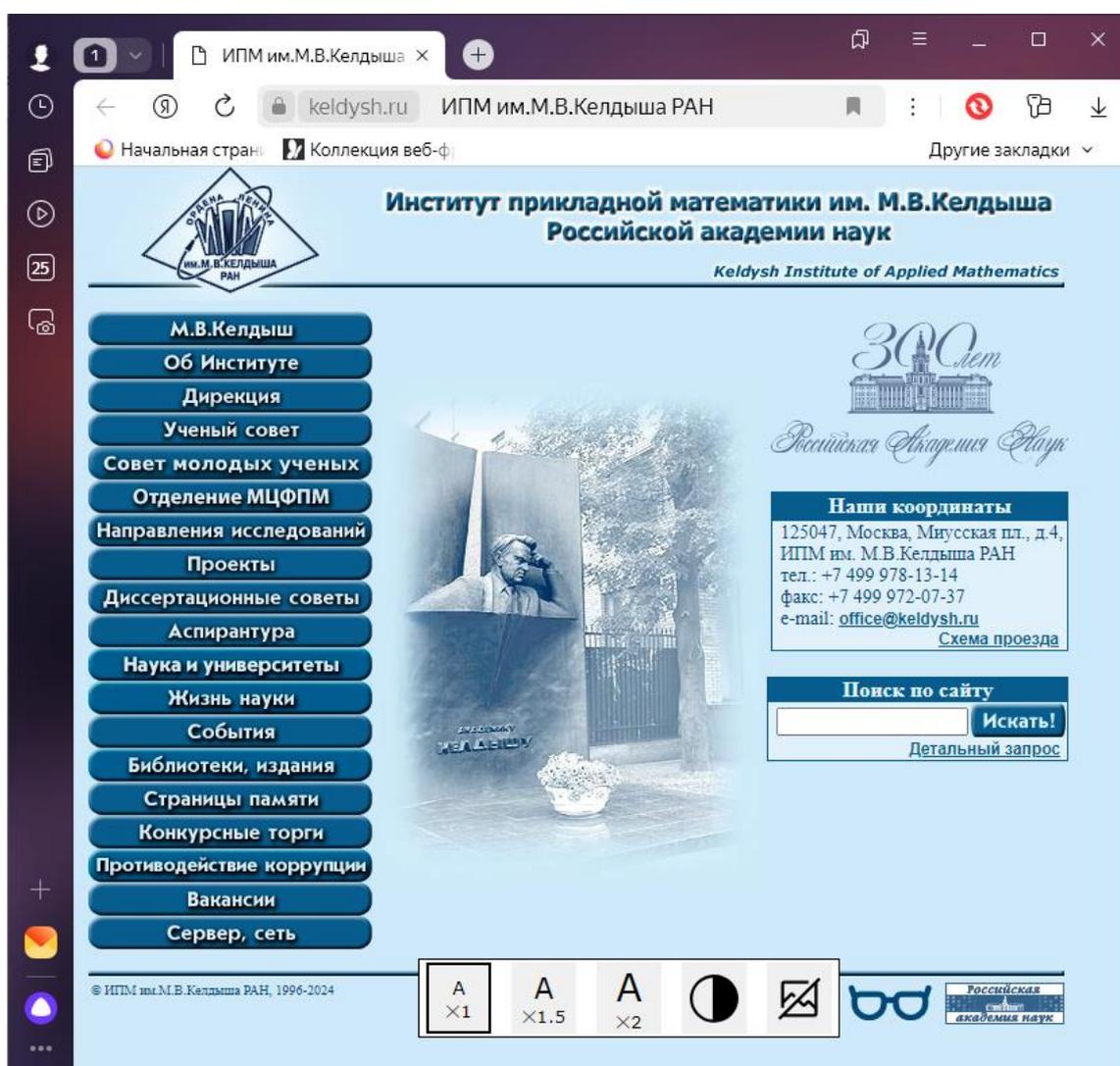


Рис. 4. Панель управления настройками для слабовидящих на сайте keldysh.ru.

На сайте keldysh.ru в нижней части экрана размещена кнопка вызова панели для слабовидящих — «очки». При нажатии на эту кнопку в нижней части экрана появляется панель для слабовидящих со следующими настройками:

- увеличить шрифт в 1,5 или 2 раза;
- черно-белый режим экрана;
- без картинок.

Увеличение шрифта

Слабовидящим пользователям должна быть предоставлена возможность увеличить шрифт в текстовых объектах. ГОСТ декларирует, что слабовидящий должен иметь возможность увеличить размер шрифта текста до 200 % без потери контента или функциональности. ГОСТ констатирует, что такое увеличение шрифта должно происходить без применения вспомогательных технологий. Разберемся с этим понятием.

Вспомогательная технология — это аппаратное и программное обеспечение, применяемое пользователем с ограничениями жизнедеятельности отдельно или совместно с основным аппаратно-программным комплексом для обеспечения функциональности, не достижимой с помощью обычных аппаратных и программных средств.

Из приведенного определения следует, что вспомогательные технологии создаются тогда, когда основные технологии, ориентированные на широкий круг пользователей, не обладают функциональностью, нужной для людей с ограничениями по здоровью.

Вспомогательные технологии в соответствии с ГОСТом включают в себя:

- программы увеличения экрана, которые, как правило, содержат и другие инструменты, помогающие слабовидящим лучше воспринимать визуальную информацию;
- программы преобразования текста в речь;
- программы речевого ввода;
- специальные устройства ввода информации и управления экраном;
- и т. д.

Различие между вспомогательными и основными технологиями не является абсолютным. Многие пользовательские приложения, рассчитанные на широкий круг потребителей, имеют функции, полезные для людей с ограничениями жизнедеятельности. Таким качеством обладают, в частности, современные браузеры.

Возможности браузера для слабовидящих

Рассмотрим возможности, предусмотренные браузерами, на примере Яндекс Браузера (<https://yandex.ru/support2/browser-mos/ru/about/accessibility>) (рисунок 5).

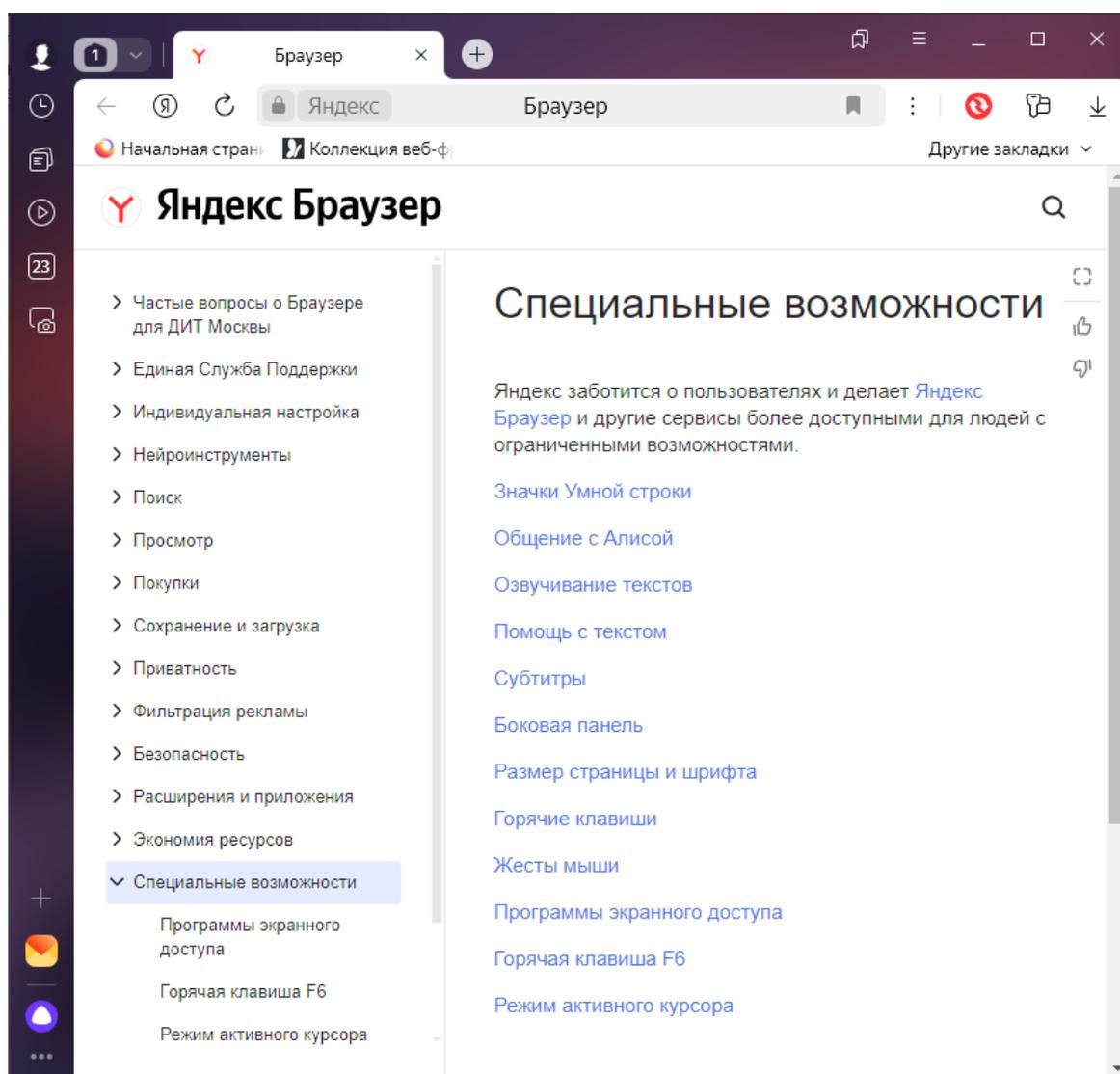


Рис. 5. Экран с настройками в Яндекс Браузере

Для начала рассмотрим предлагаемые механизмы увеличения масштаба страницы.

- Практически все браузеры, в том числе Яндекс Браузер, изменяют масштаб страницы с помощью клавиш Control и «+»/Control и «-».
- В меню браузера (три вертикально расположенные точки в верхней правой части страницы) с помощью нажатия кнопок плюс или минус можно увеличить/уменьшить масштаб страницы.
- Масштаб также можно увеличить или уменьшить с помощью прокручивания колесика «мыши» при нажатой клавише Control.
- Можно через меню (три полоски в правой части верхней строки браузера выбрать позицию «Настройки», далее в левом вертикальном меню выбрать «Сайты» и нужный масштаб страниц). На этой же странице можно выбрать размер шрифта: очень мелкий, мелкий, средний, крупный, очень крупный. Можно выбрать гарнитуру для стандартного шрифта, выбрать шрифт с засечками, без засечек или моноширинный шрифт.

Яндекс Браузер активно внедряет инструменты искусственного интеллекта (ИИ). Инструмент нейросети YandexGPT — нейроредактор. При работе с текстом он позволяет улучшить текст: сделать перевод, пересказ, озвучивание или творческую обработку текста.

В Яндекс Браузер встроен голосовой помощник Алиса. Алиса поможет найти информацию в интернете, сообщит о новостях и погоде, подберет музыку, запустит программу. Инструменты ИИ весьма перспективны. Нейросеть постоянно обучается и имеет шанс превратиться со временем в полезного помощника человека, в том числе пользователя с ограничениями по здоровью.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ WINDOWS

В операционной системе Windows доступ к настройкам параметров для людей с ограниченными возможностями осуществляется через кнопку «Пуск»:

Пуск —> Параметры —> Специальные возможности

На экране появляется панель, где можно установить нужные параметры (рисунок 6).

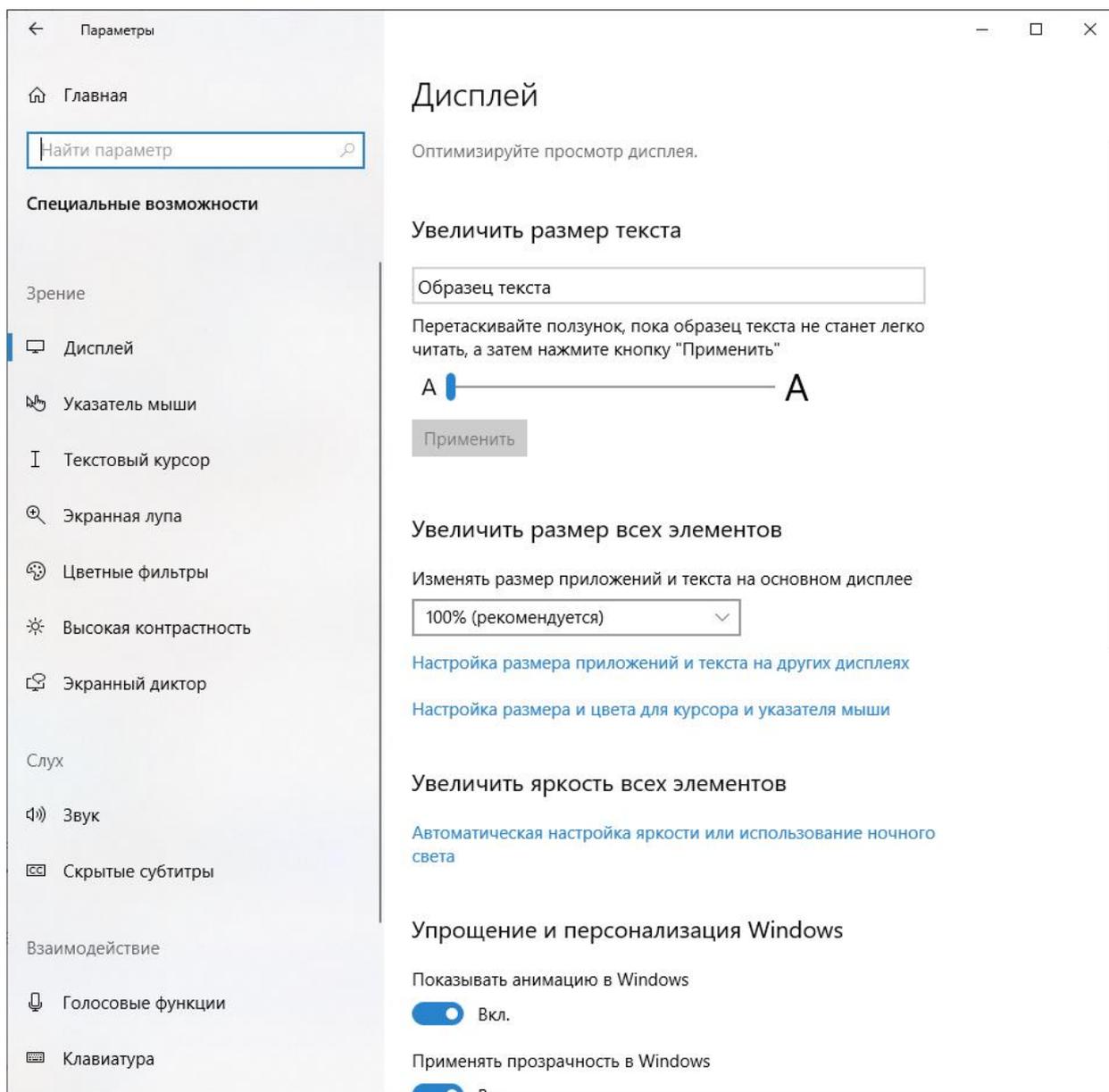


Рис. 6. Панель со специальными настройками в Windows.

Перечислим и прокомментируем некоторые позиции в левом меню настроек, представляющие интерес для людей с ослабленным зрением. Панель позволяет:

- передвигая ползунок, увеличить размер шрифта, ориентируясь на образец текста;
- изменить размер, цвет указателя «мыши» и скорость перемещения курсора, установить визуальную реакцию для точек касания указателя;

- включить экранную лупу для увеличения участков экрана, перемещаемую указателем «мыши»;
- включить и настроить режим высокой контрастности;
- включить и настроить режим экранного диктора, помогающего получить звуковую информацию о содержимом экрана и элементам управления;
- установить цветовой фильтр, чтобы лучше видеть элементы на экране, при этом можно настроить экран для людей, страдающих определенными формами дальтонизма.

ЗАКОН О СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ ИНВАЛИДОВ В РФ

В Российской Федерации тема соблюдения интересов инвалидов получила свое развитие на законодательном уровне. В 1995 году был принят закон «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» № 181-ФЗ [5]. Этот закон действует и в настоящее время. О соблюдении интересов инвалидов в информационной сфере можно прочитать в Статье 15 «Обеспечение беспрепятственного доступа инвалидов к объектам социальной, инженерной и транспортной инфраструктур». Процитируем соответствующие разделы этой статьи закона.

Федеральные органы государственной власти, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления (в сфере установленных полномочий), организации независимо от их организационно-правовых форм обеспечивают инвалидам ...:

2) условия для беспрепятственного пользования ... средствами связи и информации ...;

Можно также процитировать раздел статьи 15.1 «Оценка соблюдения обязательных требований к обеспечению доступности для инвалидов объектов социальной, инженерной и транспортной инфраструктур и предоставляемых услуг».

Соблюдение требований настоящего Федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации,

законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации, изданных в целях обеспечения доступности для инвалидов объектов ... обеспечивается посредством осуществления: ...

7) федерального государственного контроля (надзора) в области связи;

И, наконец, имеет смысл привести статью 16 «Ответственность за уклонение от исполнения требований к созданию условий для беспрепятственного доступа инвалидов к объектам социальной, инженерной и транспортной инфраструктур».

Юридические и должностные лица за уклонение от исполнения предусмотренных настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами требований к созданию условий инвалидам для... беспрепятственного пользования ... средствами связи и информации несут административную ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

В отличие от рекомендаций W3C WAI, WCAG и ГОСТа Р 52872-2019, рассмотренных в предыдущих разделах, приведенные положения закона 181-ФЗ обязательны к выполнению. Несмотря на то, что формулировки закона напрямую не используют современные термины, такие общие формулировки как «средства связи и информации» вполне могут трактоваться как «интернет», «веб-страница», «сайт». Основной посыл в приведенных выдержках закона 181-ФЗ в современном прочтении может звучать так же, как и лозунг проекта W3C WAI: «Делаем интернет доступным для инвалидов».

Статья 15.1, выдержки из которой процитированы выше, упоминает обязательность выполнения не только требований закона 181-ФЗ, но и иных нормативно правовых актов, связанных с защитой интересов инвалидов. Контроль выполнения таких требований, в частности, в области связи и интернета, выполняет соответствующий государственный орган — Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минцифры).

ПРИКАЗ МИНЦИФРЫ ОТ 07.11.2023 № 953

Приказ Минцифры от 07.11.2023 № 953 «Об утверждении Порядка обеспечения условий доступности для инвалидов по зрению официальных сайтов государственных органов, органов местного самоуправления и подведомственных организаций в информационно-телекоммуникационной сети Интернет» можно найти на официальном Портале правовой информации [6]. В этом приказе сформулированы требования к адаптации сайтов органов управления государством и подведомственных организаций для обеспечения доступности веб-контента для слабовидящих граждан. Разумеется, этот приказ не исчерпывает весь спектр приказов ведомств, касающихся защиты интересов инвалидов при работе с информационными объектами, размещенными в интернете. Однако рассмотрение всех разнообразных директивных документов на тему защиты интересов инвалидов не входит в задачу данной работы.

Приказ Минцифры № 953 вступил в силу с 1 сентября 2024 г. Приказ вводит в действие новый Порядок обеспечения доступности для инвалидов по зрению информации на официальных сайтах (далее — Порядок). Особенность предлагаемого Порядка состоит в том, что при описании требований к сайту в контексте задачи обеспечения доступности информации для инвалидов широко использованы отсылки к соответствующим пунктам ГОСТа Р 52872-2019.

Порядок содержит три пункта. В пункте 1 перечислены требования к сайту. В пункте 2 содержится директива об обязательном исполнении положений пункта 1. В пункте 3 содержится указание на обеспечение возможности пользователям сайта направлять обращения в адрес организации.

Ниже приведено содержание нескольких подпунктов пункта 1 Порядка. Цитируя очередной подпункт, мы также приводим связанные с данным подпунктом сноски, содержащие отсылки к положениям ГОСТа Р 52872-2019.

Становятся ли обязательными для исполнения пункты ГОСТа, упомянутые в сносках? В данном случае ведомственный приказ не может отменить положение закона о стандартизации в РФ [7], закрепляющее добровольное следование положениям государственного стандарта. На наш взгляд, положения ГОСТа не могут стать обязательными к исполнению, если они явно не процитированы в разделах

Порядка. Следование ГОСТу Р 52872-2019 по-прежнему носит добровольный характер. Ссылки на ГОСТ используются в приказе Минцифры прежде всего для ориентирования читателя, создания контекста для понимания подпунктов Порядка. Но, возможно, некоторые ссылки имеют директивный акцент. Разработчики сайтов в этом случае самостоятельно могут принимать решение о выполнении тех или иных положений Порядка, трактуя указания в узком или широком контекстах.

Первый подпункт а) о беспрепятственном доступе к сайту с клавиатуры или при помощи вспомогательных технологий опускаем.

Далее цитируем.

б) текстовая информация, размещенная на официальном сайте, масштабируется не менее чем на 200 процентов от исходного масштаба интернет-страницы без применения вспомогательных технологий, без потери функциональности и без появления горизонтальной полосы прокрутки.

Напомним, что в ГОСТе Р 52872-2019 вспомогательные технологии трактуются как технологии, направленные на узкий круг потребителей, имеющих определенные ограничения жизнедеятельности. Этим вспомогательные технологии отличаются от основных технологий, ориентированных на широкий круг пользователей. В такой трактовке средства браузера по масштабированию сайта относятся к основным технологиям. Таким образом, пункт б) предписывает масштабирование текстовой информации средствами браузера, а не с помощью специальной панели для слабовидящих (такие панели появились на некоторых сайтах для выполнения требований ГОСТа и предыдущего аналогичного приказа Минцифры от 2022 г.).

В браузерах предусмотрены средства увеличения/уменьшения масштаба сайта. Если разработчики сайта реализовали сайт с использованием технологии адаптивного веб-дизайна, то при изменении масштаба сайта до 200% горизонтальная линейка прокрутки, как правило, не появляется. Такие адаптивные сайты допускают и более значительное увеличение масштаба, но при этом может измениться дизайн веб-страницы, например, возможен отказ от двух или трех коло-

нок. Однако разработчики сайта не обязательно в одной и той же пропорции увеличивают размер шрифта во всех текстовых блоках. Заметим, что целью адаптивного веб-дизайна является в первую очередь правильное отображение содержимого сайта на разных по размеру экранах (окнах браузера) и для различных устройств (компьютера, планшета, смартфона).

Подпункт б) требует от разработчиков алгоритмов адаптивного дизайна не включать горизонтальную прокрутку при масштабировании текстовой информации до 200%. На рисунке 7 показан пример сайта (<https://www.rush-analytics.ru/blog/adaptivnyj-dizajn-sajta-cto-eto-takoe-kak-sdelat-verstku-principy-i-primery-adaptivnosti-veb-stranicz?ysclid=lwezxwyz1c740032043>), выполняющего это требование.

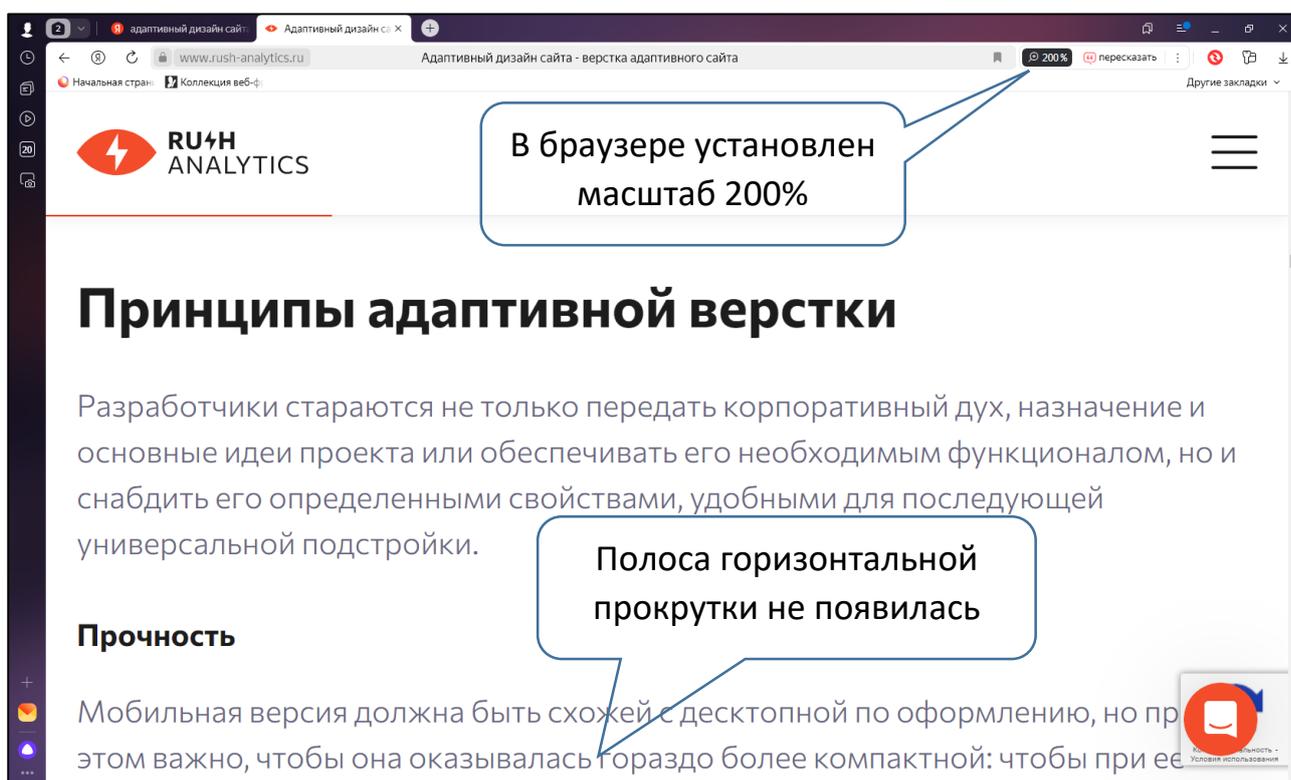


Рис. 7. Сайт с адаптивной версткой: при масштабировании сайта средствами браузера полоса горизонтальной прокрутки не появляется.

Порядок, вводимый приказом Минцифры 2023 г., определяет следующий доступ к файлам PDF:

в) документы формата PDF, а также иные документы, представленные на официальном сайте, доступны для чтения при помощи вспомогательных технологий, включая программы экранного доступа ...

С помощью программ экранного доступа незрячие люди могут получать информацию с экрана компьютера путем озвучивания текстовых объектов. Поэтому важно, чтобы файлы PDF, размещенные на сайте, имели текстовый слой. В частности, подобный подход помогает технологиям ИИ «понимать» информацию на сайте и строить семантические модели, которые могли бы помочь людям с ограничениями здоровья воспринимать информацию.

Рассмотрим и прокомментируем подпункт г).

г) нетекстовая информация, размещенная на официальном сайте, представлена в альтернативной версии, доступной для чтения при помощи вспомогательных технологий, включая программы экранного доступа⁴;
(Ссылка 4 на раздел 4.1.1. пункта 4.1 ГОСТ Р 52872-2019).

В данном пункте, по-видимому, имеется в виду возможность создания альтернативной версии сайта, ориентированной на людей с ограничениями по здоровью. Такая альтернативная версия должна позволять пользователю, в частности, с проблемами слуха, читать текстовые комментарии, сопровождающие видеозапись. Это требование создает заметные трудности для разработчиков сайтов, накопивших большие объемы видеоматериалов. Большим подспорьем становится создание базовых технологий на уровне браузера или операционной системы автоматического оснащения видео- и звуковых объектов текстовыми комментариями. В этом направлении активно ведутся исследования и разработки. Так, уже сейчас предложена бесплатная программа Google Docs Voice Typing конвертации речи в текст. Эта программа решает вполне утилитарную задачу — облегчить набор текста с помощью голоса. В программе есть около сотни голосовых команд, которые позволяют вносить правки и форматировать текст.

Подпункт е) опускаем. Цитируем далее.

ж) информация, размещенная на официальном сайте, соответствует критериям оптимальной контрастности, предусмотренным национальным стандартом Российской Федерации⁷;

(Ссылка 7 на подпункт 4.1.4 пункта 4.1 раздела 4 ГОСТа Р 52872-2019).

В подпункте ж) в ссылке 7 указаны абзацы тринадцатый — шестнадцатый и семидесятый — семьдесят второй из пункта «4.1.4 Различимость». Поскольку в тексте ГОСТа отсутствует нумерация абзацев, установить, где именно находятся указанные абзацы, не удастся. В подпункте 4.1.4 есть два подпункта с численными значениями требуемой контрастности — подпункт «1.4.3. Контрастность (минимальные требования) (уровень AA)» и подпункт «1.4.6. Контрастность (расширенные требования) (уровень AAA)». В первом случае текст должен иметь контрастность не менее 4,5:1, во втором случае — контрастность не менее 7:1. Как отмечено в ГОСТе, указанная контрастность может ослабляться до 3:1 и 4,5:1 соответственно для укрупненной текстовой информации и графического представления текста.

Нетрудно заметить, что визуальное восприятие контрастности цвета шрифта зависит не только от размера, но и жирности шрифта. На сайте корпорации W3C <https://www.w3.org/TR/UNDERSTANDING-WCAG20/visual-audio-contrast-contrast.html> даны соответствующее разъяснение и следующая установка: большие шрифты не менее 18 кегля, а также полужирные шрифты не менее 14 кегля, имеющие контрастность не менее 3:1, удовлетворяют уровню AA, а если они имеют контрастность не менее 4,5:1, то удовлетворяют уровню AAA.

Существуют программы, которые умеют определять значение контрастности цвета текста на заданном цвете фона, но в ГОСТе нет ссылок на такие программы.

Подпункты з) – м) Порядка не приводим, поскольку к текстовым объектам они непосредственного отношения не имеют.

И, наконец, процитируем два последних пункта Порядка.

2. Положения пункта 1 Порядка обязательны для выполнения должностными лицами, ответственными за организацию работы официальных сайтов.

3. Органы и организации на своих официальных сайтах предусматривают возможность пользователям официального сайта направлять в адрес таких органов и организаций обращения о недоступности для инвалидов по зрению элементов и (или) сервисов на официальных сайтах ...

В рассматриваемом приказе Минцифры от 2023 г. в пункте 3 Порядка прозвучала новая тема — возможность направления обращений в адрес организации. Приказ не раскрывает, в какой форме официальный сайт организации должен принимать обращения граждан. Можно надеяться, что размещение на сайте официального адреса электронной почты, а также обычного почтового адреса организации дают инвалидам полноценную возможность направить обращения (в письменном виде или звуковые обращения) в адрес организации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инициатива W3C WAI и рекомендации WCAG обратили внимание разработчиков сайтов на проблему доступности интернета для людей с ограничениями по здоровью, в частности, слабовидящих. В России разработан ГОСТ Р 52872-2019 «Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-цифровой форме. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности». ГОСТ формулирует требования и критерии доступности интернет-ресурсов для людей с инвалидностью.

С 1995 г. действует федеральный закон «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» № 181-ФЗ, обязывающий разработчиков ресурсов интернета соблюдать права инвалидов в работе со средствами связи и информации. Нормативные документы, так или иначе связанные с темой защиты интересов инвалидов при работе с информационными ресурсами, издаются различными ведомствами, в частности, профильным министерством в области связи и информации — Минцифры. Порядок обеспечения доступности для инвалидов по зрению сайтов госучреждений, введенный вступившим в силу приказом Минцифры 2023 г., рассмотрен выше.

Приказ Минцифры формулирует ряд требований к технической стороне разработки сайтов госучреждений. Добросовестный разработчик обязан теперь учитывать интересы людей с нарушением зрения и обеспечивать достаточный уровень контрастности текста на сайте, доступность информации для обработки средствами экранного доступа, а также возможность увеличения масштаба сайта до 200% без появления полосы горизонтальной прокрутки. Порядок, введенный приказом Минцифры, стимулирует разработчиков сайтов придерживаться современной технологии адаптивного дизайна. Этот Порядок обеспечивает условия для развития инструментов ИИ, формирующих семантические модели на основе информации, содержащейся в российском сегменте интернета. Системы ИИ делают работу инвалидов в интернете более комфортной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полилова Т.А.* Проблема доступности интернета для слабовидящих // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2024. № 51. 22 с.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2024-51>;
URL: <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2024-51>
2. Web Accessibility Initiative. URL: <https://www.w3.org/WAI/>
3. Web Content Accessibility Guidelines.
URL: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
4. ГОСТ Р 52872-2019 «Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-цифровой форме. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200167693>
5. Федеральный закон «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» от 24.11.1995 г. № 181-ФЗ.
URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=455225&ysclid=ltr17yx8ec681111231>
6. Приказ Минцифры от 07.11.2023 № 953 «Об утверждении Порядка обеспечения условий доступности для инвалидов по зрению официальных сайтов государственных органов, органов местного самоуправления и подведомственных организаций в информационно-телекоммуникационной сети Интернет».

URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402020015?ysclid=luy9592ti0242493054>

7. Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29.06.2015 № 162-ФЗ.

URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=393371&ysclid=ltreswrana701244934>

AVAILABLE INTERNET: FROM THE WAI INITIATIVE TO RUSSIAN PRACTICE

T. A. Polilova^[0000-0003-4628-3205]

Keldysh Institute of Applied Mathematics, Miusskaya sq., 4, Moscow, 125047, Russia
polilova@keldysh.ru

Abstract

For many years, the W3C (World Wide Web Consortium) has been promoting the WAI (Web Accessibility Initiative) project, the main slogan of which is formulated as "Making the Web accessible". As part of the WAI initiative, WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) are being developed to help website developers take into account the needs of people with disabilities. GOST R 52872-2019 has been developed in the Russian Federation, based on WCAG recommendations. Some provisions of GOST R 52872-2019 are presented in this paper.

Law № 181-FZ on the social protection of persons with disabilities, which has been in force since 1995, establishes a norm according to which developers of information resources must create conditions for people with disabilities to freely use communications and information. The general provisions of Law № 181-FZ are implemented in the directive documents of relevant departments. The paper considers the provisions of the order of the Ministry of Finance of 2023, which determine the procedure for presenting information on the websites of organizations in a form convenient for people with vision and hearing problems. The provisions of the above-mentioned order of the Ministry of Finance encourage developers of websites of organizations subordinate to government bodies in the Russian Federation at various levels to ensure

sufficient text contrast, adhere to adaptive design, equip non-text objects with a text layer or comments, simplifying the work of people with disabilities on the Internet and contributing to the development of artificial intelligence tools.

Keywords: *WAI initiative, WCAG recommendations, GOST R 52872-2019, digital content, accessibility for people with disabilities*

REFERENCES

1. Polilova T.A. Problema dostupnosti interneta dlia slabovidashchikh // Preprinty IPM im. M.V. Keldysha. 2024. № 51. 22 s.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2024-51>;
URL: <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2024-51>
2. Web Accessibility Initiative. URL: <https://www.w3.org/WAI/>
3. Web Content Accessibility Guidelines.
URL: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
4. GOST R 52872-2019 «Internet-resursy i drugaia informatsiia, predstavlennaia v elektronno-tsifrovoi forme. Trebovaniia dostupnosti dlia liudei s invalidnostiu i drugikh lits s ogranicheniiami zhiznedeiatelnosti».
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200167693>
5. Federalnyi zakon «O sotsialnoi zashchite invalidov v Rossiiskoi Federatsii» ot 24.11.1995 g. № 181-FZ.
URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=455225&ysclid=ltr17yx8ec681111231>
6. Prikaz Mintsifry ot 07.11.2023 № 953 «Ob utverzhdenii Poriadka obespecheniia uslovii dostupnosti dlia invalidov po zreniiu ofitsialnykh saitov gosudarstvennykh organov, organov mestnogo samoupravleniia i podvedomstvennykh organizatsii v informatsionno-telekommunikatsionnoi seti Internet».
URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402020015?ysclid=luy9592ti0242493054>
7. Federalnyi zakon «O standartizatsii v Rossiiskoi Federatsii» ot 29.06.2015 № 162-FZ.
URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=393371&ysclid=ltreswrana701244934>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ПОЛИЛОВА Татьяна Алексеевна – старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, доктор физико-математических наук, лауреат Премии Президента РФ в области образования;

Tatyana Alekseevna POLILOVA – senior researcher of the Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Sciences.

email: polilova@keldysh.ru.

ORCID: 0000-0003-4628-3205

Материал поступил в редакцию 10 ноября 2024 года

СОЗДАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПСЕВДОСЛОВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИХ СХОЖЕСТИ СО СЛОВАМИ СЛОВАРЯ РУССКОГО ЯЗЫКА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

К. А. Ромаданский¹ [0009-0001-2912-3683], А. Е. Ахаев² [0009-0007-7154-2404],

Т. Р. Гилязов³ [0009-0009-9643-0200]

¹⁻³*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт информационных технологий и интеллектуальных систем*

¹kirillaromad@mail.ru, ²aeahaev@gmail.com, ³t1g2r3mr@gmail.com

Аннотация

Под псевдословом понимается единица речи или текста, которая выглядит как реальное слово на русском языке, но на самом деле не имеет значения, а под настоящим или естественным словом – единица речи или текста, которая имеет толкование и представлена в словаре. Представлены две модели для работы с русским языком: генератор псевдослов и классификатор, оценивающий степень схожести введенной последовательности символов с настоящими словами. Классификатор использован для оценки результатов генератора. Обе модели основаны на рекуррентной нейронной сети с долгой краткосрочной памятью и обучены на датасете существительных русского языка. В результате создан файл, содержащий список сгенерированных псевдослов, оцененных классификатором. Псевдослова могут найти применение в задачах нейминга, брендинга и маркетинга, в искусстве, для создания креативных произведений, и в языковых исследованиях, для изучения структуры языка и слов.

Ключевые слова: генерация слов, псевдослово, нейронная сеть, рекуррентная нейронная сеть, долгая краткосрочная память

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы и алгоритмы машинного обучения позволяют строить модели на основе больших объемов данных [1, 2] и выявлять скрытые закономерности в них [3]. Это открывает возможности для создания интеллектуальных систем, способных генерировать новые данные [4]. Идеей настоящего исследования является создание модели для генерации псевдослов, которые будут схожи с естественными словами и соответствовать языковым правилам [5, 6].

Цель исследования – реализация генератора псевдослов. В качестве инструмента анализа и обработки реальных слов и выделения словообразовательных правил языка [7] применены нейронные сети. Пример такого правила – порядок букв в слове, допустимый с точки зрения морфологии языка.

Такой генератор позволяет создавать интересные и уникальные псевдослова, которые могут найти свое применение в различных областях, например:

- нейминг – генератор может применяться для генерации псевдонимов, названий компаний [8], проектов и т. д.;
- искусство – сгенерированные слова могут быть использованы в литературе, музыке и других формах искусства для создания уникальных и креативных произведений [9];
- макетирование – генератор может использоваться для заполнения текстом различных шаблонов и макетов;
- языковые исследования – для лингвистов и исследователей языка генератор может стать интересным инструментом для изучения структуры языка и слов [10].

Целевой язык исследования – русский, часть речи – существительные.

ИНСТРУМЕНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Отличие текста от других типов данных (например, изображений) состоит в наличии временной компоненты. Таким же свойством обладают звук и временные ряды. Текст читается не моментально, а символ за символом, в строго определенном порядке. Поэтому использовалась нейросеть, которая учитывает эту особенность текста [11].

Наиболее подходящим инструментом реализации является рекуррентная нейронная сеть (англ. recurrent neural network, RNN) [12]. Этот вид нейронных сетей обладает внутренней памятью, что позволяет учитывать предыдущие состояния при обработке текущего входа. При реализации использовалась разновидность рекуррентных нейронных сетей с долгой краткосрочной памятью (англ. long short-term memory, LSTM). Для построения модели нейронной сети применена библиотека Keras для языка программирования Python [13].

РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕРАТОРА НОВЫХ СЛОВ

Датасет

В качестве исходного набора данных был выбран датасет “Russian Dictionary Data” из существительных русского языка объемом около 27000 слов [14]. Из них для обучения модели генератора псевдослов были выбраны слова длиной от 5 до 10 символов. Также особенностью отобранных существительных является отсутствие дефисов и повторяющихся букв, идущих друг за другом. Отфильтрованный датасет для генератора содержал 18283 слова.

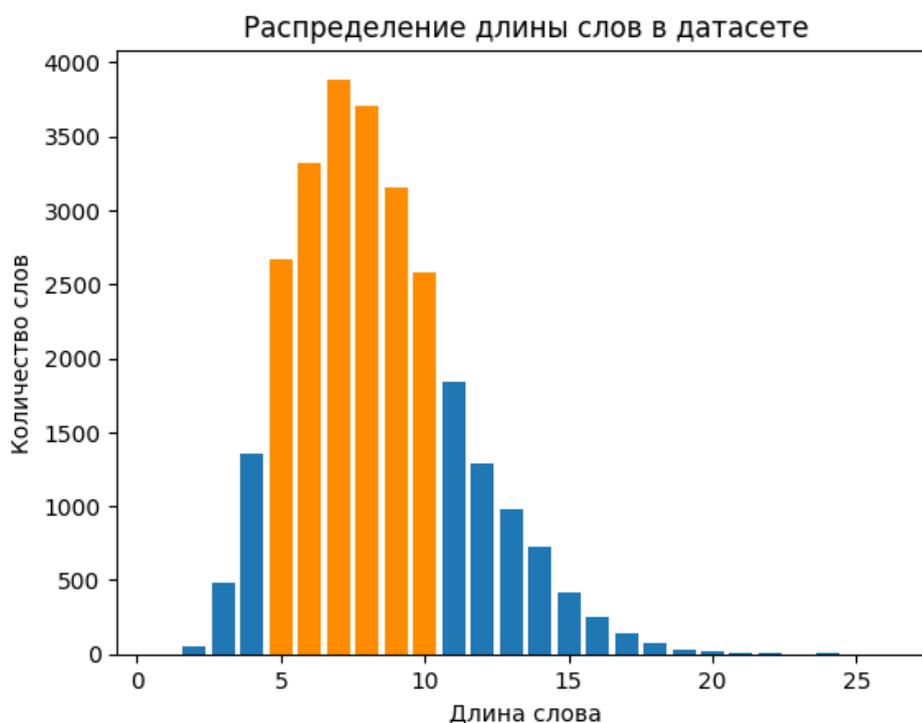


Рис. 1. Распределение длин слов в исходном датасете и слов, отобранных для обучения генератора псевдослов

На Рис. 1 проиллюстрировано распределение длин слов исходного датасета, где оранжевым выделены отобранные по длине слова для обучения генератора.

Подготовка данных

Для каждого отобранного слова из датасета был сформирован набор всевозможных пар начала и конца слова. Например, пары для слова “кот”:

- “к” и “от”;
- “ко” и “т”.

Сформированная коллекция начал слов использовалась в качестве входного набора данных для обучения модели генератора псевдослов, а коллекция концов – выходного набора данных.

Для передачи входных данных в модель генератора использовалась векторизация строк, т. е. их математическое представление в виде матриц. Для этого применен подход one-hot кодирования [15].

Так как набор возможных символов строк содержал 34 элемента (33 буквы алфавита и 1 дополнительный пустой символ), а максимальная длина строки равна 9 (максимальная длина слова в датасете минус 1), то каждая входная строка кодировалась в виде матрицы размерностью 9 на 34. В случае, если длина строки меньше максимальной длины, строка дополнялась пустыми символами. Пример векторизации строки «чело», являющейся началом слова «человек», изображен на Рис. 2.

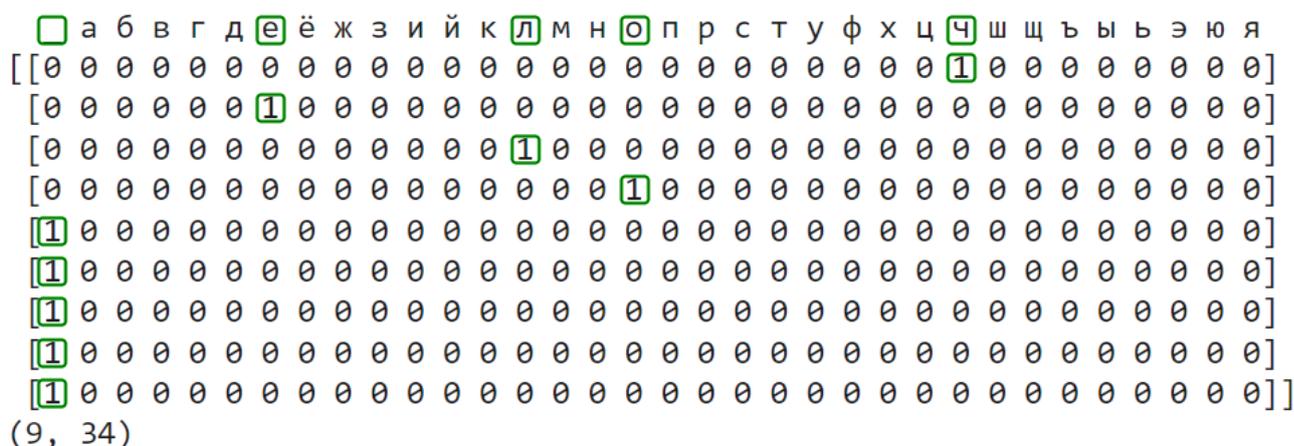


Рис. 2. Векторное представление входных данных модели генератора псевдослов на примере строки «чело», являющейся началом слова «человек»

Архитектура модели

Модель генератора псевдослов построена на основе пятислойной нейронной сети с использованием LSTM слоев, где в качестве функции потерь использована категориальная кросс-энтропия [16]. Схематично архитектура модели представлена на Рис. 3.

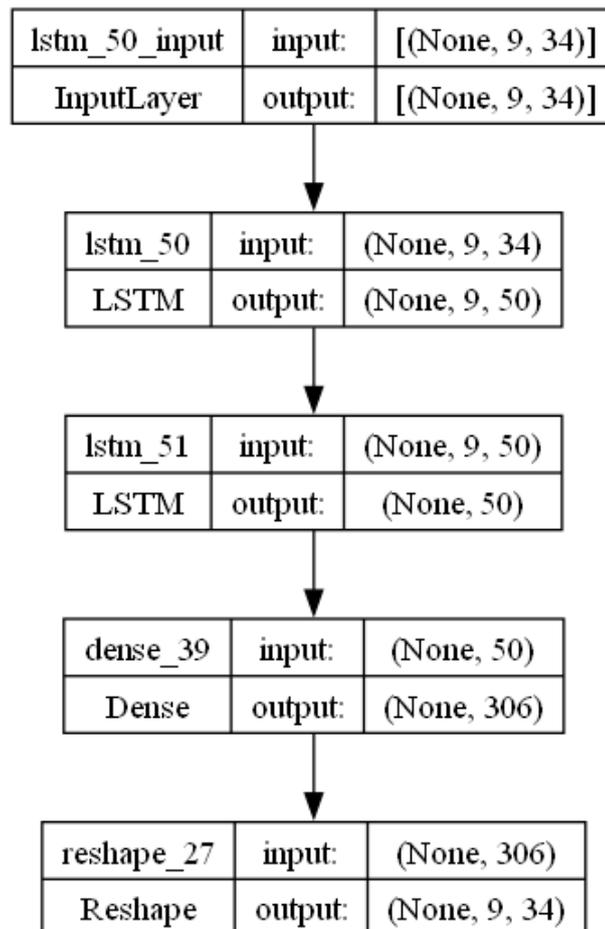


Рис. 3. Архитектура нейронной сети генератора псевдослов

Модель генератора состоит из следующих слоев:

1. входной слой;
2. первый LSTM-слой;
3. второй LSTM-слой;
4. полносвязный слой;
5. выходной слой.

Выходом модели является матрица той же размерности, что и входная матрица. Это и есть сгенерированное продолжение входной последовательности

символов. Конкатенация входной и выходной строк модели является сгенерированным псевдословом.

Обучение модели

Результатом работы модели должно быть сгенерированное псевдослово, соответствующее грамматическим правилам языка и похожее на настоящее, но не являющееся им. Найденное решение – построение не слишком “точной” модели, т. е. допускаются незначительное переобучение и не самая лучшая точность (accuracy) модели.

Для обучения сгенерированный набор входных и выходных данных был разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 9 к 1.

Обучение модели продолжалось до тех пор, пока на протяжении пяти эпох подряд не увеличивалось значение метрики accuracy. Процесс обучения завершился на 165-й эпохе. При дальнейшем обучении наблюдались сильное переобучение и падение точности, что представлено на Рисунках 4 и 5.

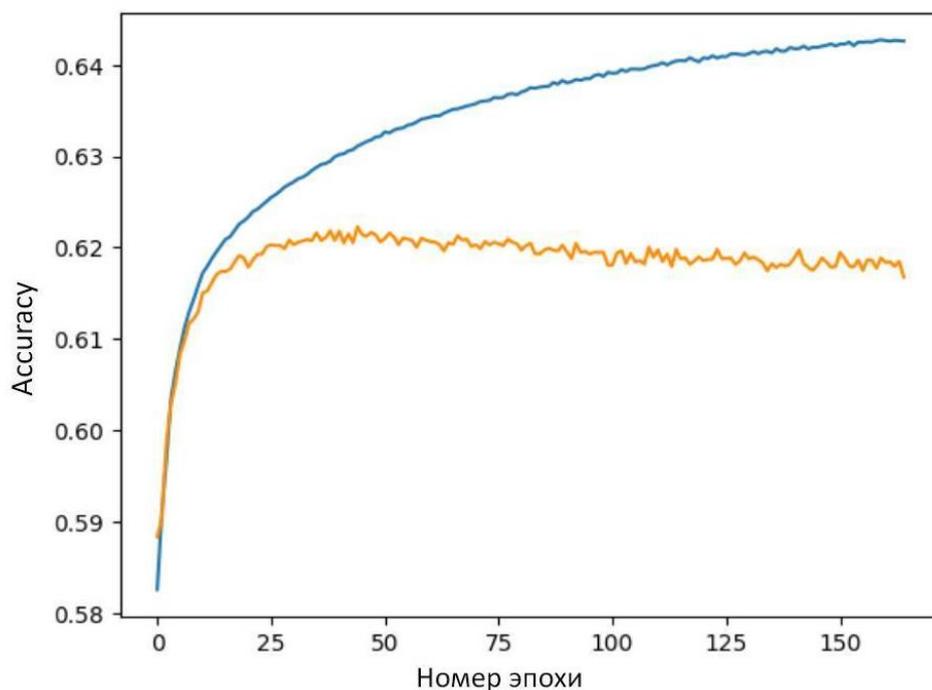


Рис. 4. Графики точности (ассигасу) обученной модели генератора на обучающей (синий) и тестовой (оранжевый) выборках

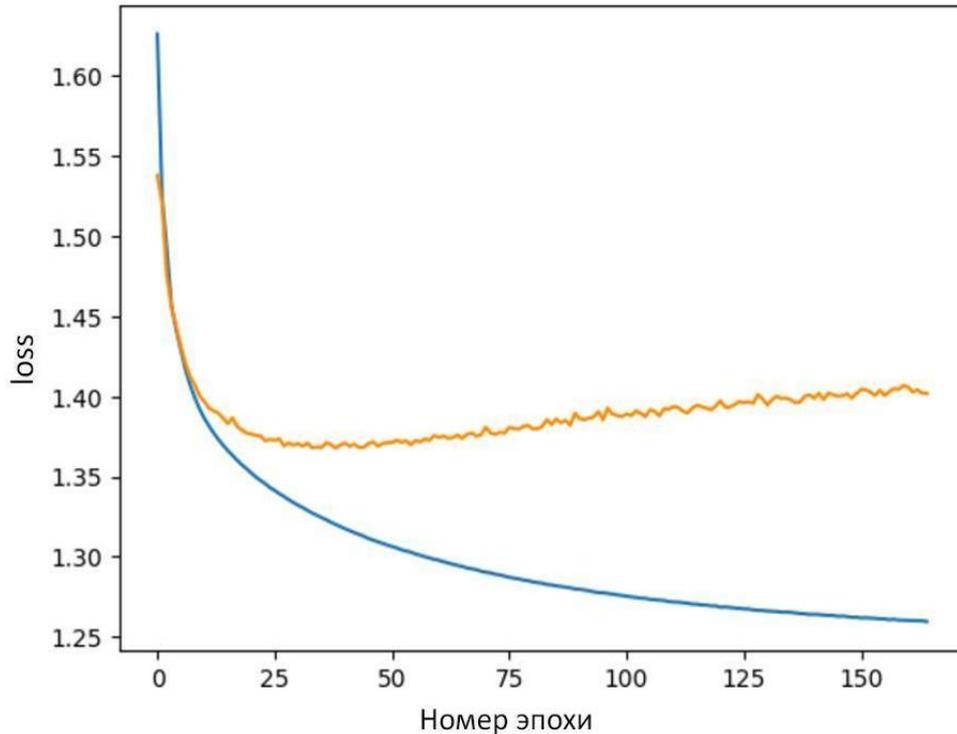


Рис. 5. Графики функции потерь (loss-функции) обученной модели генератора на обучающей (синий) и тестовой (оранжевый) выборках

РЕАЛИЗАЦИЯ КЛАССИФИКАТОРА РЕАЛЬНОСТИ СЛОВ

Датасет

В качестве исходного набора данных использовался тот же датасет “Russian Dictionary Data”, что и для генератора псевдослов. Однако для обучения модели классификатора отобраны слова без дефисов длиной от 3 до 15 символов. Количество таких слов составило 26084 (Рис. 6).

Также для обучения классификатора были созданы случайно сгенерированные последовательности кириллических символов в том же количестве. Так, итоговый размер датасета для классификатора составил 52168 строк.

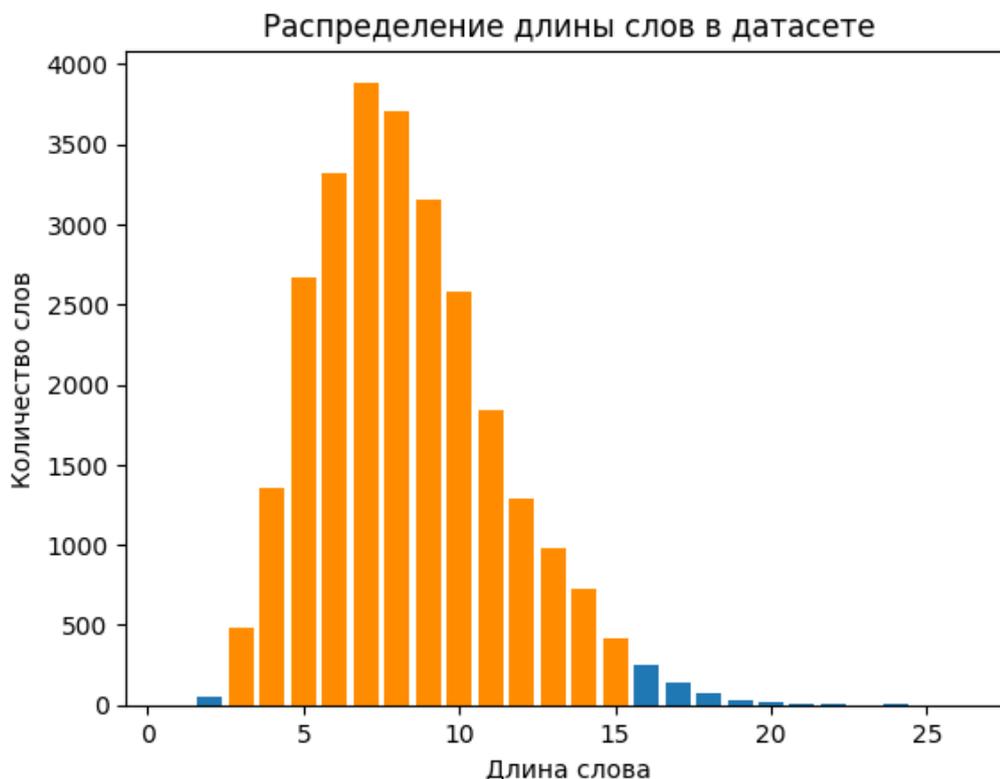


Рис. 6. Распределение длин слов в исходном датасете и слов, отобранных для обучения классификатора слов

Подготовка данных

Для обучения классификатора каждое настоящее слово было помечено значением 1, а сгенерированная последовательность символов – 0.

Над входными строками была проведена векторизация для передачи их в модель классификатора по аналогии с моделью генератора. Математическим представлением строк является матрица размерностью 15 на 33, где 15 – это максимальная длина слова в датасете, а 33 – размер русского алфавита. Слова длиной меньше 15 букв дополнялись до 15 пустыми символами.

Архитектура модели

Модель классификатора построена на основе трехслойной нейронной сети (входной, LSTM и выходной слои). В качестве функции потерь использована бинарная кросс-энтропия, а в качестве основной метрики – ассигасу [17]. Архитектура полученной модели классификатора представлена на Рис. 7.

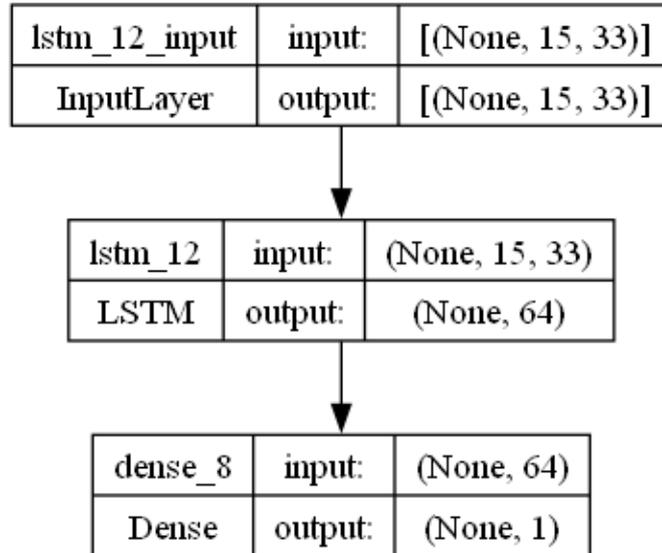


Рис. 7. Архитектура нейронной сети классификатора слов

Выход модели – число от 0 до 1; чем ближе оно к 1, тем больше входная последовательность символов похожа на настоящее слово.

Обучение модели

Для обучения сгенерированный набор входных и выходных данных разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 8 к 2.

Эмпирически выявлено, что для обучения классификатора достаточно 15 эпох. Итоговое значение accuracy составило 0.9779, функции потерь – 0.0604. На рисунках 8 и 9 представлены соответствующие графики accuracy и функции потерь модели классификатора во время обучения.

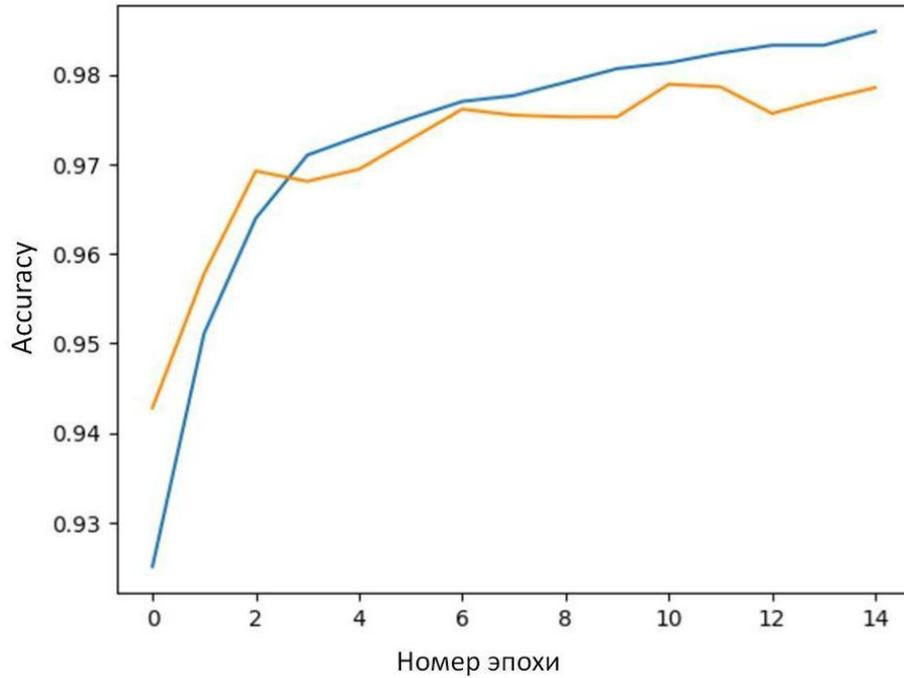


Рис. 8. Графики ассурасу обученной модели классификатора слов на обучающей (синий) и тестовой (оранжевый) выборках

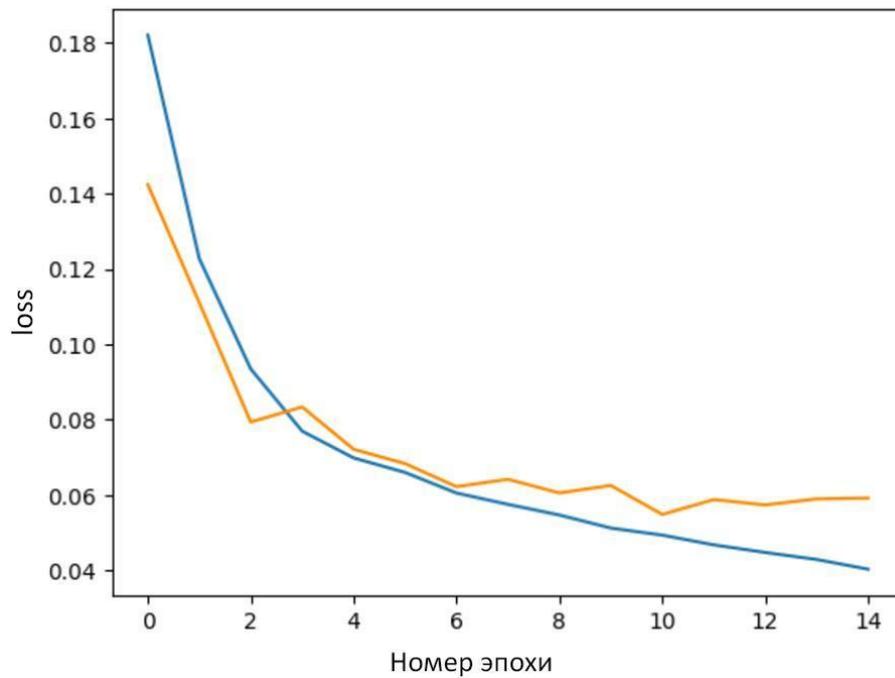


Рис. 9. Графики loss-функции обученной модели классификатора слов на обучающей (синий) и тестовой (оранжевый) выборках

ГЕНЕРАЦИЯ ПСЕВДОСЛОВ

Для генерации псевдослов сформирован массив входных данных для модели генератора. В этот массив отобраны уникальные начала слов из всего исходного датасета длиной от 1 до 3 символов. В результате сгенерировано 3271 слово. Для сохранения результатов сформирован список объектов, содержащих следующие свойства:

1. Input – входная последовательность символов для генератора.
2. Output – выходная последовательность символов генератора.
3. Result – конкатенация значений Input и Output. Полученная последовательность является новым псевдословом.

Полученный массив объектов был сохранен в файл формата JSON. Пример JSON-объектов, записанных в файл, представлен на Рис. 10.

Далее, сгенерированные псевдослова были оценены классификатором. Полученные оценки также были сохранены в JSON-файл. Для этого к свойствам Input, Output и Result было добавлено свойство Value, содержащее оценку строки Result классификатором (Рис. 11).

```
{
  "Input": "пус",
  "Output": "ток",
  "Result": "пусток"
},
{
  "Input": "пут",
  "Output": "ер",
  "Result": "путер"
},
{
  "Input": "пух",
  "Output": "овка",
  "Result": "пуховка"
},
{
  "Input": "зип",
  "Output": "ун",
  "Result": "зипун"
},
{
  "Input": "зия",
  "Output": "ние",
  "Result": "зияние"
},
{
  "Input": "зл",
  "Output": "ова",
  "Result": "злова"
},
{
  "Input": "омш",
  "Output": "етка",
  "Result": "омшетка"
},
{
  "Input": "омы",
  "Output": "зение",
  "Result": "омызение"
},
{
  "Input": "омё",
  "Output": "т",
  "Result": "омёт"
},
```

Рис. 10. Фрагмент результатов работы генератора, сохраненных в JSON-файле, где Input – входная последовательность символов, Output – выходная последовательность и Result – получившееся псевдослово

```
{
  "Input": "мещ",
  "Output": "анк",
  "Result": "мещанк",
  "Value": 0.984096109867096
},
{
  "Input": "мз",
  "Output": "йъои",
  "Result": "мзйъои",
  "Value": 2.9632417863467708e-05
},
{
  "Input": "мзд",
  "Output": "оеа",
  "Result": "мздоеа",
  "Value": 0.16401644051074982
},
{
  "Input": "пюр",
  "Output": "ати",
  "Result": "пюрати",
  "Value": 0.9994021654129028
},
{
  "Input": "пя",
  "Output": "тоаь",
  "Result": "пятоаь",
  "Value": 0.1005672812461853
},
{
  "Input": "пяд",
  "Output": "ани",
  "Result": "пядани",
  "Value": 0.999237596988678
},
{
  "Input": "ррь",
  "Output": "ано",
  "Result": "рряно",
  "Value": 0.8694648742675781
},
{
  "Input": "рря",
  "Output": "ниа",
  "Result": "рряниа",
  "Value": 0.9554255604743958
},
{
  "Input": "рз",
  "Output": "каа",
  "Result": "рзкаа",
  "Value": 0.4970543384552002
}
```

Рис. 11. Фрагмент результатов работы генератора и классификатора, сохраненных в JSON-файле, где Input – входная последовательность символов, Output – выходная последовательность, Result – полученное псевдослово и Value – оценка реальности псевдослова классификатором

Оценка генератора была использована для выявления и фильтрации сгенерированных результатов, не похожих на настоящие слова. В качестве нижнего приемлемого значения оценки классификатора выбрано число 0.9. Пример слов, не подходящих под минимальную оценку, выделен желтым цветом на Рис. 11. В результате были выделены сгенерированные псевдослова, оценка классификатором которых не ниже 0.9. Таких слов оказалось 2778, что составляет примерно 85% от всего количества сгенерированных псевдослов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданы две модели: генератор псевдослов, похожих на естественные слова русского языка, и классификатор, оценивающий, насколько последовательность символов похожа на слово русского языка. Получившиеся псевдослова могут быть полезны для разработки названий и брендов, создания макетов, креативных проектов, в сфере искусства, а также в языковых исследованиях, направленных на изучение структуры языка и слов.

Архитектура генератора представляет пятислойную нейронную сеть с двумя LSTM-слоями. На вход генератор принимает пользовательский ввод (начало

слова), а на выходе возвращает предлагаемое продолжение слова. Итоговое псевдослово получается путём конкатенации пользовательского ввода и сгенерированного продолжения. Для обучения модели генератора использован датасет существительных русского языка с ограничением по длине от 5 до 10 символов без использования слов с подряд идущими одинаковыми буквами. Обучение модели продолжалось до тех пор, пока в течение пяти последовательных эпох не наблюдалось увеличение значения метрики accuracy, и было остановлено на 165-й эпохе.

Классификатор представляет трехслойную нейронную сеть с одним LSTM-слоем. На вход классификатор принимает пользовательский ввод, то есть любую последовательность кириллических символов, а возвращает число от 0 до 1 – степень схожести введенной последовательности символов со словом русского языка. Для обучения модели классификатора также использовался датасет существительных русского языка длиной от 3 до 15 символов. Число эпох для обучения модели классификатора было выявлено эмпирически. Для достижения оптимальных результатов потребовалось 15 эпох.

Для тестирования функционала созданных моделей из датасета существительных были отобраны уникальные начала слов. Они были использованы как вход для модели генератора. Модель классификатора использовалась для оценки реальности каждого из сгенерированных слов. Итого получилось 3271 псевдослово, 85% из которых оценены классификатором на 0.9 и выше.

Результаты работы представлены в открытом доступе в репозитории GitHub: <https://github.com/smtyper/word-craft-ai>.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарности Липачёву Евгению Константиновичу и Елизарову Александру Михайловичу за проявленный интерес к исследованию, значимые замечания и советы при оформлении статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sagiroglu S., Sinanc D.* Big Data: A Review // 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS). 2013. P. 42–47.
2. *Shim K.* MapReduce algorithms for Big Data Analysis // Proceedings of the VLDB Endowment. 2012. V. 5. No. 12. P. 2016–2017.

3. *Строев В.В., Тихонов А.И.* Применение технологий Data Mining для поиска соответствий закономерностей развития в больших массивах веб-данных на основе инструментов анализа Big Data // *E-Management*. 2022. Т. 5. N 4. С. 4–11.
4. *Kim J., Shin S., Bae K., Oh S.* Can AI be a content creator? Effects of content creators and information delivery methods on the psychology of content consumers // *Telematics and Informatics*. 2020. V. 55. P. 101452.
5. *Лалетина А.О.* Языковая норма в эпоху глобализации // *Ученые записки Казанского университета. Серия Гуманитарные науки*. 2011. Т. 153. № 6. С. 219–226.
6. *Москалёва М.В.* Неологизмы и проблема их изучения в современном русском языке // *Известия РГПУ им. А. И. Герцена*. 2008. № 80. С. 246–250.
7. *Дмитриева Д.Д.* Изучение словообразования на занятиях по русскому языку как иностранному // *Балтийский гуманитарный журнал*. 2020. Т. 9. № 1(30). С. 47–49.
8. *Shipley D., Hooky G.J., Wallace S.* The brand name Development Process // *International Journal of Advertising*. 1988. V. 7. No. 3. P. 253–266.
9. *Mazzola G., Carapezza M., Chella A., Mantoan D.* Artificial Intelligence in Art Generation: An Open Issue // *Image Analysis and Processing – ICIAP 2023 Workshops*. 2023. V. 14366. P. 258–269.
10. *Jarmulowicz L., Taran V.L.* Lexical morphology // *Topics in Language Disorders*. 2013. V. 33. No. 1. P. 57–72.
11. *Iqbal T., Qureshi S.* The survey: Text generation models in deep learning // *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2022. V. 34. No. 6. P. 2515–2528.
12. *Yu Y., Si X., Hu C., Zhang J.* A review of Recurrent Neural Networks: LSTM cells and network architectures // *Neural Computation*. 2019. Т. 31. No. 7. P. 1235–1270.
13. *Ketkar N.* Introduction to Keras // *Deep Learning with Python*. Berkeley, CA: Apress, 2017. P. 97–111.
14. *Helms M.* Badestrand/Russian-Dictionary: Dataset of nouns, verbs, adjectives and others from my Russian dictionary website OpenRussian.org. [Электронный

ресурс]. URL: <https://github.com/Badestrand/russian-dictionary> (дата обращения: 17.10.2023).

15. *Rodríguez P., Bautista M.A., González J., Escalera S.* Beyond one-hot encoding: Lower dimensional target embedding // *Image and Vision Computing*. 2018. V. 75. P. 21–31.

16. *Mao A., Mohri M., Zhong Y.* Cross-entropy loss functions: Theoretical analysis and applications // *Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning*. 2023. V. 202. P. 23803–23828.

17. *Manaswi N.K.* Understanding and Working with Keras // *Deep Learning with Applications Using Python*. Berkeley, CA: Apress, 2018. P. 31–43.

CREATING PSEUDOWORDS GENERATOR AND CLASSIFIER OF THEIR SIMILARITY WITH WORDS FROM RUSSIAN DICTIONARY USING MACHINE LEARNING

K. A. Romadanskiy¹ [0009-0001-2912-3683], A. E. Akhaev² [0009-0007-7154-2404],

T. R. Gilyazov³ [0009-0009-9643-0200]

¹⁻³*Kazan (Volga region) Federal University, Institute of Information Technology and Intelligent Systems.*

¹kirillaromad@mail.ru, ²aeahaev@gmail.com, ³t1g2r3mr@gmail.com

Abstract

In this article, a pseudoword is defined as a unit of speech or text that appears to be a real word in Russian but actually has no meaning. A real or natural word is a unit of speech or text that has an interpretation and is presented in a dictionary. The paper presents two models for working with the Russian language: a generator that creates pseudowords that resemble real words, and a classifier that evaluates the degree of similarity between the entered sequence of characters and real words. The classifier is used to evaluate the results of the generator. Both models are based on recurrent neural networks with long short-term memory layers and are trained on a dataset of Russian nouns. As a result of the research, a file was created containing a list of pseudowords generated by the generator model. These words were then evaluated by the classifier to filter out those that were not similar enough to real words. The

generated pseudowords have potential applications in tasks such as name and branding creation, layout design, art, crafting creative works, and linguistic studies for exploring language structure and words.

Keywords: *word generation, pseudoword, neural network, recurrent neural network, long short-term memory*

REFERENCES

1. *Sagiroglu S., Sinanc D.* Big Data: A Review // 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS). 2013. P. 42–47.
2. *Shim K.* MapReduce algorithms for Big Data Analysis // Proceedings of the VLDB Endowment. 2012. T. 5. No. 12. P. 2016–2017.
3. *Stroev V.V., Tikhonov A.I.* Application of data mining technologies to find correspondences of development patterns in large arrays of web data based on Big Data Analysis Tools // E-Management. 2022. V. 5. No. 4. P. 4–11.
4. *Kim J., Shin S., Bae K., Oh S.* Can AI be a content creator? Effects of content creators and information delivery methods on the psychology of content consumers // Telematics and Informatics. 2020. V. 55. P. 101452.
5. *Laletina A.O.* Yazykovaya norma v epohu globalizacii // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Gumanitarnye nauki. 2011. V. 153. No. 6. P. 219–226
6. *Moskalyova M. V.* Neologizmy i problema ih izucheniya v sovremennom rusском yazyke // Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences. 2008. No. 80. P. 246–250.
7. *Dmitrieva D.D.* Izuchenie slovoobrazovaniya na zanyatiyah po rusскому yazyku kak inostrannomu // Baltijskij gumanitarnyj zhurnal. 2020. V. 9. No. 1(30). P. 47–49.
8. *Shipley D., Hooky G.J., Wallace S.* The brand name Development Process // International Journal of Advertising. 1988. V. 7. No. 3. P. 253–266.
9. *Mazzola G., Carapezza M., Chella A., Mantoan D.* Artificial Intelligence in Art Generation: An Open Issue // Image Analysis and Processing – ICIAP 2023 Workshops. 2023. P. 14366. V. 258-269.
10. *Jarmulowicz L., Taran V.L.* Lexical morphology // Topics in Language Disorders. 2013. V. 33. No. 1. P. 57–72.

11. *Iqbal T., Qureshi S.* The survey: Text generation models in deep learning // Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. 2022. V. 34. No. 6. P. 2515–2528.
 12. *Yu Y., Si X., Hu C., Zhang J.* A review of Recurrent Neural Networks: LSTM cells and network architectures // Neural Computation. 2019. T. 31. No. 7. P. 1235–1270.
 13. *Ketkar N.* Introduction to Keras // Deep Learning with Python. Berkeley, CA: Apress, 2017. C. 97–111.
 14. *Helms M.* Badestrand/Russian-Dictionary: Dataset of nouns, verbs, adjectives and others from my Russian dictionary website OpenRussian.org. URL: <https://github.com/Badestrand/russian-dictionary> (accessed: 17.10.2023).
 15. *Rodríguez P., Bautista M.A., González J., Escalera S.* Beyond one-hot encoding: Lower dimensional target embedding // Image and Vision Computing. 2018. V. 75. P. 21–31.
 16. *Mao A., Mohri M., Zhong Y.* Cross-entropy loss functions: Theoretical analysis and applications // Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning. 2023. V. 202. P. 23803–23828.
 17. *Manaswi N.K.* Understanding and Working with Keras // Deep Learning with Applications Using Python. Berkeley, CA: Apress, 2018. P. 31–43.
-

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



РОМАДАНСКИЙ Кирилл Алексеевич – магистрант Казанского Федерального Университета.

Kirill Alekseevich ROMADANSKIY – master student of Kazan Federal University.

email: kirillaromad@mail.ru

ORCID: 0009-0001-2912-3683



АХАЕВ Артемий Евгеньевич – магистрант Казанского Федерального Университета.

Artemii Evgenyevich AKHAEV – master student of Kazan Federal University.

email: aeahaev@gmail.com

ORCID: 0009-0007-7154-2404



ГИЛЯЗОВ Тагмир Радикович – магистрант Казанского Федерального Университета.

Tagmir Radikovich GILYAZOV – master student of Kazan Federal University.

email: t1g2r3mr@gmail.com

ORCID: 0009-0009-9643-0200

Материал поступил в редакцию 25 ноября 2024 года

УДК 004.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В.Б. Чечнев^[0009-0000-1523-3294]

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва;

gegrev@yandex.ru

Аннотация

Возрастающая сложность принятия решений в современных условиях предопределяет безусловность необходимости автоматизации такого процесса. Одним из ключевых элементов этого процесса являются системы поддержки принятия решений. В настоящей работе рассмотрены теоретические аспекты и практические пути реализации названного процесса. С этой целью автором предложен новый взгляд на понимание сути системы поддержки принятия решений, а также проведен анализ основных атрибутов и функций систем данного типа, в процессе которого установлено, что одним из наиболее перспективных направлений в использовании искусственного интеллекта в данной области являются мультиагентные системы.

Проведенный анализ актуальных систем поддержки принятия решений показал основные конкурентные преимущества, общие слабые стороны, а также важность продолжения разработки научной парадигмы в отношении отечественной интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, системы поддержки принятия решений, мультиагентные системы, принятие решений, информационные системы, компьютерное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Динамично развивающийся мир постоянно ставит новые задачи перед каждым предприятием для его успешного функционирования. Текущая сверхконкурентная среда резко увеличивает важность каждого принимаемого решения. При

этом сам по себе процесс принятия решения (ППР) осложнен возросшим объемом анализируемых данных. Все это приводит к тому, что компании стремятся повысить объективную составляющую и снизить влияние субъективных факторов в ППР [1, с. 4]. Это обуславливает то, что с развитием информационных технологий вновь стали набирать популярность системы поддержки принятия решений (СППР), появившиеся уже в середине 1960–х годов, но не ставшие при этом массовыми ввиду высокой стоимости внедрения и эксплуатации, а также недостаточной технологической готовности [2, с. 145].

Целью настоящего исследования является систематизация теоретических и практических способов автоматизации ППР с помощью СППР. Для ее достижения были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ существующих дефиниций и сформулировано оригинальное определение СППР.
2. Выявлены наиболее актуальные механизмы применения технологии искусственного интеллекта (ИИ) в интеллектуальных системах поддержки принятия решений (ИСППР).
3. Проанализирован перечень наиболее популярного программного обеспечения в области СППР, выделены сильные и слабые стороны основных представителей.

В рамках данной работы одним из самых ключевых понятий является принятие решений, поэтому важно отметить, что в дальнейшем под ним будет подразумеваться совокупность действий, имеющих некие последствия и выполняемых для решения определенной задачи. Оценка эффективности ППР может быть произведена посредством сопоставления совокупного эффекта от принятого решения и входных параметров до его начала. Исходя из вышесказанного, необходимо перейти к рассмотрению сущности СППР.

Характеристика систем поддержки принятия решений

Существует множество дефиниций СППР. Наиболее часто в научной литературе применяется определение, предложенное отечественными учеными О.И. Ларичевым и А.Б. Петровским [3, с. 133]: «СППР – это человеко–машинная система, которая помогает пользователю, используя данные, математические мо-

дели (методы) и знания, проанализировать возможные варианты решения слабоструктурированных и неструктурированных проблем и найти наилучшее или допустимое решение». Как уже отмечалось в исследованиях: «это определение верно отражает суть СППР, но является слишком широким и позволяет отнести к СППР практически любую автоматизированную систему управления» [1, с. 18].

Схожим недостатком обладает и следующий подход: «СППР – автоматизированная система, устройство, помогающее исполнителю идентифицировать возможные в заданных условиях решения» [2, с. 145]. Общим для дефиниций, указанных выше, является и акцент на необходимости рассмотрения задачи в контексте существующих ограничений.

Этот важный элемент не упоминается в другом определении, в котором исследователи представляют результаты работы системы не только как какое-либо решение, но и как набор информации и знаний: «СППР – система, обеспечивающая лицо, принимающее решение, достаточными для принятия решения информацией, знаниями, выводами и/или рекомендациями» [4, с. 578].

Достаточно часто в научной литературе встречается еще одна существенная деталь описания СППР не просто как системы, а именно информационной системы (ИС): «СППР – общий термин, объединяющий широкий круг компьютеризированных ИС, поддерживающих действия по принятию решений» [5, с. 2].

На основании анализа основных дефиниций, в продолжение развития научной теории, автор предлагает следующее определение СППР:

СППР – это совокупность ИС, используемых для повышения эффективности принятия решений компаниями или отдельными лицами на основе анализа большого количества данных, с учетом параметрической оценки рассматриваемой ситуации и выделения наилучших из совокупности представленных альтернатив.

Данные системы объединяют знания и информацию из различных областей и источников, позволяя пользователям получить информацию, выходящую за рамки обычных отчетов и графиков, составляемых прочими программными продуктами.

Анализ актуальной научной литературы на эту тему позволил выявить следующие основные атрибуты СППР [4, с. 577; 5, с. 2, 3; 6, с. 57; 7, с. 407; 8, с. 216]:

- Гибкость и адаптивность. СППР должны быть в достаточной мере универсальными, чтобы иметь возможность быть использованными при различных внешних и внутренних параметрах ППР.
- Простота и удобство применения. СППР зачастую используются в случаях, когда решение должно принять ЛПР, не обладающее совокупностью знаний и навыков в области анализа данных, что должно быть учтено при разработке и внедрении СППР.
- Визуализация, мультимедийность и масштабируемость. Эти характеристики не просто улучшают взаимодействие ЛПР с СППР, а служат эффективным посредником между пользователем и сложными внутренними механизмами СППР.
- Контроль со стороны ЛПР. Поскольку ЛПР склонно больше доверять решениям, принятым на основе доступной для него информации, полученной понятным для него способом, несоблюдение этих условий может привести к утрате эффективности СППР.
- Достоверность и своевременность. Данные, используемые в моделях СППР, должны быть актуальными и подлинными, так как в противном случае ЛПР не сможет принять наиболее рациональное решение, исходя из рекомендаций системы.

Перечисленные характеристики СППР позволяют однозначно определить совокупность обязательных функций таких систем [4, с. 578]:

- «Оказание всесторонней поддержки ЛПР при анализе исходной информации – оценке сформировавшейся ситуации и ограничений, накладываемых внешней средой».
 - «Выявление и выстраивание приоритетов, а также формирование предпочтений ЛПР и учет неопределенности в его оценках».
 - «Генерирование вероятных решений, т. е. формирование перечня альтернатив».
 - «Анализ потенциальных альтернатив с учетом предпочтения ЛПР и ограничение, накладываемое внешней средой».
 - «Рассмотрение вероятных последствий принимаемых решений».
 - «Выбор наилучшего (с точки зрения ЛПР) возможного варианта».
-

На текущий момент в научной среде отсутствует единообразие в отношении классификации СППР, что в свою очередь влечет за собой неоднозначность определения главного различительного критерия. Эта проблема обусловлена тем, что несмотря на продолжительную историю развития научной теории данной области, разнообразие мнений различных авторов продолжает возрастать. С каждым годом появляются новые классификации и подходы к формулировке понятия СППР, что приводит к отсутствию консенсуса относительно определения данных систем, а также их систематизации. В контексте этого факта, предыдущего анализа и целей настоящей работы наиболее конструктивной и объективной представляется классификацией типов СППР относительно их уровней автоматизации взаимодействия с человеком [1, с. 23–25]:

1. *Информационные.* Имеющие средства автоматизации сбора, первичной обработки и наглядной демонстрации информации ЛПР. При этом сохраняются влияние и ответственность человека.

2. *Расчетно–информационные.* К атрибутам информационных СППР добавляются набор связанных моделей и расчетных задач, а также способность прогнозирования результатов принимаемых решений. ЛПР занимается лишь формулировкой задач и формированием единого решения из частных управляющих воздействий.

3. *Интеллектуализированные.* Такой тип систем сам предлагает перечень альтернатив, формирует пояснения к ним и ранжирует их по уровням предпочтительности. Также может оказывать помощь ЛПР в формировании цели и осуществлять динамический контроль выполнения выданных рекомендаций. С такими СППР ЛПР необходимо лишь сформулировать требуемый результат на языке, близком к естественному, и выбрать одно из решений, предложенных системой.

Интеллектуальные системы поддержки принятия решений

ИСППР представляют собой подвид СППР, основанный на знаниях, главной отличительной особенностью которого является объединение классического алгоритма работы и архитектуры СППР и ИИ, а также применение технологий экспертных систем для помощи в решении сложных проблем и принятии решений посредством использования знаний [9, с. 202].

У ИСППР выделяют следующие характеристики [9, с. 203]:

1. Возможность самостоятельно обучаться, а также учитывать рекомендации пользователей, которые могут изменять и расширять знания в базе знаний. Таким образом, со временем улучшается способность ИСППР выдавать решения.

2. Наличие механизма рассуждения – это возможность моделирования мыслительного процесса ЛПР и применения соответствующих знаний путем выбора правильных моделей решений, что является одной из ключевых функций ИСППР. Она реализуется через человеко–машинное взаимодействие в соответствии с запросами ЛПР.

3. Универсальная структура системы поддержки принятия решений – система должна быть адаптируемой к изменениям окружающей среды и форме решений.

4. Интеллектуальное управление моделями – упрощает взаимодействие между подсистемами ИСППР, а также позволяет расширять функционал системы.

Среди преимуществ ИСППР, использующих нейронные сети, выделяют [10, с. 38]:

1. Повышение гибкости и масштабируемости, так как нейронные сети имеют модульную структуру и возможность обучения на новых данных.

2. Улучшение качества принимаемых решений в связи с наличием способности нейронных сетей к выявлению скрытых закономерностей.

3. Сокращение издержек и повышение эффективности за счет оптимизации бизнес–процессов и уменьшения количества ошибок.

В перечень задач ИСППР входят [11, с. 212]:

1. Поддержка инструментов семантического моделирования.

2. Обеспечение возможности преобразования одного типа семантической модели в другой.

3. Работа с базами знаний, которая включает в себя как хранение, так и последующие операции с ними – поиск, редактирование знаний и т. д.

4. Возможность визуализации результатов, полученных с помощью инструментов семантического моделирования.

5. Работа с базой данных для обеспечения функционирования системы.

Исходя из представленных выше задач, можно сформулировать основные требования к ИСППР [12, с. 9]:

1. Высокая степень быстродействия.
2. Возможность обучения.
3. Возможность работы с априорной неопределенностью контекста, знаний и логики.
4. Интерпретируемость и доступность.

На текущий момент ИСППР развиваются в направлении интеграции и комплексного взаимодействия с другими системами, в частности, мультиагентная система (МАС) с распределенной структурой является важной областью исследований распределенной ИСППР [9, с. 201]. МАС нашли свое применение во многих сферах: от моделирования эпидемий до управления транспортными потоками и навигацией [13, с. 23–25].

МАС – сеть асинхронных объектов, работающих вместе для решения проблемы, которую агент не может решить в одиночку [11, с. 213]. МАС является открытой, активно развивающейся системой, в которой основное внимание уделяется процессам взаимодействия агентов с целью создания универсальной системы с новыми свойствами. В МАС под агентами подразумеваются «автономные программные объекты, способные воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с себе подобными» [14, с. 262]. Количество и тип агентов зависят от функциональных задач области использования МАС, а совокупный результат представляет собой максимизацию их суммарной функции удовлетворенности.

Принцип работы МАС представляет собой процесс взаимодействия элементов МАС, реализуемый с помощью набора поведенческих паттернов агентов, определяющих их реакцию на изменение внешней среды и/или сигналы от прочих агентов [14, с. 272]. Жизненный цикл задачи принятия решений в мультиагентной СППР представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Жизненный цикл задачи принятия решений в MAC [15, с. 45]

Таким образом, можно сказать, что MAC предлагает новый, реактивный подход к функционированию ИСППР, что позволяет решать проблемы принятия решений в сложных системах с наличием большого количества факторов, имеющих, зачастую, случайный характер.

Программная реализация систем поддержки принятия решений

Исследователи выделяют следующие основные программные продукты, относящиеся к классу СППР и сгруппированные по их функциональному назначению [16, с. 298; 17, с. 826; 18, с. 7–10].

1. Моделирование и прогнозирование: SAS Enterprise Decision Management, «Симплан», Analytica, ISDS, Airfocus, Visyond, Any Logic, TIBCO iProcess Suite, Active BPEEngine.

2. Финансово–хозяйственная деятельность: «Эксперт», Project Expert, Visual IFPS, «Альт–финансы», «Альт», AuditExpert, «Аналитик», Energy–invest, Up-Trader.

3. Разработка альтернатив, рейтинговая система: 1000Minds, SAS Enterprise Decision Management, Super Decisions, «Выбор», OPTIMUM, Expert Choice.

4. Стратегическое планирование: Airfocus, Visyond, AgileCraft, ClearPoint, KPI Fire, Scientrix, SAS Enterprise Decision Management, Marketing Expert, «Выбор», Crystal.

После распределения существующих СППР по их функциональному назначению необходимо перейти к рассмотрению их сущности, достоинств и недостатков. Определяющие характеристики основных СППР, названных выше, указаны в таблице 1.

Таблица 1. Результаты анализа основных популярных СППР [16, с. 298; 18, с. 7–10; 19; 20, с. 53; 21].

Название	Описание	Преимущества	Недостатки
1000Minds	Набор онлайн–инструментов, помогающих отдельным ЛПР и группам ЛПР в принятии решений, расстановке приоритетов, анализе соотношения цены и качества и понимании предпочтений заинтересованных сторон.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Групповое принятие решений с возможностью привлечения большого количества ЛПР. 2. Адаптирующаяся система. 3. Бесплатная пробная версия 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большое количество времени уходит на ввод информации в систему. 2. Недостаточная гибкость. 3. Периодически возникают ошибки. 4. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.
AgileCraft	ПО для стратегического планирования, доступное для масштабирования agile на предприятии.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визуализация дорожной карты работ. 2. Простой и понятный интерфейс. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствует обновление в режиме реального времени, что снижает эффективность работы в группах. 2. Низкий уровень поддержки продукта со стороны разработчиков. 3. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.

<p>Airfocus</p>	<p>Платформа, помогающая продуктовым командам управлять стратегией, понимать потребности пользователей, расставлять приоритеты и выстраивать четкие дорожные карты.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Гибкость. 2. Наличие бесплатной пробной версии. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сложное обучение. 2. Недостаточное количество функций. 3. Проблемы с интеграцией. 4. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.
<p>Analytica</p>	<p>Визуальная программная среда для создания, изучения количественных моделей и обмена ими, помогающая людям принимать эффективные решения.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Простота использования. 2. Визуализация данных. 3. Разнообразие функций. 4. Наличие бесплатной пробной версии. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Устаревший интерфейс. 2. Проблемы с совместимостью. 3. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.
<p>Any Logic</p>	<p>Anylogic обладает возможностями многометодного моделирования, предлагая уникальную комбинацию дискретного событийного, агентного и системного динамического моделирования. Это позволяет ЛПР решать различные сложные задачи и моделировать несколько систем.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Удобный интерфейс. 2. Гибкость. 3. Разнообразие функций. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Длительный процесс обучения. 2. Высокие системные требования.

ClearPoint	Интегрированная система отчетности и исполнения стратегии. Интегрирует и автоматизирует сбор данных из всех источников, ускоряя и упрощая составление отчетов о выполнении стратегического плана.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокий уровень поддержки клиентов. 2. Простота использования. 3. Гибкость. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудности в обучении. 2. Проблемы с производительностью. 3. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.
Crystal	Это инструмент для принятия решений, который использует искусственный интеллект для анализа бизнес-данных на естественном языке.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Может активно отслеживать данные для выявления представляющих интерес событий, тенденций и аномалий. 2. Удобство использования. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудности в обучении. 2. Малое количество функций. 3. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.
Expert Choice	Программное обеспечение для совместной работы, помогающее организациям принимать более эффективные решения, обеспечивающие согласованность действий и поддержку клиентов быстро и прозрачно.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Простая и понятная схема работы. 2. Предоставляет инструменты для создания и управления моделями МАИ. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая вариативность. 2. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка, так как русский язык не предусмотрен.
Project Expert	ПО для разработки бизнес-плана, оценки инвестиционных проектов и принятия оптимальных решений.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Позволяет анализировать инвестиционные проекты. 2. Выбирает оптимальные варианты стратегии развития 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая стоимость внедрения. 2. Необходима повышенная квалификация персонала.

		предприятия из ряда альтернатив.	
SAS Enterprise Decision Management	Система, позволяющая оптимизировать развертывание аналитической модели и автоматизировать операционные бизнес-решения.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Стандартизирует входные данные. 2. Управляет потоками операций с помощью бизнес-правил. 3. Использует событийную логику для получения контекстуально зависимых решений. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая стоимость внедрения. 2. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка. 3. Обязательно повышенная квалификация персонала.
Scientrix	Облачная платформа для адаптивной стратегии и гибкого выполнения, готовая к работе на предприятии. Расширенное управление портфелем на основе искусственного интеллекта. Матрицы согласования стратегий, а также комплексное управление стратегией.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Существует бесплатная версия системы. 2. Гибкость. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудности в обучении. 2. Малое количество функций. 3. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.

<p>Super Decisions</p>	<p>СППР, которая использует методы анализа иерархий (МАИ) и аналитическую сеть процессов, которые используются в принятии многокритериальных решений.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Существует бесплатная версия системы. 2. Предоставляет инструменты для создания и управления моделями МАИ и аналитическую сеть процессов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможна нестабильная работа с некоторыми ОС. 2. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка, так как русский язык не предусмотрен.
<p>Visyond</p>	<p>Визуализирует электронные таблицы в виде аналитических панелей, автоматизирует финансовую отчетность и позволяет совместно работать над анализом «что, если» и рисков, защищая модель, конфиденциальные данные и контролировать, насколько каждый пользователь может с ними взаимодействовать.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Существует бесплатная версия системы. 2. Гибкость. 3. Простота обучения. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Производительность. 2. Малое количество функций. 3. Интерфейс программы рассчитан на знание пользователем английского языка.
<p>Альт-финансы</p>	<p>ПО предназначено для выполнения комплексной оценки деятельности предприятия, выявления основных тенденций его развития, расчета базовых нормативов для планирования и прогнозирования, оценки кредитоспособности предприятия.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Открытость и адаптивность. 2. Большое количество функций анализа. 3. Наличие демо-версии. 4. Простота настройки и работы. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нацеленность исключительно на финансовые и бухгалтерские показатели. 2. Работа лишь с фактическими данными, без возможности оценки будущих периодов и планирования.

Выбор	СППР, основанная на МАИ.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Структурирует проблемы, может построить набор альтернатив, задать значимость критериев и альтернатив. 2. Может найти неточности и противоречия в суждениях ЛПР, проранжировать альтернативы, провести анализ решения и обосновать его. 	1. Система использует только МАИ.
-------	--------------------------	--	-----------------------------------

Приведенный выше анализ основных СППР позволяет сделать следующие выводы о текущем состоянии ПО в данной области:

1. Подавляющее большинство систем рассчитано на пользователей, владеющих английским языком (11 из 15).
2. Важной проблемой является недостаток функций или гибкости программы, так как СППР концентрируются лишь на одной, узкой части ППР, не давая ЛПР вариативности в работе.
3. В каждой третьей системе пользователи имеют проблемы с обучением.
4. Чаще всего среди достоинств можно отметить гибкость/адаптивность и наличие бесплатной пробной версии программы (7 и 6 из 15 соответственно).
5. Среди рассмотренных СППР не было ни одной, которая бы полностью отвечала требованиям интеллектуализированной системы, указанным ранее. Большая часть из них относятся к расчетным, а оставшаяся – к расчетно-информационным, что говорит о том, что, несмотря на использование ИИ в нескольких из

них, существует необходимость дальнейшего развития научной теории и практической реализации такого типа СППР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ актуальной научной литературы в области СППР позволил сформулировать перечень основных атрибутов и функций систем данного типа. Также было рассмотрено перспективное направление использования технологии ИИ в ИСППР – МАС. Как в ИСППР, так и в МАС существует ряд значительных преимуществ в сравнении с классическими – расчетными и расчетно-информационными СППР. В первую очередь наибольший интерес представляют повышенная гибкость, эффективность и возможность принятия решений в более сложных ситуациях, например, с большим количеством агентов.

Рассмотренный перечень актуальных программных продуктов в области СППР показал, что на текущий момент большинство существующих систем является иностранными, а существующие отечественные программы сосредоточены лишь на малой части ППР современных компаний. Анализ преимуществ и недостатков СППР подчеркнул отсутствие интеллектуализированных систем, что в силу их достоинств, описанных выше, является потенциальным драйвером их будущего развития.

По итогам проведенного исследования можно отметить, что на текущий момент чрезвычайно важной является задача разработки отечественной ИСППР, позволяющей не только заменить зарубежные аналоги, но и превзойти их по своим характеристикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тиханычев О.В.* Теория и практика автоматизации поддержки принятия решений. М.: Эдитус, 2018. 76 с.
2. *Заславская В.Л.* Системы поддержки принятия решений и их роль в информационно–управляющих системах // Экономика и управление: проблемы, решения. 2022. Т. 2. № 12. С. 144–153.

3. *Ларичев О.И., Петровский А.В.* Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития // Итоги науки и техники. Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. 1987. Т. 21. С. 131–164.

4. *Буданицкий А.В.* Характеристика систем поддержки принятия решений и их анализ // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2018. Т. 2. С. 575–578.

5. *Назарова О.О.* Эволюция систем поддержки принятия решений // Дневник науки. 2022. № 3(63). С. 1–7.

6. *Alshibly H.* Investigating Decision Support System (DSS) Success: A Partial Least Squares Structural Equation Modeling Approach // Journal of Business Studies Quarterly. 2015. Vol. 6. P. 56–77.

7. *Косников С.Н., Золкин А.Л., Атаева Л.Б., Жильцов С.А.* Разработка пользовательского интерфейса и управление информацией в системах поддержки принятия решений // Международный журнал. Естественно–гуманитарные исследования. 2023. №5 (49). С. 406–409.

8. *Peng S.* The influence of Graphical User Interfaces on human–computer interaction and the impact of organizing software on decision–making process // Proceedings of the 4th International Conference on Signal Processing and Machine Learning, Chicago, USA, 15 January 2024. SPE: 2024, P. 213–221.

9. *Changlin H., Yufen L.* A survey of intelligent decision support system // 7th International conference on Applied Science, Engineering and Technology. Qingdao, China, 29–30 July 2017. Atlantis press: 2017, P. 201–206.

10. *Аппалонова Н.А., Тасуева Х.З.А., Потапов А.А.* Перспективы внедрения нейронных сетей в реализацию систем поддержки принятия решений // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 82–3. С. 37–40.

11. *Massel A.G., Galperov V.I., Kuzmin V.R.* Agent–service Approach for Development of Intelligent Decision–making Support Systems // VIth International Workshop “Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent Agent–Based, Cloud Computing and Cyber Security” (IWCI 2019), Irkutsk, 17–24 March 2019. Atlantis press: 2019, P. 211–215.

12. Демидовский А.В., Бабкин Э.А. Интегрированные нейросимволические системы поддержки принятия решений: проблемы и перспективы // Бизнес–информатика. 2021. Т. 15 № 3. С. 7–23.

13. Балута В.И., Осипов В.П., Сивакова Т.В. Предложения по разработке средств повышения эффективности управления в условиях эпидемий // Электронные библиотеки. 2021. Т. 24. № 1. С. 20–41.

14. Жилиев А.А. Онтологии как инструмент создания открытых мультиагентных систем управления ресурсами // Онтология проектирования. 2019. Т. 9. №2(32). С. 261–281.

15. Левкина И.Н., Леденева Т.М. Общая структура многоагентной системы поддержки принятия решений // Евразийский Союз Ученых. 2020. № 5–5. С. 43–46.

16. Никитина Я.С., Вертакова Ю.В., Пашкова Л.Л. Современные программные и технические средства поддержки и принятия организационно–управленческих решений // Сборник научных статей 8–й Всероссийской научно–практической конференции с международным участием «Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития», Курск, Россия, 28–29 декабря 2018 г., Издательство: ЗАО «Университетская книга», 2018. С. 295–300.

17. Рвачева А.С., Арнаев М.А., Никитин Н.Н., Манджиева А.Б., Патдыева А., Красноруцкая К.А., Чимидов Д.Б. Анализ существующих средств ИКТ и программных решений в области поддержки принятия решения коммерческих организаций // Экономика и предпринимательство. 2023. № 5. С. 824–827.

18. Petrova E.S., Ștefănescu R. Decision making, some individual decision–making styles and software for decision making and strategic planning // Przegląd Nauk o Obronności. 2022. Vol. 1. P. 1–12.

19. G2 official site. URL: <https://www.g2.com>.

20. Камилова Р.Ш., Кузнецова М.А. Программный комплекс «Альт–Финансы». сравнительный анализ, достоинства и недостатки // Экономика и социум. 2021. № 12 (91). С. 52–54.

21. Альт–Инвест. Альт–финансы Сумм.
URL: <https://www.alt-invest.ru/program/alt-finance/>.

USING DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AUTOMATION OF DECISION– MAKING PROCESSES

V. B. Chechnev^[0009-0000-1523-3294]

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

gegrev@yandex.ru

Abstract

The increasing complexity of decision–making pushes organizations to automate this process. One of the key elements of this is decision support systems. This paper examines their theoretical and practical aspects. The formulated definition, as well as the provided list of the main attributes and functions of systems of this type, made it possible to identify one of the most promising areas in the use of artificial intelligence in this area – multi-agent systems.

The conducted analysis of current decision support systems showed the main competitive advantages, common weaknesses of many of them, as well as the importance of developing a domestic intelligent decision support system.

Keywords: *intelligent systems, decision support systems, multi–agent systems, decision making, information systems, computer modeling.*

REFERENCES

1. *Tikhanychev O.V.* Teoriya i praktika avtomatizatsii podderzhki prinyatiya resheniy. M.: Editus, 2018. 76 s.
2. *Zaslavskaya V.L.* Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy i ikh rol' v informatsionno–upravlyayushchikh sistemakh // *Ekonomika i upravleniye: problemy, resheniya.* 2022. T. 2. № 12. S. 144–153.
3. *Larichev O.I., Petrovskiy A.V.* Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy ikh razvitiya // *Itogi nauki i tekhniki. Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika. Teoreticheskaya kibernetika.* 1987. T. 21. S. 131–164.

4. *Budanitskiy A.V.* Kharakteristika sistem podderzhki prinyatiya resheniy i ikh analiz // Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam. 2018. T. 2. S. 575–578.

5. *Nazarova O.O.* Evolyutsiya sistem podderzhki prinyatiya resheniy // Dnevnik nauki. 2022. № 3(63). S. 1–7.

6. *Alshibly H.* Investigating Decision Support System (DSS) Success: A Partial Least Squares Structural Equation Modeling Approach // Journal of Business Studies Quarterly. 2015. Vol. 6. P. 56–77.

7. *Kosnikov S.N., Zolkin A.L., Atayeva L.B., Zhil'tsov S.A.* Razrabotka pol'zovatel'skogo interfeysa i upravleniye informatsiyey v sistemakh podderzhki prinyatiya resheniy // Mezhdunarodnyy zhurnal. Yestestvenno–gumanitarnyye issledovaniya. 2023. №5 (49). S. 406–409.

8. *Peng S.* The influence of Graphical User Interfaces on human–computer interaction and the impact of organizing software on decision–making process // Proceedings of the 4th International Conference on Signal Processing and Machine Learning, Chicago, USA, 15 January 2024. SPE: 2024, P. 213–221.

9. *Changlin H. Yufen L.* A survey of intelligent decision support system // 7th International conference on Applied Science, Engineering and Technology. Qingdao, China, 29–30 July 2017. Atlantis press: 2017, P. 201–206.

10. *Appalonova N.A., Tasuyeva KH.Z.A., Potapov A.A.* Perspektivy vnedreniya neyronnykh setey v realizatsiyu sistem podderzhki prinyatiya resheniy // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. 2024. № 82–3. S. 37–40.

11. *Massel A.G., Galperov V.I., Kuzmin V.R.* Agent–service Approach for Development of Intelligent Decision–making Support Systems // VIth International Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent Agent–Based, Cloud Computing and Cyber Security» (IWCI 2019), Irkutsk, 17–24 March 2019. Atlantis press: 2019, P. 211–215.

12. *Demidovskiy A.V., Babkin E.A.* Integrirovannyye neyrosimvolicheskiye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: problemy i perspektivy // Biznes–informatika. 2021. T. 15. № 3. S. 7–23.

13. *Baluta V.I., Osipov V.P., Sivakova T.V.* Predlozheniya po razrabotke sredstv povysheniya effektivnosti upravleniya v usloviyakh epidemiy // Elektronnyye biblioteki. 2021. T. 24. № 1. S. 20–41.

14. *Zhilyayev A.A.* Ontologii kak instrument sozdaniya otkrytykh mul'tiagentnykh sistem upravleniya resursami // Ontologiya proyektirovaniya. 2019. T.9. №2(32). S. 261–281.

15. *Levkina I.N., Ledeneva T.M.* Obshchaya struktura mnogoagentnoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy // Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh. 2020. № 5–5. S. 43–46.

16. *Nikitina YA.S., Vertakova YU.V., Pashkova L.L.* Sovremennyye programmnyye i tekhnicheskiye sredstva podderzhki i prinyatiya organizatsionno–upravlencheskikh resheniy // Sbornik nauchnykh statey 8–y Vserossiyskoy nauchno–prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Issledovaniye innovatsionnogo potentsiala obshchestva i formirovaniye napravleniy yego strategicheskogo razvitiya», Kursk, Rossiya, 28–29 dekabrya 2018 g., Izdatel'stvo: ZAO «Universitetskaya kniga», 2018. S. 295–300.

17. *Rvacheva A.S., Arnayev M.A., Nikitin N.N., Mandzhiyeva A.B., Patdyeyeva A., Krasnorutskaya K.A., Chimidov D.B.* Analiz sushchestvuyushchikh sredstv IKT i programmnykh resheniy v oblasti podderzhki prinyatiya resheniya kommercheskikh organizatsiy // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2023. № 5. S. 824–827.

18. *Petrova E.S., Ștefănescu R.* Decision making, some individual decision–making styles and software for decision making and strategic planning // Przegląd Nauk o Obronności. 2022. Vol. 1. P. 1–12.

19. G2 official site. URL: <https://www.g2.com>.

20. *Kamilova R.SH., Kuznetsova M.A.* Programmnyy kompleks «Al't–Finansy». sravnitel'nyy analiz, dostoinstva i nedostatki // Ekonomika i sotsium. 2021. № 12 (91). S. 52–54.

21. Al't–Invest. Al't–finansy Summ.
URL: <https://www.alt-invest.ru/program/alt-finance/>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ЧЕЧНЕВ Василий Борисович – аспирант Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, специальность «Когнитивное моделирование».

Vasily Borisovich CHECHNEV – Postgraduate student at Bauman Moscow State Technical University, specialty «Cognitive modeling».

email: gegrev@yandex.ru

ORCID: 0009-0000-1523-3294

Материал поступил в редакцию 9 сентября 2024 года