НОВАЯ НАУКА
Международный центр
научного партнерства

NEW SCIENCE
International Center
for Scientific Partnership

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ НАУКА: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Монография

г. Петрозаводск
Российская Федерация
МЦНП «НОВАЯ НАУКА»
2026

УДК 001.12
ББК 70
Ф94

Рецензенты:

Аймурзина Б.Т., доктор экономических наук
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»
Жуманиязов М.Ж., доктор технических наук
Ургенчский государственный университет
Героева Л.М., доктор педагогических наук
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный институт культуры»

Коллектив авторов:

Богданова Е.А., Бондаренко А.И., Буряков Н.П., Гулай А.В., Гуляев М.Д., Дупляк В.В., Козлов С.С., Корчажкина О.М., Максимова Е.А., Микаелян С.М., Милованова М.В., Морозова О.Н., Полянская И.С., Раскильдина Г.З., Рыбинец А.Г., Саенко О.Н., Салех Х., Соков С.А., Хамви М.Н., Худякова О.Ю., Шамне Н.Л., Шаповалов С.О.

Ф94 Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития : монография / Е. А. Богданова, А. И. Бондаренко, Н. П. Буряков [и др.]. — Петрозаводск : МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2026. – 465 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-00215-476-0
DOI 10.46916/02062026-1-978-5-00215-476-0

В монографии рассматривается круг актуальных вопросов, стоящих перед современными исследователями в обозначенных областях, предлагается новое видение ряда концептов. Издание может быть полезно научным работникам, специалистам-практикам, преподавателям всех уровней образования, интересующимся проблемами развития современной науки.

Авторы публикуемых работ несут ответственность за их содержание, точность цитат, легитимность использования иллюстраций, приведенных цифр, фактов, названий, персональных данных и иной информации, а также за соблюдение законодательства Российской Федерации и сам факт публикации.

Полные тексты работ в открытом доступе размещены в Научной электронной библиотеке Elibrary.ru в соответствии с Договором № 467-03/2018К от 19.03.2018 г.

УДК 001.12
ББК 70

ISBN 978-5-00215-476-0

© Коллектив авторов, текст, иллюстрации, 2026
© МЦНП «НОВАЯ НАУКА» (ИП Ивановская И.И.), оформление, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ I. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА 5

Глава 1. ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА В XXI ВЕКЕ: ОТ КЛАССИЧЕСКОГО ИСТОРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛИЗМА К ТЕОРИИ СМЕНЫ НОСИТЕЛЯ КООРДИНАЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 5
Рыбинец Александр Геннадьевич

Глава 2. ПОЛИТИЧЕСКАЯ ЭКОНОМИЯ НЕРАВЕНСТВА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ В КАПИТАЛОКРАТИЧЕСКИХ И МЕРИТОКРАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 33
Рыбинец Александр Геннадьевич

Глава 3. РЕНТА, РЕНТООРИЕНТИРОВАННОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: ПОЛИТЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ..... 61
Рыбинец Александр Геннадьевич

Глава 4. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЭД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЛАГАМИ: МЕТОДЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ..... 89
Худякова Ольга Юрьевна

Глава 5. ТРАНСФОРМАЦИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ СТРАТЕГИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ..... 109
Саенко Ольга Николаевна

Глава 6. ЮРИДИЧЕСКАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ: ОТ ИСТОРИИ К СОВРЕМЕННОСТИ 126
Козлов Сергей Сергеевич, Бондаренко Алина Игоревна

РАЗДЕЛ II. ДИССЕМИНАЦИЯ ИННОВАЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОПЫТА..... 147

Глава 7. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ..... 147
Максимова Елена Александровна

Глава 8. ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ 166
Гулай Анатолий Владимирович, Богданова Елена Андреевна

Глава 9. РОЛЬ И МЕСТО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 231
Морозова Ольга Николаевна, Дупляк Владислав Васильевич

Глава 10. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ И ВНЕДРЕНИЮ НАНОЧАСТИЦ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ 250
Соков Сергей Александрович, Раскильдина Гульнара Зинуровна

Глава 11. МЕТРИЧЕСКАЯ ТАКСОНОМИЯ БИОЭЛЕМЕНТОВ В БИОТЕХНОЛОГИИ: ОТ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННЫХ ОЗЁР К УПРАВЛЕНИЮ БИОРЕАКТОРОМ 267
Полянская Ирина Сергеевна

Глава 12. УДОВЛЕТВОРЕНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ БЫСТРОРАСТУЩИХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ И НИЛЬСКОЙ ТИЛЯПИИ В РАЗВЕТВЛЁННЫХ АМИНОКИСЛОТАХ И ЭКЗОГЕННЫХ ПРОТЕАЗАХ 299
Салех Хатем, Хамви Мохамад Навар,
Буряков Николай Петрович, Шаповалов Сергей Олегович

РАЗДЕЛ III. НАУКА, КУЛЬТУРА, ОБРАЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА 320

Глава 13. ЦИФРОВЫЕ СЦЕНАРИИ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ: ОТ ЕВРОПЕЙСКИХ МОДЕЛЕЙ К РОССИЙСКОЙ ПРАКТИКЕ 320
Шамне Николай Леонидович

Глава 14. ПРЕПОДАВАНИЕ РУССКОГО ЯЗЫКА В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И НОВЫХ КОГНИТИВНЫХ ПАТТЕРНОВ 369
Милованова Марина Васильевна

Глава 15. АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ ЕРШОВ О ПЕРСПЕКТИВАХ И РЕАЛИЯХ СОЗДАНИЯ «МАШИННОГО ФОНДА РУССКОГО ЯЗЫКА» 406
Корчажкина Ольга Максимовна

Глава 16. РАЗВИТИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ФИЗКУЛЬТУРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) 434
Гуляев Михаил Дмитриевич

Глава 17. ПРЕДМЕТ «ДЖАЗОВЫЙ АНСАМБЛЬ» В МУЗЫКАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ: ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ 451
Микаелян Софи Мартиновна

РАЗДЕЛ I. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

Глава 1.
ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА В XXI ВЕКЕ: ОТ КЛАССИЧЕСКОГО ИСТОРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛИЗМА К ТЕОРИИ СМЕНЫ НОСИТЕЛЯ КООРДИНАЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рыбинец Александр Геннадьевич
к.э.н., доцент кафедры МЭО
и внешнеэкономических связей
факультет международных
экономических отношений
Дипломатическая академия
МГИМО МИД РФ

Аннотация: Глава посвящена анализу эволюции формационного подхода в экономической науке — от классических оснований исторического материализма Маркса и Энгельса через критическое переосмысление XX века к разработке принципиально нового теоретического инструментария. Исследуются методологические достоинства и системные ограничения классической пятичленной схемы исторических стадий: евроцентризм, телеологизм и экономический редукционизм. Рассматриваются ключевые альтернативные подходы к формационному анализу: веберовская концепция рационализации и типология господства, неомарксистские альтернативы (концепция культурной гегемонии Грамши, мир-системный анализ Валлерстайна, «двойное движение» Поланьи), а также институциональное прочтение формационной динамики в работах Норта и Аджемоглу–Робинсона. Центральное место занимает развёрнутый анализ координационной

теории формаций, изложенной в авторском учебнике «Современная политическая экономия», которая предлагает в качестве системообразующего принципа смену носителя координации экономической деятельности вместо классической смены форм собственности. На этом основании выделяются пять архетипов формаций: органическая, персонифицированно-иерархическая, нормативно-институциональная, информационно-сетевая и техно-синтетическая, — связанных с ростом сложности общества и соответствующим усложнением механизмов координации. Обосновывается, что главным противоречием XXI века является разрыв между скоростью развития техносистем и адаптивными возможностями человеческих институтов.

Ключевые слова: формационный анализ; координационная теория формаций; цифровая экономика; государственно-центричная меритократия; техно-синтетическая формация.

EVOLUTION OF FORMATIONAL ANALYSIS IN THE 21ST CENTURY: FROM CLASSICAL HISTORICAL MATERIALISM TO THE THEORY OF CHANGE OF THE CARRIER OF COORDINATION OF ECONOMIC ACTIVITIES

Rybinets Alexander Gennadievich
PhD in Economics, Associate Professor,
Department of International Economic Relations and
Foreign Economic Relations, International Faculty
of Economic Relations, Diplomatic Academy
MGIMO University of the Ministry
of Foreign Affairs of the Russian Federation

Abstract: This chapter analyzes the evolution of the formational approach in economics, from the classical foundations of Marx and Engels's

historical materialism through the critical rethinking of the 20th century to the development of a fundamentally new theoretical toolkit. The article explores the methodological merits and systemic limitations of the classical five-term scheme of historical stages: Eurocentrism, teleologism, and economic reductionism. Key alternative approaches to formational analysis are considered: Weber's concept of rationalization and the typology of domination, neo-Marxist alternatives (Gramsci's concept of cultural hegemony, Wallerstein's world-systems analysis, Polanyi's «double movement»), as well as the institutional reading of formational dynamics in the works of North and Acemoglu-Robinson. A central place is occupied by a detailed analysis of the coordination theory of formations, presented in the author's textbook «Modern Political Economy», which proposes a change in the carrier of economic activity coordination as a system-forming principle, instead of a classical change in ownership forms. On this basis, five archetypes of formations are identified: organic, personalized-hierarchical, normative-institutional, information-network, and techno-synthetic,— associated with the growing complexity of society and the corresponding increase in the sophistication of coordination mechanisms. It is argued that the main contradiction of the 21st century is the gap between the rate of development of technosystems and the adaptive capacity of human institutions.

Key words: formation analysis; coordination theory of formations; digital economy; state-centric meritocracy; techno-synthetic formation.

Введение

Формационный анализ — одна из наиболее масштабных и амбициозных интеллектуальных программ в истории общественной мысли. Стремление выявить глубинные закономерности исторического развития человеческих обществ, определить принципы смены одних форм общественной организации другими, понять логику долгосрочных

социально-экономических трансформаций — эти задачи неизменно привлекали мыслителей, начиная с классиков политической экономии XIX века и заканчивая современными исследователями. Вместе с тем именно масштаб претензий формационной теории предопределил остроту критики в её адрес: телеологизм, евроцентризм, экономический редукционизм — эти обвинения на протяжении полутора столетий сопровождают марксистский формационный анализ. Вопрос состоит не в том, устарел ли формационный анализ как таковой, а в том, как обновить его категориальный аппарат, сохранив объяснительную силу при преодолении классических ограничений.

Настоящая глава посвящена анализу эволюции формационного подхода — от классических оснований исторического материализма Маркса и Энгельса через критическое переосмысление XX века к формированию принципиально нового теоретического подхода, предложенного в современной российской политической экономии. Центральной теоретической инновацией, рассматриваемой в главе, является координационная теория формаций — концепция, переносящая аналитический фокус с категории способа производства на принцип смены носителя координации экономической деятельности. Это смещение фокуса позволяет сохранить фундаментальное достоинство формационного анализа — способность объяснять вековые трансформации в организации человеческих обществ — при одновременном преодолении телеологизма, евроцентризма и экономического редукционизма классической марксистской схемы.

Актуальность темы определяется не только академическим интересом к методологическим основаниям политической экономии. В условиях формирования новых технологических укладов, экспансии алгоритмических систем управления, конкуренции техно-экономических блоков и нарастания глобальной нестабильности именно формационный анализ предоставляет инструментарий для понимания происходящих трансформаций в самой долгосрочной перспективе. Науке нужны

категории, способные описать переход от индустриального к постиндустриальному обществу, не редуцируя его ни к технологическому детерминизму, ни к идеологическим конструктам.

1. Классические основания формационного анализа: достижения и пределы

1.1. Диалектический метод и материалистическое понимание истории

Интеллектуальный фундамент формационного анализа был заложен в середине XIX века Карлом Марксом и Фридрихом Энгельсом в ходе создания материалистического понимания истории. В методологическом отношении исходным пунктом послужила критическая переработка гегелевской диалектики: Маркс, по его собственному выражению, «поставил диалектику с головы на ноги» — от идеалистического к материалистическому её основанию. Если для Гегеля движущей силой истории является саморазвитие Абсолютного духа, то для Маркса — противоречия материальной жизни общества, и прежде всего противоречия в системе производства материальных благ. «Мой диалектический метод не только в корне отличается от гегелевского, но представляет собой его прямую противоположность. Для Гегеля процесс мышления... есть творец действительного... У меня же, наоборот, идеальное есть не что иное, как материальное, пересаженное в человеческую голову и преобразованное в ней» [7, с. 21].

Ключевой принцип исторического материализма был сформулирован Марксом в «Предисловии к критике политической экономии» (1859): «Способ производства материальной жизни обусловливает социальный, политический и духовный процессы жизни вообще. Не сознание людей определяет их бытие, а, наоборот, их общественное бытие определяет их сознание» [8, с. 7]. Этот тезис обозначает принципиальный поворот в социальных науках: от идеалистических объяснений исторических событий через религию,

великих личностей или провидение — к анализу материальных условий производства и воспроизводства жизни как первичных детерминант общественных отношений.

Диалектический метод предполагает рассмотрение экономических систем как внутренне противоречивых, динамичных образований, развивающихся через разрешение противоречий. В применении к анализу общественных формаций это означает: каждый исторический тип общественной организации содержит в себе противоречие между развивающимися производительными силами и существующими производственными отношениями. Это противоречие нарастает по мере технологического прогресса и на определённом этапе становится непримиримым, что создаёт объективные предпосылки для качественного перехода к новому типу общественной организации. История в этой перспективе предстаёт не как хаотическая смена событий, а как закономерный процесс разрешения нарастающих противоречий.

1.2. Способ производства как центральная категория

Категория способа производства является системообразующей для классического формационного анализа. Способ производства представляет собой единство производительных сил — совокупности средств производства, рабочей силы, технологий — и производственных отношений, то есть отношений между людьми в процессе производства, распределения, обмена и потребления, центральным элементом которых является форма собственности на средства производства. Производительные силы развиваются относительно непрерывно и автономно, движимые логикой технологического прогресса, тогда как производственные отношения обладают значительной инерцией, будучи закреплёнными в правовых нормах, институтах, формах собственности. Это различие в темпах изменения порождает нарастающее противоречие, разрешение которого составляет логику смены формаций. Как писал

Маркс, на определённой ступени развития «производительные силы общества приходят в противоречие с существующими производственными отношениями... Из форм развития производительных сил эти отношения превращаются в их оковы. Тогда наступает эпоха социальной революции» [8, с. 7].

Анализ способа производства раскрывает Маркс в «Капитале» (1867), сосредоточившись на капиталистическом способе производства как наиболее развитом и внутренне противоречивом из всех исторически известных. Центральной категорией анализа является прибавочная стоимость — часть стоимости, создаваемая трудом наёмных работников сверх стоимости их рабочей силы и безвозмездно присваиваемая капиталистами. Как подчёркивал Маркс, «капитал — это не вещь, а определённое, общественное, принадлежащее определённой исторической формации общества производственное отношение» [7, с. 784]. Это определение принципиально: капитал является социальным отношением, а не физическим объектом, что открывает вопрос о его исторической преходящести.

Российская экономическая и философская мысль внесла существенный вклад в развитие и распространение формационного анализа. Георгий Валентинович Плеханов — выдающийся российский философ и экономист, первый систематический популяризатор марксизма в России, — в фундаментальном труде «К вопросу о развитии монистического взгляда на историю» (1895) адаптировал материалистическое понимание истории к анализу российских условий, обосновав закономерность перехода от феодализма к капитализму для стран с различными траекториями исторического развития [9]. Владимир Ильич Ленин в работе «Империализм как высшая стадия капитализма» (1916) развил марксистский формационный анализ применительно к качественно новому этапу — эпохе монополистического капитала, финансовой олигархии и империалистического раздела мира [5], показав,

что формационный анализ способен к развитию внутри единой формации, выявляя качественно различные стадии её эволюции.

1.3. Классическая пятичленная схема: достижения и системные ограничения

Канонической формой классического марксистского формационного анализа стала пятичленная схема исторических стадий: первобытно-общинная, рабовладельческая, феодальная, капиталистическая и коммунистическая (с переходной социалистической) формации. Эта схема, получившая окончательное оформление в советской обществоведческой традиции 1930-х годов, предлагала универсальную типологию исторического развития, претендуя на применимость ко всем народам и эпохам. Её достоинствами были: чёткость критериев периодизации (форма собственности на средства производства), единство принципа объяснения, связь между типом общества и господствующим классом, а также способность к объяснению революционных переходов между формациями.

Вместе с тем схема обнаружила ряд системных ограничений, ставших предметом масштабной критики. Во-первых, евроцентризм: схема строилась на основе западноевропейского исторического опыта и некритически распространялась на неевропейские цивилизации, история которых не укладывалась в предписанную последовательность стадий. Древний Восток, с его «азиатским способом производства», доколониальная Африка, доконтактная Америка — все эти цивилизационные траектории с трудом поддавались формационной классификации по западноевропейскому шаблону. Во-вторых, телеологизм: схема предполагала неизбежность движения к коммунизму как высшей и окончательной стадии развития, что приписывало истории заранее определённую цель и порождало историцизм в критикуемом Карлом Поппером смысле. В-третьих, экономический редукционизм: классическое понимание исторического материализма нередко

сводилось к механическому выведению всех явлений надстройки из экономического базиса, недооценивая относительную автономию культуры, идеологии, политических институтов.

Немаловажно, что сам Маркс никогда не предлагал жёсткой пятичленной схемы в той форме, в которой она была канонизирована советским обществоведением. В его поздних работах, особенно в «Этнологических тетрадях» (1880–1882), Маркс демонстрировал значительно большую чувствительность к разнообразию исторических траекторий. Иммануил Валлерстайн, американский социолог и создатель мир-системного анализа, поставил под сомнение саму единицу формационного анализа — национальное государство. В «Современной мировой системе» (1974) он показал, что капитализм с момента своего возникновения является мировой системой, внутри которой страны занимают структурно различные позиции — ядра, полупериферии и периферии, — и эти различия не сводятся к разным стадиям единой последовательности, а воспроизводятся как системное свойство глобального неравенства [22].

2. Критические интерпретации и альтернативные подходы к формационному анализу

2.1. Веберовская альтернатива: культура, рациональность и институты

Наиболее влиятельной альтернативой марксистскому формационному анализу стала веберовская социология хозяйства. Макс Вебер в «Протестантской этике и духе капитализма» (1905) оспорил приоритет экономических факторов в объяснении возникновения капитализма, показав конститутивную роль религиозно-этических ценностей. Протестантская этика с её концепциями предопределения, профессионального призвания и аскетизма, по Веберу, создала специфический «дух капитализма» — систему ценностных ориентаций, без которой рациональное капиталистическое предприятие не могло бы возникнуть вне зависимости от наличия материальных предпосылок [23].

Этот аргумент не опровергал значимости производственных отношений, но доказывал нередуцируемость культурных и ценностных факторов к ним.

Принципиальным методологическим вкладом Вебера, значимым для современного формационного анализа, является концепция рационализации как ключевого процесса исторического развития западного общества. Рационализация — это систематическое, методическое подчинение всех сфер жизни принципу целерациональности, максимизации эффективности средств для достижения целей. Именно рационализация, а не смена форм собственности является для Вебера фундаментальным процессом, порождающим специфику современного западного капитализма: формальное право, рациональная бюрократия, двойная бухгалтерия, организация свободного труда. Это «расколдовывание мира» открывало возможность для систематического контроля природы и общества, но одновременно порождало «железную клетку» бюрократической рациональности, подавляющей традиционные смыслы и ценности [24].

Для современного формационного анализа веберовский подход важен прежде всего указанием на то, что переход между историческими типами общественной организации не сводится к смене форм собственности, но включает трансформацию ценностей, легитимирующих принципов власти и механизмов её осуществления. Трёхчленная типология господства Вебера — традиционное, харизматическое и рационально-легальное — предвосхищает идею о том, что различные исторические эпохи конституируются прежде всего различными механизмами организации и легитимации власти, а не только различными формами собственности на средства производства.

2.2. Неомарксистские альтернативы: мир-система, регуляция и гегемония

Западный неомарксизм XX века предложил ряд существенных расширений и корректив классического формационного анализа.

Итальянский марксист Антонио Грамши в «Тюремных тетрадях» (1929–1935) разработал концепцию культурной гегемонии, показав, что господство в капиталистическом обществе поддерживается не только экономическим и политическим принуждением, но и идеологическим консенсусом, формируемым через систему образования, средства массовой информации, культурные институты [3]. Это расширение марксистского анализа за пределы производственных отношений в сферу надстроечных механизмов воспроизводства власти принципиально для понимания устойчивости общественных формаций: они воспроизводятся не только через экономические механизмы, но и через культурное производство «согласия».

Французская регуляционная школа (Мишель Альетта, Робер Буайе) разработала концепцию режимов накопления и способов регуляции как инструмент анализа среднесрочных трансформаций внутри капиталистической формации. В рамках этого подхода выделяются различные конфигурации капитализма — экстенсивный и интенсивный режимы накопления, фордистские и постфордистские способы регуляции, — не сводимые к единой модели. Это позволяло объяснять существенные различия между национальными моделями капитализма без отказа от формационного мышления. Британский экономист и политолог Боб Джессоп, развивая регуляционный подход, показал, что государство является активным участником процесса регуляции, а не пассивным инструментом классовой гегемонии, — и что его формы существенно варьируются в различных исторических и национальных контекстах.

Венгро-американский экономист Карл Поланьи в «Великой трансформации» (1944) предложил принципиально иную аналитическую рамку для понимания исторических переходов: не противоречие производительных сил и производственных отношений, а диалектику встраивания (*embeddedness*) и вытеснения (*disembeddedness*) рынка из

социальных отношений. Поланьи показал, что возникновение саморегулирующегося рынка в XIX веке представляло собой исторически уникальный эксперимент, предполагавший насильственное выделение экономики из социального контекста и превращение труда, земли и денег в товары. Это порождало «двойное движение»: экспансии рыночной координации навстречу шло контрдвижение общества, стремящегося защитить себя от деструктивных последствий этой экспансии [20]. Концепция Поланьи ценна для формационного анализа указанием на то, что смена координационных механизмов представляет собой не только экономический, но и социальный и политический процесс, включающий конфликт между различными логиками организации общественной жизни.

2.3. Институциональное прочтение формационной динамики

Институциональная экономика, в особенности в версии американского экономиста, лауреата Нобелевской премии по экономике 1993 года Дугласа Сесила Норта, предложила инструментарий, применимый к анализу долгосрочных трансформаций, сопоставимых по масштабу с формационными переходами. Норт в «Институтах, институциональных изменениях и функционировании экономики» (1990) показал, что экономическая результативность определяется не только ресурсами и технологиями, но прежде всего институциональной матрицей — совокупностью формальных правил и неформальных ограничений, структурирующих взаимодействие между агентами [19]. Концепция зависимости от предшествующей траектории (*path dependence*) объясняет устойчивость институциональных конфигураций даже после исчезновения породивших их условий: однажды сложившиеся институты создают самовоспроизводящиеся механизмы, делая отклонение от траектории нарастающе затратным. Это наблюдение принципиально важно для понимания того, почему формационные переходы происходят не плавно, а через критические точки —

«институциональные разрывы», когда инерция прежней системы преодолевается под давлением накопившихся противоречий.

Дарон Аджемоглу, профессор Массачусетского технологического института, лауреат Нобелевской премии по экономике 2024 года, и Джеймс Алан Робинсон в фундаментальном исследовании «Почему одни страны богатые, а другие бедные» (2012) развернули формационно-институциональный анализ, показав, что фундаментальное различие между процветающими и отстающими странами определяется характером политических и экономических институтов — «включающих» (*inclusive*) или «извлекающих» (*extractive*). Включающие институты создают широко распределённые стимулы для инновации и продуктивной деятельности; извлекающие — концентрируют ресурсы в руках элит за счёт широких слоёв населения [1]. Принципиально, что авторы показывают: различие это коренится не в географии или культуре, а в критических исторических развилках, когда различные группы общества с различной властью принимали решения об институциональном устройстве. Это приближает институциональный анализ к формационному мышлению, хотя и сохраняет принципиальные различия в уровне абстракции.

3. Координационная теория формаций: принцип смены носителя координации

3.1. От способа производства к механизму координации: логика нового подхода

Анализ классического формационного анализа и его критик позволяет сформулировать требования к обновлённой теории. Она должна: (1) сохранять способность к объяснению долгосрочных, вековых трансформаций в организации экономической и социальной жизни; (2) преодолевать евроцентризм, предлагая категории, применимые к различным цивилизационным траекториям; (3) избегать телеологизма, признавая многовариантность возможных траекторий развития;

(4) учитывать относительную автономию политических, культурных и институциональных факторов, не сводя их к экономическому детерминизму; (5) обладать аналитической применимостью к явлениям цифровой экономики, искусственного интеллекта и алгоритмического управления — феноменам, которые классическая схема не могла предвидеть.

Координационная теория формаций, изложенная в авторском учебнике «Современная политическая экономия» (2026) [11], отвечает на эти требования, предлагая принципиально иной аналитический принцип. Вместо категории способа производства в качестве системообразующей вводится категория *носителя координации* — той сущности (человека, института, нормы, алгоритма), которая в данную историческую эпоху выполняет ключевую функцию организации совместной деятельности людей, распределения ресурсов, труда и информации, а также осуществления властных отношений. Этот подход опирается на идею, что история движется не столько борьбой классов или культурными сдвигами, сколько ростом сложности общества, требующим всё более мощных механизмов координации [11].

Логика координационной теории отчётливо прослеживает преемственность с рядом важных теоретических традиций. Связь с тектологией Александра Александровича Богданова — выдающегося русского учёного-энциклопедиста, одного из создателей системного подхода в науке: в «Тектологии: Всеобщей организационной науке» (1922) Богданов разработал универсальную теорию организационных форм и процессов, показав, что все явления природы, общества и мышления подчиняются единым принципам организации и дезорганизации [2]. Идея Богданова о том, что различные типы систем характеризуются специфическими механизмами организации — тектологическими комплексами, — предвосхитила координационный подход к типологии общественных формаций. Связь с теорией трансакционных издержек и институциональной экономикой:

координация является центральной проблемой этой традиции, начиная с классической работы Рональда Коуза о природе фирмы (1937), показавшей, что различные механизмы координации — рынок и иерархия — имеют различные издержки применения, и выбор между ними определяется конкретными условиями трансакций [4].

Принципиальный вклад авторской координационной теории [11], состоит в следующем: если классический формационный анализ спрашивает *«кому принадлежат средства производства?»*, то координационная теория спрашивает *«кто или что является ключевым узлом контроля над координацией?»* Первый вопрос ведёт к типологии по форме собственности и классовой структуре. Второй — к типологии по механизму организации власти и совместной деятельности, что оказывается более широкой категорией, способной охватить в том числе те исторические конфигурации, в которых отношения собственности не являются определяющими (традиционные общества с общинной собственностью, современные платформенные экономики, где собственность на алгоритм является лишь одним из механизмов власти).

3.2. Пять архетипов формаций

Координационная теория выделяет пять фундаментальных архетипов формаций [11], каждый из которых характеризуется специфическим механизмом организации совместной деятельности, специфическим носителем координирующей функции и специфической логикой власти. Принципиально важно, что речь идёт об архетипах — идеальных типах в веберовском смысле — а не о жёсткой хронологической последовательности. Реальные общества могут сочетать элементы различных архетипов, демонстрировать гибридные конфигурации или переходить от одного типа к другому, минуя промежуточные стадии.

Первый архетип — **органическая формация** — характеризуется тем, что координация экономической деятельности встроена в саму ткань социальной жизни и осуществляется через неформализованные

традиции, обычаи и ритуалы. Российский экономист-аграрник Александр Васильевич Чаянов в монографии «Организация крестьянского хозяйства» (1925) показал, что традиционное крестьянское хозяйство функционирует по логике, радикально отличающейся от капиталистической: целью является не максимизация прибыли, а обеспечение воспроизводства семьи при оптимальном соотношении тягот и результатов труда [12]. Это исследование имеет принципиальное значение для координационной теории: оно доказывает, что даже в период господства нормативно-институциональной формации в целом в рамках отдельных хозяйственных укладов могут сохраняться элементы органической координации. Существование различных носителей координации в рамках одного общества — нормальное, а не исключительное состояние.

Второй архетип — **персонифицированно-иерархическая формация** — концентрирует координирующую функцию в руках конкретных властных личностей. Ключевым механизмом координации является личная лояльность и иерархия зависимостей. Этот архетип охватывает широкое разнообразие исторических форм — от вождества первобытной эпохи через восточную деспотию к европейскому феодализму и монархии — и не сводится к единому хронологическому периоду. Важно, что элементы персонифицированной координации сохраняются в значительной части современных экономик, особенно там, где формальные институты слабы, а неформальные сети личных связей компенсируют их недостаточность.

Третий архетип — **нормативно-институциональная формация** — деперсонализирует координацию через формальные институты: правовые нормы, рынки, бюрократические организации. Именно в рамках этой формации существуют современные капиталократии и меритократии как различные институциональные конфигурации [11]. Капиталократии и меритократии различаются направлением

конвертации между экономическим и политическим капиталом, но оба типа разделяют базовый принцип нормативно-институциональной координации: власть легитимируется не личными качествами носителя, а позицией в системе формальных правил. Академик РАН, заведующий лабораторией математической экономики ЦЭМИ РАН Владимир Маурицевич Полтерович, анализируя постсоветские трансформации, показал, что механическая трансплантация нормативно-институциональных форм в контекст с иными неформальными нормами порождает дисфункциональные гибриды [10], — что является косвенным подтверждением координационной теории: носитель координации не сводится к формальным правилам, но включает неформальные нормы и культурные основания.

Четвёртый архетип — **информационно-сетевая формация** — возникает как результат технологических трансформаций, связанных с цифровизацией, платформизацией и развитием искусственного интеллекта [11]. В этой формации значительная часть координирующих функций передаётся алгоритмическим системам, а власть принимает форму контроля над информационной инфраструктурой и данными. Платформенные компании — Alphabet, Amazon, Alibaba, Яндекс — осуществляют координацию миллиардов взаимодействий ежедневно не через правовые нормы или личные связи, а через алгоритмы, которые невидимо формируют выбор и поведение пользователей. Американский экономист, лауреат Нобелевской премии по экономике 2014 года Жан Тироль показал, что платформенные рынки характеризуются сетевыми эффектами и тенденцией к монопольной концентрации, что требует принципиально иных инструментов анализа по сравнению с традиционными рынками [21].

Пятый архетип — **техно-синтетическая формация** — представляет гипотетическое будущее, в котором координация осуществляется комплексными ИИ-системами, интегрирующими биологические и технологические элементы [11]. Вопрос о её

исторической реализуемости остаётся открытым и зависит от траектории технологического развития, институциональных ответов общества на вызовы автоматизации и от того, как разрешится главное противоречие XXI века.

Таблица 1

Пять архетипов формаций: координационная типология (по: Рыбинец, 2026 [11])

Архетип формации	Носитель координации и логика власти	Механизм и принципы организации совместной деятельности
1. Органическая (натурально-координационная)	Сама община как биосоциальный организм. Власть как традиция	Координация встроена в социальную ткань через неформализованные обычаи, ритуалы и нормы реципрокности. Ресурсы распределяются по принципу взаимного дарения. Авторитет основан на возрасте и опыте
2. Персонифицированно-иерархическая	Конкретная властная личность — вождь, монарх, феодальный сеньор. Власть как личность	Координация концентрируется в руках конкретного властителя и его ближайшего окружения. Перераспределение через дань, налог, повинность. Легитимация через сакральный статус или традицию
3. Нормативно-институциональная	Формальные институты, правовые нормы и рыночные механизмы. Власть как закон	Деперсонализация координации: рынок, право, бюрократия. Именно в этой формации существуют современные капиталократии и меритократии. Легитимация через рациональное право
4. Информационно-сетевая	Цифровые платформы и алгоритмы. Власть как алгоритм	Значительная часть координирующих функций передаётся автоматизированным системам. Данные становятся новым ресурсом власти.

Продолжение таблицы 1

		Формальная собственность дополняется инфраструктурным контролем
5. Техно-синтетическая (гипотетическая)	Комплексные ИИ-системы. Власть как система	Координация осуществляется автономными искусственными системами, интегрирующими биологические и технологические элементы. Вопросы собственности, труда, распределения принимают принципиально новые формы

Источник: составлено по: Рыбинец А. Г. Современная политическая экономия. 2026 [11].

3.3. Рост сложности как движущая сила формационного развития

В отличие от классического марксистского механизма смены формаций через обострение классовой борьбы и революционное разрешение противоречия производительных сил и производственных отношений, авторская координационная теория [11] предлагает альтернативный объяснительный принцип: рост сложности общества, требующий всё более мощных механизмов координации. Численный рост населения, географическое расширение экономического пространства, усложнение разделения труда, развитие технологий увеличивают количество взаимодействий, которые необходимо координировать. Когда существующий механизм координации достигает пределов своей пропускной способности, создаются объективные предпосылки для перехода к новому типу организации.

Этот принцип органично связан с идеями кибернетики и теории систем. Александр Александрович Богданов в «Тектологии» (1922) сформулировал принцип «закона наименьших»: устойчивость сложного

целого определяется прочностью его наиболее слабого звена — в данном случае координационного механизма, неспособного справиться с возросшей сложностью взаимодействий [2]. Уильям Росс Эшби во «Введении в кибернетику» (1956) сформулировал «закон необходимого разнообразия»: система управления должна обладать разнообразием, по меньшей мере равным разнообразию управляемой системы. Это означает, что рост сложности управляемой системы требует соответствующего роста сложности механизма управления — то есть носителя координации.

Применительно к переходам между формационными архетипами этот принцип работает следующим образом: органическая координация через традицию была адекватна для общины в сотни человек с ограниченным разделением труда. С ростом численности населения и территории управления потребовалась персонифицированная иерархия, концентрирующая координирующую функцию в фигуре властителя и его аппарата. Рост сложности торговых и производственных отношений потребовал деперсонализации координации через формальное право и рынок. Нынешняя цифровая экономика с триллионами ежесекундных транзакций превосходит координационный потенциал нормативно-институциональных механизмов и порождает запрос на алгоритмическую координацию.

3.4. Ограничения координационной теории

Авторская концепция [11], как и любой теоретический подход, имеет свои ограничения, которые необходимо чётко обозначить для корректного её применения. Первое ограничение — прогностическая скромность: формационный анализ предоставляет инструменты для размышления о возможных траекториях, но не пророческое знание о будущем. Переход к информационно-сетевой или техно-синтетической формации не предопределён и может принять различные формы или вообще не состояться. Второе ограничение — опасность

телеологического мышления, которая сохраняется даже при явном отказе от жёсткого детерминизма. Выделение пяти «последовательных» архетипов легко прочитывается как направленная эволюция, что не входит в намерения теории. Третье ограничение — нелинейность реального исторического процесса: возможны откаты, гибриды, параллельное существование элементов различных формационных архетипов. Четвёртое — риск нового редукционизма: замена экономического редукционизма координационным. Смена акцента с форм собственности на механизмы координации не должна вести к игнорированию культурных, идеологических, геополитических факторов.

4. Главное противоречие XXI века и информационно-сетевая формация

Координационная теория, изложенная в учебнике [11], позволяет сформулировать ключевое противоречие современной эпохи, которое по своему системообразующему характеру сопоставимо с противоречиями, порождавшими прежние формационные переходы [11]. Это противоречие между скоростью развития техносистем — искусственного интеллекта, автоматизации, биотехнологий, цифровых платформ — и способностью человеческих институтов адаптироваться к этим изменениям. Техносистемы усложняются экспоненциально; правовые, политические и образовательные институты изменяются линейно в лучшем случае. Разрыв между этими траекториями создаёт нарастающее напряжение, аналогичное по своей логике противоречию производительных сил и производственных отношений в марксистской схеме, хотя и отличающееся по своей природе.

Академик РАН Сергей Юрьевич Глазьев, разрабатывающий теорию технологических укладов в русле кондратьевской традиции, характеризует современный переход как смену шестого технологического уклада: доминирующими становятся нано- и

биотехнологии, искусственный интеллект и когнитивные науки. Это создаёт принципиально новую конфигурацию производительных сил, которая требует соответствующей трансформации производственных отношений и механизмов координации: «Технологический уклад — это совокупность сопряжённых производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно; его распространение приводит к качественному обновлению экономической системы в целом» [13].

Информационно-сетевая формация, элементы которой уже отчётливо просматриваются в современной глобальной экономике, порождает принципиально новые формы собственности и власти. Контроль над данными становится новым ресурсом власти, не менее значимым, чем контроль над землёй в аграрной экономике или капиталом в индустриальной. Алгоритмы формируют рыночные цены, распределяют рекламные потоки, определяют условия доступа к финансовым ресурсам и общественной информации. Эти процессы ставят фундаментальные вопросы о природе собственности в цифровую эпоху: кому принадлежит алгоритм? Кто контролирует данные? Как регулируется власть платформ, координирующих миллиарды взаимодействий?

Американская исследовательница Шошана Зубофф в концепции «надзорного капитализма» (2019) показала, что платформенные компании не просто используют данные пользователей для совершенствования услуг, но извлекают их как «поведенческий сырой материал» для предсказания и модификации поведения в интересах рекламодателей. Это представляет собой качественно новую форму экономических отношений, не описываемую ни марксистскими категориями эксплуатации наёмного труда, ни неоклассическими категориями рыночного обмена [25]. Координационная теория формаций [11] позволяет концептуализировать этот феномен: власть алгоритма над поведением пользователей является проявлением информационно-

сетевого носителя координации, конститутивного для нарождающейся формации [11].

5. Российский контекст формационного анализа

Применение координационной теории формаций, изложенной в [11], [11] к анализу российской экономики и общества позволяет выявить специфику её институциональной конфигурации, не сводимой ни к западным моделям нормативно-институциональной формации, ни к традиционным незападным типам. Современная Россия демонстрирует сосуществование элементов нескольких формационных архетипов: персонифицированно-иерархической координации (ключевая роль личных связей и лояльности в деловых и политических отношениях), нормативно-институциональной координации (формальные институты рынка и права, при всей их слабости), и нарождающейся информационно-сетевой координации (цифровые платформы, государственные информационные системы, алгоритмическое регулирование финансовых потоков).

Эта гибридность не является отклонением от нормы или признаком «незрелости» институтов по западному образцу. Она отражает специфику российской цивилизационной матрицы, формировавшейся в условиях огромного географического пространства, евразийского геополитического положения, православной культурной традиции и многовекового опыта государственной мобилизации ресурсов для решения стратегических задач. Теория Норта о зависимости от предшествующей траектории применима здесь со всей силой: российские институциональные конфигурации несут отпечаток вековых исторических выборов, и их трансформация не может происходить по произвольному проекту [19].

Академик РАН Полтерович, разработавший теорию институциональных ловушек применительно к постсоветской трансформации, показал, почему механическое копирование

нормативно-институциональных форм западных капиталократий в российском контексте 1990-х годов породило дисфункциональные равновесия, а не эффективные рыночные институты [10]. В терминах авторской координационной теории [11]: трансплантация носителя координации (формального права и рынка) без трансформации неформальных норм и культурных оснований, обеспечивающих его функционирование, не могла дать устойчивого результата.

Александр Александрович Богданов ещё в 1920-х годах поставил принципиальный вопрос о специфике российского пути к более сложным формам хозяйственной организации, подчёркивая, что «организационная наука должна учитывать специфику той живой ткани, в которую встраиваются новые организационные формы» [2]. Этот тезис сохраняет всю свою актуальность применительно к задаче формирования российской модели информационно-сетевой формации: она не может быть простым копированием ни западной платформенной экономики, ни китайской модели цифрового государственного капитализма, но должна органично соответствовать специфике российской институциональной матрицы и стратегическим целям суверенного развития [11].

Заключение

Эволюция формационного анализа, прослеженная в настоящей главе, представляет собой не историю отмирания устаревшей теории, а историю её последовательного усложнения и методологического обогащения. Классические основания исторического материализма — диалектический метод, концепция взаимодействия производительных сил и производственных отношений, идея системных переходов между типами общественной организации — сохраняют непреходящую ценность как аналитический инструмент. Вместе с тем критика евроцентризма, телеологизма и экономического редукционизма, накопленная за полтора века дискуссий, создала основу для принципиального обновления категориального аппарата.

Координационная теория формаций, изложенная в авторском учебнике [11], отвечает на этот вызов, предлагая системообразующий принцип смены носителя координации вместо классической смены форм собственности. Пять архетипов формаций — органическая, персонифицированно-иерархическая, нормативно-институциональная, информационно-сетевая и техно-синтетическая — образуют аналитическую типологию, позволяющую охватить как историческое многообразие форм человеческой организации, так и нарождающиеся трансформации цифровой эпохи. Движущей силой формационных переходов выступает рост сложности общества, требующий всё более мощных механизмов координации, — принцип, имеющий прямую связь с идеями богдановской тектологии и современной кибернетики.

Применение координационной теории к анализу современной российской экономики позволяет понять её специфику как гибридной конфигурации, в которой сосуществуют элементы различных формационных архетипов, — и сформулировать стратегический вопрос о том, как должна быть выстроена российская модель перехода к информационно-сетевой формации, органично соответствующая цивилизационной матрице и стратегическим задачам суверенного развития. Ответ на этот вопрос выходит за пределы академической методологии и становится центральным для современной экономической политики.

Список литературы

1. Аджемоглу Д. Почему одни страны богатые, а другие бедные. Происхождение власти, процветания и нищеты / Д. Аджемоглу, Дж. Робинсон; пер. с англ. Д. Литвинова. — Москва : АСТ, 2015. — 693 с.

2. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука : в 2 кн. / А. А. Богданов; под ред. акад. Л. И. Абалкина [и др.]. — Москва : Экономика, 1989. — Кн. 1. — 304 с.; Кн. 2. — 351 с.

3. Грамши А. Тюремные тетради : в 3 ч. / А. Грамши; пер. с ит. — Москва : Политиздат, 1991. — Ч. 1. — 560 с.

4. Коуз Р. Фирма, рынок и право / Р. Коуз; пер. с англ. Б. Пинскера. — Москва : Новое издательство, 2007. — 224 с.

5. Ленин В. И. Империализм как высшая стадия капитализма / В. И. Ленин // Полное собрание сочинений : в 55 т. — 5-е изд. — Москва : Политиздат, 1969. — Т. 27. — С. 299-426.

6. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Т. 1 / К. Маркс // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения : в 50 т. — 2-е изд. — Москва : Политиздат, 1960. — Т. 23. — 907 с.

7. Маркс К. Капитал. Послесловие ко второму изданию / К. Маркс // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения : в 50 т. — 2-е изд. — Москва : Политиздат, 1960. — Т. 23. — С. 17-22.

8. Маркс К. К критике политической экономии : предисловие / К. Маркс // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения : в 50 т. — 2-е изд. — Москва : Политиздат, 1959. — Т. 13. — С. 5-9.

9. Плеханов Г. В. К вопросу о развитии монистического взгляда на историю / Г. В. Плеханов. — Санкт-Петербург : Типография паровой скоропечатни Г. П. Пожарова, 1895. — 312 с.

10. Полтерович В. М. Элементы теории реформ / В.М. Полтерович. — Москва : Экономика, 2007. — 447 с.

11. Рыбинец А. Г. Современная политэкономия : Учебник / А. Г. Рыбинец. — Б. м. : Издательские решения, 2026. — 794 с. — ISBN 978-5-0069-3579-2. — EDN IZGSAL.

12. Чаянов А. В. Организация крестьянского хозяйства / А. В. Чаянов. — Москва : Кооперативное издательство, 1925. — 215 с.

13. Глазьев С. Ю. Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах / С. Ю. Глазьев. — Москва : Книжный мир, 2018. — 768 с.

14. Acemoglu D. Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty / D. Acemoglu, J. A. Robinson. — New York : Crown Publishers, 2012. — 544 p.

15. Arthur W. B. Complexity and the Economy / W. B. Arthur. — Oxford : Oxford University Press, 1999. — 216 p.

16. Coase R. H. The Nature of the Firm / R. H. Coase // Economica. — 1937. — Vol. 4, No. 16. — P. 386-405. — DOI: 10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x.

17. Glazyev S. The Last World War: The USA to Move and Lose / S. Glazyev. — Moscow : Book World, 2016. — 512 p.

18. Gramsci A. Selections from the Prison Notebooks / A. Gramsci; eds. and transl. Q. Hoare, G. N. Smith. — New York : International Publishers, 1971. — 483 p.

19. North D. C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance / D. C. North. — Cambridge : Cambridge University Press, 1990. — 152 p.

20. Polanyi K. The Great Transformation: The Political and Economic Origins of Our Time / K. Polanyi. — New York : Farrar & Rinehart, 1944. — 317 p.

21. Tirole J. Market Failures and Public Policy / J. Tirole // American Economic Review. — 2015. — Vol. 105, No. 6. — P. 1665-1682.

22. Wallerstein I. The Modern World-System. Vol. I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century / I. Wallerstein. — New York : Academic Press, 1974. — 410 p.

23. Weber M. The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism / M. Weber; transl. T. Parsons. — London : George Allen and Unwin, 1930. — 292 p.

24. Weber M. Economy and Society: An Outline of Interpretive Sociology / M. Weber; eds. G. Roth, C. Wittich. — Berkeley : University of California Press, 1978. — Vol. 1. — 636 p.

25. Zuboff S. The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power / S. Zuboff. — New York : PublicAffairs, 2019. — 691 p.

© Рыбинец А.Г.

Глава 2.
ПОЛИТИЧЕСКАЯ ЭКОНОМИЯ НЕРАВЕНСТВА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ В КАПИТАЛОКРАТИЧЕСКИХ И МЕРИТОКРАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рыбинец Александр Геннадьевич
к.э.н., доцент кафедры МЭО
и внешнеэкономических связей
факультет международных
экономических отношений
Дипломатическая академия
МГИМО МИД РФ

Аннотация: Глава посвящена сравнительному политико-экономическому анализу механизмов неравенства и концентрации власти в двух принципиально различных типах политико-экономических устройств — капиталократиях и меритократиях. Обосновывается, что неравенство является не случайным, а структурным свойством обоих типов систем, воспроизводящимся через специфические институциональные каналы. В качестве центральной аналитической категории используется авторская концепция учебника «Современная политическая экономия», согласно которой ключевым различием между капиталократиями и меритократиями является направление конвертации между экономической и политической властью. Раскрываются шесть форм экономической власти в современной экономике. Систематически исследуется асимметрия информации как фундаментальный источник власти на основе теорий Акерлофа, Спенса и Стиглица, включая её новые проявления в цифровой экономике («надзорный капитализм» Зубофф). Анализируются механизмы концентрации богатства: теорема Пикетти о превышении нормы доходности на капитал над темпами

экономического роста, офшоризация богатства (Цукман), технологическая концентрация через сетевые эффекты (Тироль). Рассматриваются теоретические основания функционирования политических рынков: логика коллективного действия Олсона и проблема принципала-агента Дженсена-Меклинга. Проводится сравнительный анализ механизмов формирования элит в капиталократиях (лоббирование, захват регулятора, идеологическое воспроизводство через меритократический нарратив) и меритократиях (номенклатуру, партийно-государственная интеграция экономики в КНР, ограничения конкурсного отбора). Российский контекст анализируется через призму государственно-центричной меритократии (§15.4 авторского учебника): исторические этапы её формирования, специфика экономической концентрации, роль асимметрии информации в воспроизводстве государственных иерархических преимуществ.

Ключевые слова: капиталократия; меритократия; асимметрия информации; государственно-центричная меритократия.

POLITICAL ECONOMY OF INEQUALITY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF MECHANISMS IN CAPITALOCRATIC AND MERITOCRATIC SYSTEMS

Rybinets Alexander Gennadievich
PhD in Economics, Associate Professor
Department of International Economic Relations and Foreign Economic Relations, International Faculty of Economic Relations, Diplomatic Academy
MGIMO University of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation

Abstract: This chapter provides a comparative political-economic analysis of the mechanisms of inequality and concentration of power in two

fundamentally different types of political-economic systems: capitalocracies and meritocracies. It is argued that inequality is not random, but a structural property of both types of systems, reproduced through specific institutional channels. The central analytical category is the author's concept from the textbook «Modern Political Economy», according to which the key difference between capitalocracies and meritocracies is the direction of conversion between economic and political power. Six forms of economic power in the modern economy are revealed. Information asymmetry as a fundamental source of power is systematically studied based on the theories of Akerlof, Spence, and Stiglitz, including its new manifestations in the digital economy (Zuboff's «surveillance capitalism»). The mechanisms of wealth concentration are analyzed: Piketty's theorem on the excess of the rate of return on capital over the rate of economic growth, wealth offshoring (Zucman), and technological concentration through network effects (Tirol). The theoretical foundations of political markets are examined: Olson's logic of collective action and the Jensen-Meckling principal-agent problem. A comparative analysis is provided of the mechanisms of elite formation in capitalocracies (lobbying, regulatory capture, ideological reproduction through meritocratic narrative) and meritocracies (the nomenklatura, party-state integration of the economy in China, restrictions on competitive selection). The Russian context is analyzed through the prism of state-centric meritocracy (§15.4 of the author's textbook): the historical stages of its formation, the specifics of economic concentration, and the role of information asymmetry in the reproduction of state hierarchical advantages.

Key words: capitalocracy; meritocracy; information asymmetry; state-centric meritocracy.

Введение

Неравенство является одной из центральных проблем политической экономии. Вопрос о том, почему одни индивиды, группы и нации богаче других, занимал экономических мыслителей со времён

классической школы. Однако в последние десятилетия проблематика неравенства приобрела принципиально новое измерение: из аналитической категории она превратилась в инструмент диагностики системных свойств политико-экономических устройств. Неравенство перестало рассматриваться как следствие случайных различий в способностях и усилиях индивидов и всё более осмысляется как структурное свойство определённых институциональных конфигураций, воспроизводящееся через специфические механизмы концентрации власти и богатства [7].

Настоящая глава посвящена сравнительному политико-экономическому анализу механизмов неравенства и концентрации власти в двух принципиально различных типах политико-экономических устройств — капиталократиях и меритократиях. Концептуальный стержень анализа составляют три взаимосвязанных теоретических блока: (1) власть как центральная категория политической экономии в её различных формах и механизмах; (2) асимметрия информации как фундаментальный источник экономической власти, обеспечивающий устойчивое воспроизводство неравенства; (3) механизмы концентрации богатства и власти, специфические для каждого типа устройства. Сравнительный анализ показывает, что оба типа систем демонстрируют устойчивую тенденцию к концентрации, однако реализуют её через принципиально различные институциональные каналы.

Актуальность темы определяется нарастанием неравенства как глобального феномена, усилившегося в последние четыре десятилетия и резко ускорившегося в условиях цифровой экономики. По данным доклада «World Inequality Report 2022», верхний 1% мирового населения присваивает вдвое больший доход, чем нижние 50% вместе взятые. При этом подобная концентрация наблюдается как в либеральных капиталократиях, так и в государственнически ориентированных меритократиях — что свидетельствует о системном, а не случайном характере явления.

1. Власть как центральная категория политической экономии

1.1. Концепция экономической власти и её формы

Власть является фундаментальной категорией политической экономии, определяющей характер экономических отношений, распределение ресурсов и траектории развития обществ. Авторский учебник «Современная политическая экономия» [7] определяет экономическую власть как способность контролировать экономические ресурсы и процессы, влиять на экономические решения других агентов и определять условия экономического взаимодействия. В отличие от неоклассической экономической теории, систематически игнорирующей вопросы власти, современная политическая экономия помещает анализ властных отношений в центр исследования экономических процессов.

Теоретическую традицию концептуализации экономической власти открывает Карл Маркс в «Капитале» (1867), показавший, что власть в капиталистическом обществе коренится прежде всего в контроле над средствами производства: «Капитал — это не вещь, а определённое, общественное, принадлежащее определённой исторической формации общества производственное отношение» [4, с. 784]. Владельцы капитала обладают структурной властью над работниками, вынужденными продавать свою рабочую силу для выживания — власть реализуется не через прямое принуждение, а через структуру самих производственных отношений, делающую для работника соглашение на невыгодных условиях объективно более выгодным, чем отказ от него.

Макс Вебер в «Хозяйстве и обществе» (1922) расширил понимание власти за пределы производственных отношений, рассматривая её как способность навязывать свою волю другим даже вопреки их сопротивлению, независимо от того, на чём эта способность основывается [18]. Принципиальным вкладом Вебера стало разграничение власти и господства, а также типология легитимных оснований господства — традиционного, харизматического и рационально-легального, — каждый из которых создаёт специфические

механизмы воспроизводства властных отношений. Американский экономист-институционалист, профессор Гарвардского университета Джон Кеннет Гэлбрейт в «Новом индустриальном государстве» (1967) конкретизировал эту концепцию применительно к современному капиталистическому предприятию: крупные корпорации приобретают власть над рынками и политическими процессами через контроль над технологиями и информацией, формируя «техноструктуру» — управленческую элиту, определяющую не только производственные, но и политические решения [10].

В авторском учебнике [7] систематизированы основные формы экономической власти в современной экономике. **Власть собственности** — контроль над средствами производства, землёй, капиталом, интеллектуальной собственностью — даёт право принимать решения об использовании ресурсов и исключать других из доступа к ним. **Рыночная власть** — монополия, олигополия или монопсония — позволяет определять условия обмена в ущерб контрагентам. **Финансовая власть** — контроль над потоками капитала и кредита — определяет, какие проекты получают финансирование, а какие нет. **Технологическая власть** — монополия на критические технологии и платформы — обеспечивает структурное превосходство в условиях цифровой экономики. Наконец, **идеологическая власть** — способность формировать систему ценностей и «здравый смысл», в рамках которых принимаются экономические и политические решения, — обеспечивает воспроизводство господства через согласие, а не принуждение.

1.2. Конвертация между экономической и политической властью: ключевое различие типов систем

Центральным аналитическим различием между капиталократиями и меритократиями в авторской концепции [7] является не вопрос о наличии или отсутствии неравенства, а вопрос о *направлении конвертации* между экономической и политической властью. В капиталократиях экономический капитал конвертируется в

политическую власть: владельцы капитала используют экономические ресурсы для финансирования политических кампаний, лоббирования нужного законодательства, приобретения контроля над средствами массовой информации и формирования интеллектуального климата в академическом и экспертном сообществе. В меритократиях, напротив, политическая власть обеспечивает контроль над экономическими ресурсами: государственные должности становятся источником экономического благосостояния через контроль распределения государственных контрактов, доступ к ресурсам государственных предприятий и право регуляторного вмешательства.

Это различие имеет принципиальное значение для анализа механизмов неравенства: в капиталократиях основной канал воспроизводства элиты — накопление и наследование частного капитала; в меритократиях — занятие позиций в государственно-партийной иерархии. Однако в обоих случаях результатом является структурная тенденция к концентрации власти и богатства, воспроизводящаяся через специфические институциональные механизмы. Дарон Аджемоглу, лауреат Нобелевской премии по экономике 2024 года, профессор МТИ, и его соавтор Джеймс Алан Робинсон показали, что различие между «включающими» и «извлекающими» институтами пролегает именно в этой плоскости: включающие институты разрывают канал конвертации частного капитала или политической власти в ренту, тогда как извлекающие его воспроизводят [8].

2. Асимметрия информации как фундаментальный источник экономической власти

2.1. Теоретические основания: от «рынка лимонов» к информационной власти

Теория асимметричной информации, разработанная Джорджем Акерлофом, Майклом Спенсом и Джозефом Стиглицем, удостоившимися совместной Нобелевской премии по экономике в 2001

году, радикально преобразила понимание механизмов рыночного взаимодействия. Их коллективный вклад состоял в доказательстве того, что неравномерное распределение информации между участниками рынка является не исключением, а фундаментальной характеристикой реальных экономических взаимодействий — и что это неравенство само по себе является источником устойчивого властного преимущества для информированной стороны.

Американский экономист Джордж Артур Акерлоф в программной статье «Рынок лимонов: неопределённость качества и рыночный механизм» (1970) создал модель, в которой информационная асимметрия между продавцами и покупателями подержанных автомобилей приводит к прогрессивному ухудшению качества предлагаемых товаров и возможному коллапсу рынка [9]. Фундаментальное значение этой модели состоит не в специфике рынка подержанных автомобилей, а в универсальности механизма неблагоприятного отбора: на страховых рынках, рынках кредита, рынке труда и рынке финансовых инструментов асимметрия информации систематически воспроизводит неэффективные равновесия, создавая структурные преимущества для информированной стороны.

Американский экономист Майкл Спенс в «Рыночных сигналах» (1973) показал, как информированная сторона может закреплять своё информационное преимущество через механизм сигнализирования — передачи достоверных, но дорогостоящих сигналов о скрытых характеристиках [14]. Образование в его модели выполняет функцию сигнала о врождённых способностях работника: получение образования требует меньших усилий для более способных людей, поэтому наличие диплома становится достоверным сигналом компетентности независимо от содержательного обучения. Этот парадоксальный результат имеет далеко идущие следствия для анализа неравенства: элиты в капиталократиях воспроизводят себя отчасти через привилегированный доступ к сигнальным ресурсам — дорогостоящим образовательным

учреждениям, социальным сетям и культурному капиталу, — которые обеспечивают позиционное преимущество независимо от реальных компетенций.

Американский экономист Джозеф Юджин Стиглиц в работе «Скрининг, образование и распределение доходов» (1975) дополнил теорию анализом скрининга — стратегий неинформированной стороны по выявлению скрытых характеристик контрагентов [15]. В совместной работе с Эндрю Вайсом «Кредитное нормирование на рынках с несовершенной информацией» (1981) Стиглиц показал, что информационная асимметрия на кредитных рынках порождает рационирование кредита: банки предпочитают отказать части заёмщиков, нежели повысить процентную ставку, так как повышение ставки привлекает более рискованных заёмщиков и ухудшает средний ожидаемый результат [17]. Это означает, что кредитные рынки функционируют не по логике ценовой координации, а через административное нормирование, порождающее устойчивые неравенства в доступе к финансовым ресурсам между различными группами заёмщиков.

2.2. Информационная власть в цифровую эпоху

Цифровая экономика качественно трансформирует природу информационной асимметрии, не ликвидируя её, но создавая принципиально новые её формы. Если классическая теория асимметричной информации описывала ситуации, где один участник рынка знает что-то, чего не знает другой, то в условиях платформенной экономики асимметрия приобретает новое измерение: платформенные компании собирают и анализируют массивы поведенческих данных о пользователях, которые сами эти пользователи не осознают и не могут интерпретировать. Американская исследовательница Шошана Зубофф определяет эту конфигурацию как «надзорный капитализм» — систему, в которой поведенческие данные пользователей извлекаются как

«сырьё» для предсказания и модификации поведения в интересах рекламодателей [19].

Данный феномен представляет собой качественно новую форму конвертации информационной асимметрии во власть: платформенные компании используют накопленное знание о поведении пользователей не только для рекламных целей, но и для формирования политических предпочтений, манипулирования новостной повесткой и подавления нежелательных общественных дискуссий. Стиглиц в «Глобализации и недовольстве ею» (2002) предупреждал, что либерализация без надлежащего информационного регулирования систематически порождает новые формы власти элит: «Политика финансовой либерализации в отсутствие регулирования информационных потоков создаёт возможности для захвата регуляторов теми, кого они призваны регулировать» [16, с. 54].

3. Механизмы концентрации богатства и власти: Пикетти и Цукман

3.1. Неравенство r > g и его последствия

Французский экономист Тома Пикетти, профессор Высшей школы социальных наук и Парижской школы экономики, в фундаментальной монографии «Капитал в XXI веке» (2014), опираясь на данные о распределении доходов и богатства в двадцати странах за три столетия, сформулировал центральную закономерность: когда норма отдачи на капитал (r) систематически превышает темпы экономического роста (g), происходит автоматическая концентрация богатства у владельцев капитала [13]. Это соотношение — r > g — является не просто эмпирическим наблюдением, но структурным свойством капиталистических экономик в периоды медленного роста. Пикетти показал, что двадцатый век представлял собой аномалию: два мировых вооружённых конфликта, Великая депрессия и послевоенное восстановление создали условия, при которых g временно превышал r, обеспечив беспрецедентное сжатие неравенства в 1945–1975 годах.

С завершением этого исторического эпизода неравенство вернулось к долгосрочной тенденции к нарастанию.

В России книга «Капитал в XXI веке» опубликована в переводе А. Дунаева в издательстве «Ad Marginem Press» в 2015 году [5] и вызвал широкую дискуссию среди российских экономистов о применимости концепции Пикетти к специфике постсоветского перехода. Академик РАН Абел Гезевич Аганбегян, заведующий кафедрой экономической теории и политики РАНХиГС, указывал, что российский феномен концентрации богатства имеет специфику, отличающую его от «типичной» капиталократической траектории: «В России 1990-х годов концентрация богатства обязана не накоплению капитала в нескольких поколениях, а единовременному перераспределению активов через приватизацию — что создало олигархию иного рода, нежели описана у Пикетти: не потомственную, а приватизационную» [1].

Механизм r > g создаёт самоусиливающиеся процессы: концентрация богатства порождает политическое влияние, обеспечивающее tax-политику и регуляторный режим, благоприятствующие дальнейшему накоплению. В типичной капиталократии доходы с капитала облагаются ниже, чем доходы от труда; наследование крупных состояний практически не встречает серьёзного налогового барьера; льготы по налогообложению прибыли корпораций расширяются под давлением корпоративного лоббизма. Эти политические решения не являются случайными — они воспроизводятся как структурное следствие возможности элит конвертировать экономическую власть в политическое влияние.

3.2. Офшорное богатство и налоговая конкуренция

Французско-американский экономист Габриэль Цукман, профессор Калифорнийского университета в Беркли, в работе «Скрытое богатство народов: бич налоговых убежищ» (2015) количественно оценил масштаб офшоризации мирового богатства: около 8% глобальных финансовых

активов домохозяйств — порядка 7,6 триллиона долларов — укрыто в налоговых убежищах, что позволяет наиболее богатым индивидам и корпорациям систематически уклоняться от налогообложения [20]. Эта сумма является консервативной оценкой: она охватывает только финансовые активы в узком смысле и не включает недвижимость, предметы искусства, яхты и другие нефинансовые активы, часто зарегистрированные в офшорных юрисдикциях.

Офшоризация богатства является одним из ключевых механизмов, обеспечивающих разрыв между официально измеряемым неравенством и реальным. По расчётам Цукмана, уклонение от налогов лишает государства Европейского союза около 78 миллиардов евро налоговых поступлений ежегодно — ресурс, который мог бы финансировать системы социальной защиты, но вместо этого концентрируется в руках наиболее состоятельных домохозяйств [20]. В контексте теории власти офшоризация представляет собой системный механизм, обеспечивающий асимметрию между обязательствами богатых элит перед государством и их фактической уплатой налогов — при том что формально правовой режим одинаков для всех налогоплательщиков. Разрыв между формальным равенством перед законом и фактическим неравенством в налоговых обязательствах является одним из ключевых способов, которым экономическая власть воспроизводит себя через правовую систему.

Академик РАН Сергей Юрьевич Глазьев, рассматривая офшоризацию российского бизнеса в контексте теории технологических укладов, констатировал, что офшорный вывод капитала лишает российскую экономику ресурсов инновационного развития: «Отечественный капитал, аккумулированный в офшорных юрисдикциях, не возвращается на родину в форме инвестиций в новый технологический уклад — он остаётся инструментом личного накопления элиты, не работающим на национальное развитие»

[2, с. 214]. По экспертным оценкам Банка России и независимых исследований, через механизмы трансфертного ценообразования и сомнительные операции из России ежегодно утекало от 30 до 80 миллиардов долларов в период 2000–2010-х годов — сумма, сопоставимая с объёмами инвестиций в основной капитал.

3.3. Сетевые эффекты и технологическая концентрация

Цифровая экономика добавила к классическим механизмам концентрации богатства — возрастающей отдаче от капитала, наследованию, офшоризации — принципиально новый: концентрацию, порождаемую сетевыми эффектами на платформенных рынках. Ценность цифровой платформы для каждого пользователя возрастает с увеличением числа участников — что создаёт самоусиливающуюся динамику «победитель забирает всё». Рынок поисковых систем, социальных сетей, операционных систем, торговых платформ — во всех этих сегментах один или два игрока контролируют 80–95% рынка глобально. Состояние десяти богатейших людей мира по данным Forbes за 2024 год превышает 1,5 триллиона долларов — сумма, сопоставимая с ВВП таких стран, как Австралия или Испания. Семь из десяти крупнейших состояний связаны с цифровыми технологиями и платформами.

Французский экономист, лауреат Нобелевской премии по экономике 2014 года Жан Тироль показал, что регулирование платформенных рынков требует принципиально иных подходов, нежели антимонопольное право, разработанное для традиционных рынков с убывающей отдачей: «Стандартные антимонопольные инструменты неприменимы к рынкам, где концентрация является структурным следствием сетевых эффектов, а не злоупотребления монопольным положением» [7, с. 387]. Это наблюдение имеет прямые следствия для анализа неравенства: технологическая концентрация порождает концентрацию богатства, которая не является следствием

«несправедливой конкуренции» в традиционном антимонопольном смысле, а представляет собой структурное свойство цифровых рынков.

4. Политические рынки и формирование элит: теоретическая рамка

4.1. Логика коллективного действия и проблема концентрированных интересов

Американский экономист Манкур Олсон в классической монографии «Логика коллективного действия» (1965) разработал теорию, объясняющую, почему политические системы систематически производят решения в интересах концентрированных меньшинств в ущерб рассредоточенному большинству [12]. Центральный аргумент: небольшие группы с высокими ставками в конкретном политическом решении организуются эффективно — их индивидуальные выгоды от коллективного действия достаточно велики, чтобы покрыть издержки организации. Напротив, большие группы с диффузными интересами не способны преодолеть проблему «безбилетника»: каждый индивид рационально предпочитает пользоваться результатами коллективных усилий, не участвуя в их оплате. Результат: корпоративные лоббистские группы, профессиональные ассоциации и финансовые элиты систематически более влиятельны в политическом процессе, чем потребители, наёмные работники или налогоплательщики, даже при формально демократических институтах.

Эта логика операционализирует ключевой механизм конвертации экономической власти в политическую в капиталократиях: концентрированные частные интересы конвертируют свои экономические ресурсы в политические результаты через лоббирование, финансирование кампаний и манипулирование информационной повесткой. Академик РАН Владимир Маурицевич Полтерович применил логику Олсона к анализу постсоветской трансформации, показав, что в условиях слабых государственных институтов концентрированные интересы новых бизнес-элит оказывались несравненно более

организованными, чем диффузные интересы широких слоёв населения: «Приватизационная элита 1990-х располагала всеми инструментами для эффективного коллективного действия — общими интересами, ресурсами для коммуникации и конкретными политическими целями; широкие слои населения этими инструментами не располагали» [6, с. 156].

4.2. Проблема принципала–агента в политических системах

Теория принципала–агента, разработанная американскими экономистами Майклом Дженсеном и Уильямом Меклингом в программной статье «Теория фирмы: поведение менеджеров, агентские издержки и структура собственности» (1976), анализирует проблемы, возникающие, когда одна сторона (принципал) делегирует полномочия другой стороне (агент) для действий от своего имени [11]. В применении к политическим системам граждане выступают принципалами, делегирующими полномочия выборным представителям и бюрократам-агентам. Информационная асимметрия между принципалом и агентом порождает устойчивую проблему: агенты располагают информацией о своих истинных намерениях, компетентности и действиях, которую принципалы не могут надёжно наблюдать, — что создаёт стимулы для оппортунистического поведения.

В капиталократиях проблема принципала-агента усугубляется финансовой зависимостью политиков-агентов от частных доноров: политик, избранная кампания которого финансируется корпорациями или состоятельными донорами, неизбежно приобретает двойную агентскую зависимость — от официальных принципалов (избирателей) и от неформальных принципалов (финансовых доноров). Исследования политических расходов в США показывают, что корреляция между предпочтениями богатых доноров и принимаемыми политическими решениями устойчиво выше, чем корреляция с предпочтениями медианного избирателя. В меритократиях проблема принципала-агента принимает иные формы: бюрократы-агенты используют

информационную асимметрию относительно технических деталей политики для реализации собственных предпочтений или интересов ведомства, нередко расходящихся с директивами политического принципала.

5. Механизмы неравенства и концентрации власти в капиталократиях

5.1. Лоббирование, захват регулятора и олигархическая динамика

Капиталократии реализуют концентрацию власти прежде всего через механизмы конвертации экономического капитала в политическое влияние. Лоббирование является наиболее явным из этих механизмов: в США в 2023 году на лоббистскую деятельность было официально потрачено около 4,3 миллиарда долларов — сумма, которая позволяет крупным корпорациям и отраслевым ассоциациям иметь профессиональных представителей в Конгрессе, формирующих законодательную повестку. Верховный суд США в решении по делу Citizens United v. FEC (2010) снял ограничения на политические расходы корпораций, трактуя их как форму свободы слова, — что открыло шлюз для неограниченного вливания корпоративных денег в избирательный процесс через так называемые «Super PAC».

Захват регулятора (*regulatory capture*) — процесс, в котором регулируемые субъекты получают контроль над регулирующими их органами, — является системным следствием асимметрии ресурсов и информации между регулятором и регулируемым. Теория захвата регулятора, разработанная Джорджем Стиглером, показывает, что регулирующие агентства со временем склонны служить интересам отраслей, которых регулируют, а не интересам широкой общественности. Это происходит через механизм «вращающихся дверей» — регуляторы после завершения государственной карьеры нанимаются теми, кого регулировали; отраслевые лоббисты занимают

позиции в регулирующих органах; технические экспертные знания сосредоточены в бизнесе, а не в государстве.

Соединённые Штаты как архетипическая капиталократия демонстрируют один из наиболее высоких уровней концентрации богатства среди развитых стран: верхний 1% владеет более чем 30% совокупного богатства, а верхние 10% — около 70%. Индекс Джини по доходам составляет около 41, тогда как среднеевропейский показатель — около 30. Показательно, что США демонстрируют одну из самых низких норм межпоколенческой мобильности среди развитых капиталократий: коэффициент межпоколенческой корреляции доходов (коэффициент Гэтсби) составляет около 0,47, — то есть почти половина преимущества в доходах родителей передаётся детям. Это свидетельствует о том, что декларируемая «меритократия» капиталократий в значительной мере является идеологической конструкцией, маскирующей реальность наследственного воспроизводства привилегий [7].

5.2. Идеологическое воспроизводство: от гегемонии к нарративу

Наряду с прямыми механизмами политического влияния капиталократии воспроизводят неравенство через идеологические механизмы. Грамшианская концепция культурной гегемонии описывает процесс, посредством которого господствующий класс легитимирует неравенство через формирование «здравого смысла» — системы убеждений, в рамках которой неравенство воспринимается как естественное, справедливое или неизбежное следствие различных способностей и усилий. В контексте капиталократий эта гегемония реализуется через дискурс меритократии: богатство объясняется заслугами, успехом и трудолюбием; бедность — недостатком способностей или отсутствием мотивации. Этот нарратив легитимирует сохранение низких налогов на богатство и слабых механизмов перераспределения, представляя их как поощрение заслуг, а не как защиту привилегий.

Роберт Шиллер, лауреат Нобелевской премии по экономике 2013 года, в «Нарративной экономике» (2019) показал, что экономические нарративы — истории, которые люди рассказывают о природе экономической жизни, — оказывают реальное воздействие на экономическое поведение и институциональные решения. Нарратив о неограниченных возможностях вертикальной мобильности («американская мечта») снижает спрос на перераспределительную политику даже у тех, кто объективно выиграл бы от неё: люди склонны голосовать не за перераспределение в пользу нынешнего положения, а против налогов, которые им когда-нибудь придётся платить в воображаемом богатом будущем. Данное наблюдение перекликается с прогнозом Пикетти об устойчивости неравенства: его воспроизводство обеспечивается не только экономическими механизмами, но и идеологической легитимацией.

6. Механизмы неравенства и концентрации власти в меритократиях

6.1. Номенклатура и бюрократическая элита: политическая власть как экономический ресурс

В меритократиях основным каналом концентрации власти и привилегий является не накопление частного капитала, а занятие позиций в государственно-партийной иерархии. Советская номенклатурная система представляла собой исторически наиболее разработанную форму этого механизма: принадлежность к номенклатурным позициям обеспечивала доступ к дефицитным благам — специальным магазинам, качественному жилью, медицинскому обслуживанию, зарубежным поездкам, — практически недоступным для основной массы населения. Формально эти блага не являлись частной собственностью, однако реально обеспечивали качество жизни, несопоставимое с рядовым гражданином. Неравенство носило скорее

властный, нежели имущественный характер — но было не менее реальным от этого.

Китай после рыночных реформ Дэн Сяопина создал принципиально новую конфигурацию меритократической системы, отличную и от советской модели, и от западной капиталократии: государственные должности конвертируются в экономические ресурсы не только через привилегии, но и через прямой контроль над корпоративными активами. Высокопоставленные партийные кадры обеспечивают экономический успех аффилированным с ними предприятиям через доступ к государственным контрактам, земельным ресурсам, лицензиям и регуляторные послабления. По данным исследования Ли и Ван (2020), публикуемого в ведущих западных академических журналах, компании с политически связанными менеджерами получают более выгодные условия государственного финансирования даже при сопоставимых экономических показателях.

Индекс Джини в Китае вырос с около 28 в начале рыночных реформ (1978) до 38–43 по различным оценкам к 2023 году — что свидетельствует о нарастании неравенства по мере рыночной трансформации. Примечательно, что структура этого неравенства отличается от капиталократий: значительная его часть связана не с наследованием, а с политическими связями — близостью к партийным структурам, обеспечивающей непропорциональный доступ к экономическим возможностям. Как указывает авторский учебник [7], именно это делает китайскую систему гибридной: в ней сочетаются меритократические каналы продвижения (конкурсные экзамены, академические достижения как критерии карьерного отбора) с элементами патримониальной экономики, при которой политическая лояльность и принадлежность к сетям является не менее важным фактором успеха.

6.2. Меритократический отбор и его ограничения

Меритократии декларируют принцип конкурсного отбора на основе способностей и достижений как альтернативу наследственным привилегиям капиталократий. Китайская система гаоцкао, советская система трудоустройства через распределение выпускников, Сингапурская государственная служба с её строжайшим конкурсным отбором — все эти институты воплощают меритократическую логику равного доступа к позициям на основе измеримых компетенций. Исторические данные о восходящей мобильности в советской системе в 1920–1940-е годы действительно свидетельствуют о беспрецедентном подъёме выходцев из рабочих и крестьянских семей на руководящие позиции.

Однако меритократический отбор имеет системное ограничение, которое со временем воспроизводит неравенство в иной форме. Шпенсовская теория сигнализирования объясняет этот механизм: в условиях системы, где академические достижения являются главным критерием отбора, неравенство в доступе к ресурсам подготовки к экзаменам трансформируется в неравенство в академических результатах [14]. Китайские городские семьи инвестируют значительные ресурсы в репетиторов, образовательные лагеря и дополнительные курсы, создавая систему «теневого образования», которая де-факто трансформирует финансовый капитал в образовательные преимущества. Американский социолог Майкл Янг в сатирическом эссе «Возвышение меритократии» (1958) предупреждал именно об этом парадоксе: когда элиты убеждены, что занимают своё положение по праву заслуг, они утрачивают эмпатию к аутсайдерам и теряют стимулы к поддержке перераспределительных институтов.

7. Сравнительный анализ: различия в механизмах — схожие тенденции

Таблица 1

Механизмы неравенства и концентрации власти в капиталократиях и меритократиях (по авторскому учебнику [7])

Параметр	Капиталократии	Меритократии	Гибридные системы (Скандинавия)
Основной канал концентрации	Накопление и наследование частного капитала (r > g)	Контроль над государственными ресурсами через иерархические позиции	Умеренная концентрация при активном перераспределении
Направление конвертации власти	Экономическая → политическая (лоббирование, финансирование кампаний)	Политическая → экономическая (контроль над госресурсами)	Встречные потоки при балансирующих институтах
Формирование элит	Через наследование богатства и элитное образование (сигнал)	Через конкурсный отбор, дополненный политической лояльностью	Через образование и профес-сиональные достижения
Идеологическая легитимация	Меритократический нарратив («заслуженный успех»)	Коллективистский нарратив (служение нации/партии)	Эгалитаризм и универсальные права
Неравенство по Джини	Высокое: США — 41, Великобритания — 35	Среднее: Китай — 38–43; советский период ниже	Низкое: Дания — 28, Норвегия — 26
Доля верхнего 1% в богатстве	США: >30%; Великобритания: ~23%	Китай: ~30% (в том числе через политические связи)	Дания: ~15%; Норвегия: ~18%
Ключевые механизмы ограничения концентрации	Антимонопольное право, прогрессивные налоги (слабые)	Идеологический контроль, ротация кадров (непоследовательная)	Высокие налоги, сильные профсоюзы, универсальные социальные программы

Источник: составлено по авторскому учебнику [7]; данные Forbes 2024; World Inequality Database 2023.

Сравнительный анализ, представленный в таблице, демонстрирует принципиальный результат: оба типа систем обнаруживают устойчивую тенденцию к концентрации богатства и власти, однако реализуют её через принципиально различные институциональные каналы. Это наблюдение опровергает упрощённые идеологические аргументы как с либеральной, так и с этатистской стороны. Утверждение о том, что рыночная конкуренция автоматически разрушает концентрацию через «созидательное разрушение», не подтверждается данными о нарастании богатства в капиталократиях. Утверждение о том, что государственный контроль над экономикой устраняет несправедливое неравенство, не подтверждается данными о концентрации привилегий в меритократических элитах.

Как показывает авторский учебник [7], наиболее эффективным ограничением концентрации власти в обоих типах систем является не тот или иной экономический строй сам по себе, а конкретные институциональные механизмы противовеса: независимые суды, свободные СМИ, сильные профсоюзы, эффективное прогрессивное налогообложение, реальная конкуренция политических партий. Эти механизмы могут существовать в различных институциональных контекстах — и их отсутствие в любом из них ведёт к нарастанию концентрации независимо от декларируемой идеологии.

8. Российский контекст: неравенство и концентрация власти в государственно-центричной меритократии

Авторский учебник «Современная политическая экономия» в разделе 15.4 квалифицирует Россию как **государственно-центричную меритократию** — специфический тип политико-экономического устройства, в котором государство восстановило доминирующую роль в ключевых секторах экономики после постсоветской трансформации, при этом опираясь не на единую партийную иерархию китайского типа, а на множественные конкурирующие каналы рекрутирования элит [7].

Это принципиально меняет логику анализа неравенства: механизмы концентрации богатства и власти в России определяются не капиталократической конвертацией (экономический капитал → политическая власть), а меритократической (позиция в государственной иерархии → доступ к экономическим ресурсам). Это означает, что стандартные рецепты ограничения неравенства, разработанные для западных капиталократий, — антимонопольная политика, прогрессивное налогообложение наследства, ограничение корпоративного лоббирования — имеют лишь ограниченное применение к российской системе.

Исторически формирование российской государственно-центричной меритократии прошло через критический переходный период 1990-х годов, когда советские партократические механизмы были разрушены, а новые государственные институты ещё не сложились [7]. Залоговые аукционы 1995 года и хаотичная приватизация породили класс олигархов, временно приблизивших направление конвертации к капиталократической логике. Академик РАН Полтерович, применяя теорию Олсона к анализу этого периода, показал, что концентрированные интересы новых бизнес-элит организовались значительно эффективнее диффузных интересов населения: «Приватизационная элита 1990-х располагала всеми инструментами для эффективного коллективного действия — общими интересами, ресурсами для коммуникации и конкретными политическими целями; широкие слои населения этими инструментами не располагали» [6, с. 156]. Дефолт 1998 года обнажил несостоятельность этой конфигурации. С 2000 года начинается восстановление государственно-центричной меритократии, создание государственных корпораций, ренационализация стратегических активов восстановили меритократический вектор конвертации — из государственных позиций в экономические ресурсы.

Специфика неравенства в российской государственно-центричной меритократии определяется прежде всего концентрацией, связанной не с наследованием частного капитала (капиталократический механизм), а с доступом к государственным ресурсам через иерархические позиции. По данным Всемирной базы данных неравенства (World Inequality Database) за 2023 год, верхний 1% владеет в России около 47% совокупного богатства — показатель, превышающий американский (31%) и среднеевропейский (22%). При этом значительная часть богатства сосредоточена в форме офшорных активов: по оценкам Цукмана, от 75 до 80% состояний российских миллиардеров хранится за рубежом [20]. Это означает, что реальное неравенство в России систематически недооценивается официальной статистикой. Примечательно, что подобная концентрация воспроизводится именно через механизмы государственно-центричной меритократии: госконтракты, регуляторные преференции, руководящие позиции в государственных корпорациях и «вращающиеся двери» в приближённый к государству частный сектор.

Асимметрия информации в российской системе принимает специфические формы, описываемые через логику Акерлофа и Стиглица [9, 16]: инсайдерская информация о предстоящих государственных решениях — инфраструктурных проектах, регуляторных изменениях, программах субсидирования — является привилегированным ресурсом иерархических позиций. Это порождает структурное преимущество государственных инсайдеров, недоступное рыночным агентам, действующим в условиях формально равного доступа к публичной информации. Член-корреспондент РАН Руслан Семёнович Гринберг и доктор философских наук Александр Яковлевич Рубинштейн обосновывали, что преодоление постсоветского неравенства требует прежде всего реформирования механизмов конвертации государственных позиций в экономические привилегии: «Проблема неравенства в России не может быть решена ни рыночными

саморегуляторными механизмами, ни простым усилением налоговой прогрессии без одновременного создания институтов» [3, с. 245].

Заключение

Проведённый сравнительный анализ механизмов неравенства и концентрации власти в капиталократических и меритократических системах позволяет сформулировать ряд выводов. Первый: неравенство является не случайным, а структурным свойством обоих типов систем, воспроизводящимся через специфические институциональные каналы. Теоремы Пикетти [13] о неравенстве $r > g$ и Цукмана [20] об офшоризации богатства описывают механизмы, системно присущие капиталократиям; концентрация власти через иерархические позиции в государственном аппарате — механизм, системно присущий меритократиям. Оба воспроизводятся устойчиво через позитивную обратную связь: концентрация власти создаёт ресурсы для её дальнейшего воспроизводства.

Второй вывод: асимметрия информации является трансверсальным источником власти в обоих типах систем. Механизмы неблагоприятного отбора, сигнализирования и скрининга, описанные Акерлофом, Спенсом и Стиглицем [9, 14, 15], объясняют, почему информационные преимущества систематически конвертируются в экономические и властные позиции независимо от формального равенства правил.

Третий вывод: Россия как государственно-центричная меритократия воплощает специфическую конфигурацию концентрации власти, в которой доминирующим механизмом является конвертация государственных иерархических позиций в экономические возможности, а не наследование частного капитала по западному образцу. Эта особенность определяет и специфику аналитического инструментария: прямой перенос методов оценки неравенства, разработанных для капиталократий, на государственно-центричные меритократии требует методологической осторожности, поскольку природа концентрации

здесь принципиально иная. Опыт сравнительного институционального анализа свидетельствует, что снижение неравенства в меритократических системах достигается прежде всего через совершенствование механизмов государственного управления — укрепление правовых институтов, повышение прозрачности государственных процедур, развитие системы декларирования интересов, — при сохранении государственно-центричной логики как таковой [7].

Список литературы

1. Аганбегян А. Г. Экономика России на распутье: выбор посткризисного пространства / А. Г. Аганбегян. — Москва : АСТ; Астрель, 2010. — 383 с. — ISBN 978-5-17-064913-6.

2. Глазьев С. Ю. Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах / С. Ю. Глазьев. — Москва : Книжный мир, 2018. — 768 с. — ISBN 978-5-6041071-1-9.

3. Гринберг Р. С. Экономическая социодинамика / Р. С. Гринберг, А. Я. Рубинштейн. — Москва : ИСЭПресс, 2013. — 408 с.

4. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Т. 1 / К. Маркс // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения : в 50 т. — 2-е изд. — Москва : Политиздат, 1960. — Т. 23. — 907 с.

5. Пикетти Т. Капитал в XXI веке / Т. Пикетти; пер. с фр. А. Дунаева. — Москва : Ad Marginem Press, 2015. — 592 с.

6. Полтерович В. М. Элементы теории реформ / В. М. Полтерович. — Москва : Экономика, 2007. — 447 с.

7. Рыбинец А. Г. Современная политэкономия : Учебник / А. Г. Рыбинец. — Б. м. : Издательские решения, 2026. — 794 с. — ISBN 978-5-0069-3579-2. — EDN IZGSAL.

8. Acemoglu D. Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity,

and Poverty / D. Acemoglu, J. A. Robinson. — New York : Crown Publishers, 2012. — 544 p. — ISBN 978-0-307-71922-5.

9. Akerlof G. A. The Market for «Lemons»: Quality Uncertainty and the Market Mechanism / G. A. Akerlof // Quarterly Journal of Economics. — 1970. — Vol. 84, No. 3. — P. 488-500.

10. Galbraith J. K. The New Industrial State / J. K. Galbraith. — Boston : Houghton Mifflin, 1967. — 427 p.

11. Jensen M. C. Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure / M. C. Jensen, W. H. Meckling // Journal of Financial Economics. — 1976. — Vol. 3, No. 4. — P. 305-360.

12. Olson M. The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups / M. Olson. — Cambridge, MA : Harvard University Press, 1965. — 186 p. — ISBN 0-674-53751-3.

13. Piketty T. Capital in the Twenty-First Century / T. Piketty; transl. A. Goldhammer. — Cambridge, MA : The Belknap Press of Harvard University Press, 2014. — 685 p. — ISBN 978-0-674-43000-6.

14. Spence M. Job Market Signaling / M. Spence // Quarterly Journal of Economics. — 1973. — Vol. 87, No. 3. — P. 355-374.

15. Stiglitz J. E. The Theory of «Screening», Education, and the Distribution of Income / J. E. Stiglitz // American Economic Review. — 1975. — Vol. 65, No. 3. — P. 283-300.

16. Stiglitz J. E. Globalization and Its Discontents / J. E. Stiglitz. — New York : W. W. Norton, 2002. — 304 p.

17. Stiglitz J. E. Credit Rationing in Markets with Imperfect Information / J. E. Stiglitz, A. Weiss // American Economic Review. — 1981. — Vol. 71, No. 3. — P. 393-410.

18. Weber M. Economy and Society: An Outline of Interpretive Sociology / M. Weber; eds. G. Roth, C. Wittich. — Berkeley : University of California Press, 1978. — Vol. 1. — 636 p.

19. Zuboff S. The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a

Human Future at the New Frontier of Power / S. Zuboff. — New York : PublicAffairs, 2019. — 691 p.

20. Zucman G. The Hidden Wealth of Nations: The Scourge of Tax Havens / G. Zucman; transl. T. L. Fagan. — Chicago : University of Chicago Press, 2015. — 200 p. — ISBN 978-0-226-24542-3.

© Рыбинец А.Г.

Глава 3.
РЕНТА, РЕНТООРИЕНТИРОВАННОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: ПОЛИТЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Рыбинец Александр Геннадьевич
к.э.н., доцент кафедры МЭО
и внешнеэкономических связей
факультета международных
экономических отношений
Дипломатическая академия
МГИМО МИД РФ

Аннотация: Глава посвящена системному политэкономическому и институциональному анализу трансформации ренты и рентоориентированного поведения в современных экономических системах. Обосновывается ключевой тезис: рента не утратила своего значения в цифровую эпоху — она претерпела качественную трансформацию, сместившись от природных и физических ресурсов к нематериальным: знаниям, алгоритмам, данным и сетевым позициям. На основе авторской систематизации учебника «Современная политическая экономия» выделяются семь форм современной ренты — от земельной и природно-ресурсной до интеллектуальной, технологической, платформенной и государственной. Прослеживается эволюция теории ренты от классических концепций Рикардо и Маркса к современным формам анализа. Детально рассматривается теория рентоориентированного поведения: концепция «рассеивания ренты» Таллока, понятийный аппарат Крюгер, а также институциональная детерминированность распределения предпринимательских талантов

между производительной и непроизводительной деятельностью по Баумолу. Исследуются институциональные основания рентных отношений: теорема Коуза о правах собственности и трансакционных издержках, концепция «общин знаний» Остром, специфичность активов и квазирента в теории Уильямсона. Анализируется система интеллектуальной собственности как политически сконструированный институт ренты, включая дисфункции патентной системы в цифровую эпоху и асимметрию международного режима TRIPS. Специальное внимание уделяется платформенной и технологической ренте: многосторонние рынки и антимонопольные ограничения (Тироль), «надзорный капитализм» и монетизация поведенческих данных (Зубофф), феномен экосистемной ренты. Проводится сравнительный анализ форм рентоориентированного поведения в капиталократиях и меритократиях. Российский контекст рассматривается через призму государственно-центричной меритократии: государственная рента как доминирующая форма, ресурсная рента и синдром «голландской болезни», специфика аллокации предпринимательских талантов в условиях государственно-иерархических стимулов, асимметрия научного потенциала и его монетизации через права интеллектуальной собственности.

Ключевые слова: рента; рентоориентированное поведение; интеллектуальная собственность; нематериальные активы; платформенная рента; сетевые эффекты; государственно-центричная меритократия.

RENT, RENT-SEEKING BEHAVIOR, AND INTELLECTUAL PROPERTY IN MODERN ECONOMIC SYSTEMS: A POLITICAL-ECONOMIC AND INSTITUTIONAL ANALYSIS

Rybinets Alexander Gennadievich

Abstract: This chapter provides a systemic political economy and institutional analysis of the transformation of rent and rent-seeking behavior in modern economic systems. It substantiates the key thesis: rent has not lost its significance in the digital age—it has undergone a qualitative transformation, shifting from natural and physical resources to intangible ones: knowledge, algorithms, data, and network positions. Based on the author's systematization of the textbook «Modern Political Economy», seven forms of modern rent are identified—from land and natural resource rent to intellectual, technological, platform, and state rent. The evolution of rent theory is traced from the classical concepts of Ricardo and Marx to contemporary forms of analysis. The theory of rent-seeking behavior is examined in detail: Tullock's concept of «rent dispersion», Krueger's conceptual apparatus, and Baumol's institutional determination of the distribution of entrepreneurial talent between productive and unproductive activities. The institutional foundations of rent-seeking relationships are explored, including the Coase theorem on property rights and transaction costs, Ostrom's concept of «knowledge communities», and asset specificity and quasi-rent in Williamson's theory. The intellectual property system is analyzed as a politically constructed institution of rent-seeking, including the dysfunctions of the patent system in the digital age and the asymmetry of the international TRIPS regime. Special attention is paid to platform and technological rent: multisided markets and antitrust restrictions (Tyrol), «surveillance capitalism» and the monetization of behavioral data (Zuboff), and the phenomenon of ecosystem rent. A comparative analysis of forms of rent-seeking behavior in capitalocracies and meritocracies is provided. The Russian context is examined through the prism of state-centric meritocracy: state rent as the dominant form, resource rent and the «Dutch disease» syndrome, the specifics of the allocation of entrepreneurial talent under state-hierarchical incentives, and the asymmetry of scientific potential and its monetization through intellectual property rights.

Key words: rent; rent-seeking behavior; intellectual property; intangible assets; platform rent; network effects; state-centric meritocracy.

Введение

Понятие ренты принадлежит к числу центральных категорий политической экономии со времён классической школы. Однако если в трудах Рикардо и Маркса рента связывалась преимущественно с землёй и природными ресурсами — ограниченными и невоспроизводимыми факторами производства, — то в экономике XXI века рентные отношения приобрели принципиально новые институциональные формы. Технологическая рента цифровых платформ, монопольная рента интеллектуальной собственности, финансовая рента от спекулятивных операций, государственная рента от доступа к бюрократическим ресурсам — всё это суть модификации единого явления: дохода, не связанного с производительным трудом или предпринимательскими инновациями, но порождаемого контролем над ограниченными или искусственно монополизированными ресурсами [5].

Настоящая глава посвящена системному политэкономическому и институциональному анализу трансформации ренты в современных экономических системах. Теоретический анализ охватывает три взаимосвязанных блока: классические и современные концепции ренты и рентоориентированного поведения; институциональные основы рентных отношений через призму теории прав собственности и трансакционных издержек; интеллектуальная собственность и нематериальный капитал как ключевые источники ренты в цифровую эпоху, включая феномен платформенной ренты. Сравнительный анализ механизмов рентоориентированного поведения в капиталократиях и меритократиях завершается рассмотрением российского контекста — страны, для которой рентная экономика приобрела системообразующее значение.

Актуальность темы определяется тем, что нарастание рентных отношений в глобальной экономике непосредственно связано с нарастанием неравенства, снижением инновационной активности и ослаблением конкуренции. По данным консультационной компании Ocean Tomo, доля нематериальных активов в рыночной капитализации

ведущих мировых корпораций выросла с 17% в 1975 году до более чем 90% к 2020 году — то есть большая часть стоимости крупнейших компаний создаётся не физическими активами, а монопольными правами на знания, алгоритмы и бренды. Это означает, что природа экономической власти и источники ренты в современной экономике претерпели фундаментальную трансформацию, требующую обновлённых категорий политэкономического анализа.

1. От классической теории ренты к многообразию современных рентных отношений

1.1. Рикардо, Маркс и классическая теория земельной ренты

Систематическая теория ренты была разработана британским экономистом Давидом Рикардо в «Начала политической экономии и налогового обложения» (1817). Рикардо определил ренту как «ту часть продукта земли, которая уплачивается землевладельцу за право пользоваться первоначальными и неразрушимыми силами почвы» [12, p. 33]. Механизм возникновения ренты у Рикардо определяется дифференциальными характеристиками земельных участков: поскольку плодородие и местоположение земли неодинаковы, а спрос на сельскохозяйственную продукцию не зависит от различий в плодородии, обработка менее плодородных участков при росте населения порождает дифференциальную ренту на участках с лучшими характеристиками. Эта рента присваивается землевладельцами не за производительный труд или предпринимательскую деятельность, а исключительно за право собственности на природный ресурс.

Карл Маркс существенно расширил понятие ренты, выделив, помимо дифференциальной, абсолютную ренту, возникающую вследствие монопольного права частной собственности на землю как таковое, независимо от различий в плодородии [2, с. 668–812]. Принципиальный вклад Маркса состоял в том, что он встроил земельную ренту в общую теорию прибавочной стоимости: рента является формой перераспределения прибавочной стоимости от производительных

капиталистов к землевладельцам через механизм монопольного права собственности. Это обобщение указало путь к пониманию ренты как универсальной категории, описывающей доход от монопольного контроля над любым ограниченным ресурсом, — не только землёй, но и природными ресурсами, технологиями, информацией.

Принципиально важным для современного анализа является рикардианское разграничение между *производительной* и *рентной* деятельностью: землевладелец получает ренту не за то, что делает землю более плодородной, а за то, что владеет ею. Это разграничение, в последующем систематизированное через понятие рентоориентированного поведения, является системообразующим для политэкономии ренты: оно позволяет отделить доходы, отражающие реальный производительный вклад, от доходов, отражающих монопольный контроль над ресурсами.

1.2. Эволюция рентных отношений: от земельной к технологической ренте

Авторский учебник «Современная политическая экономия» [5] систематизирует современные формы экономической ренты, демонстрируя, что все они представляют собой модификации единого явления — дохода от монопольного контроля над ограниченным или искусственно ограниченным ресурсом — при качественно различных институциональных механизмах. Переход от аграрной к индустриальной и далее к цифровой экономике не упразднил ренту, а трансформировал её носителей и механизмы присвоения.

Таблица 1

Трансформация форм ренты: от земельной к технологической (по авторскому учебнику [5])

Форма ренты	Источник (ограниченный ресурс)	Механизм присвоения и институциональный носитель

Продолжение таблицы 1

Земельная (дифференциальная и абсолютная)	Ограниченность плодородных земель и природных угодий	Право частной собственности на землю; рента уплачивается арендатором землевладельцу
Природно-ресурсная	Невоспроизводимые природные ресурсы (нефть, газ, металлы, вода)	Права на добычу; концессионные соглашения; государственные роялти и экспортные пошлины
Монопольная	Монопольное положение на рынке товаров и услуг	Барьеры входа; экономия на масштабе; административные ограничения конкуренции
Финансовая	Монополия на кредит и посреднические услуги; информационная асимметрия	Финансовый сектор; деривативы; монопсонические позиции на финансовых рынках
Интеллектуальная	Патенты, авторские права, торговые марки; знания	Исключительные права ИС; режим TRIPS; лицензионные платежи
Технологическая / платформенная	Сетевые эффекты; данные пользователей; алгоритмы	Цифровые платформы; монетизация поведенческих данных; контроль над экосистемой
Государственная (политическая)	Доступ к государственным ресурсам, лицензиям, регулированию	Позиции в партийно-государственной иерархии; привилегированные государственные контракты

Источник: составлено по авторскому учебнику [5].

Принципиально важная тенденция, зафиксированная в авторском учебнике [5]: если в аграрную и раннеиндустриальную эпохи рента была преимущественно экзогенно заданной — определяемой природными

характеристиками ресурсов, не поддающимися созданию или манипулированию, — то в цифровую эпоху рента всё в большей мере является *эндогенно создаваемой* через институциональные механизмы. Патентная монополия не существует в природе — она создаётся правовой системой. Сетевые эффекты платформ не являются природным явлением — они формируются стратегическими решениями компаний и регуляторными условиями. Данные пользователей не являются ограниченным природным ресурсом — они ограничены исключительно правовым и договорным режимом их использования. Это означает, что природа рентных отношений в современной экономике стала значительно более политической, нежели природной: рента воспроизводится не вследствие объективной ограниченности ресурсов, а вследствие конкретных институциональных и правовых решений, поддающихся реформированию.

2. Рентоориентированное поведение: теоретические основания и системные последствия

2.1. Концепция рентоориентированного поведения: Таллок и Крюгер

Концепция рентоориентированного поведения (*rent-seeking*) сложилась в результате вклада двух американских экономистов, подошедших к проблеме с различных сторон. Гордон Таллок в статье «Социальные издержки тарифов, монополий и краж» (1967) поставил вопрос, ускользавший от традиционного анализа общественных потерь от монополии [14]. Неоклассическая теория измеряла потери от монополии через «треугольник Харбергера» — сокращение объёма производства ниже конкурентного уровня. Однако Таллок показал, что это измерение систематически занижает реальные социальные издержки: если монопольная позиция приносит монопольную прибыль, экономические агенты будут активно конкурировать за право её получения, инвестируя ресурсы в эту конкуренцию — лоббирование,

политические пожертвования, юридические атаки на конкурентов, создание регуляторных барьеров. Эти инвестиции представляют собой чистые социальные потери: ресурсы расходуются не на создание новых благ, а на перераспределение существующих.

Энн Крюгер в программной статье «Политическая экономия рентоориентированного общества» (1974) систематизировала эти наблюдения и ввела сам термин «рентоориентированное поведение» [9]. На примере количественных ограничений импорта в Индии и Турции Крюгер показала, что конкуренция за импортные лицензии поглощает ресурсы в объёме, сопоставимом с доходами, получаемыми от лицензий. Когда доступ к монопольной ренте открыт для конкурентной борьбы, агенты направляют на эту борьбу ресурсы, стоимость которых приближается к ожидаемой ренте, — результат известен как «рассеивание ренты». Социальные издержки монополии оказываются значительно больше, чем традиционно измеряемый треугольник потерь благосостояния: к нему добавляется стоимость ресурсов, растраченных на рентоориентированную борьбу.

Уильям Джек Баумол в классической статье «Предпринимательство: производительное, непроизводительное и деструктивное» (1990) дополнил теорию рентоориентированного поведения концептуализацией институциональной детерминированности этого явления [6]. Центральный тезис Баумола: общее предложение предпринимательских способностей в обществе относительно стабильно, однако их распределение между производительной и непроизводительной деятельностью определяется относительными вознаграждениями, которые формирует институциональная среда. В обществах, где институты вознаграждают инновации и создание ценности, предприниматели становятся производителями; в обществах, где институты вознаграждают захват ренты через политические связи, предприниматели становятся *искателями ренты*. Это означает, что рентоориентированное поведение — не патология отдельных индивидов,

а рациональный ответ на институциональные стимулы; и что реформирование институтов является единственным эффективным способом его ограничения.

2.2. Классификация форм рентоориентированного поведения

Авторский учебник [5] систематизирует формы рентоориентированного поведения в современных экономических системах, выявляя их специфику в зависимости от институциональной конфигурации. В аналитических целях целесообразно выделить три измерения, по которым различаются формы рентоориентированного поведения: источник ренты, механизм её присвоения и институциональный носитель.

Захват регулятора (*regulatory capture*) является наиболее изученной формой рентоориентированного поведения в капиталократиях. Регулируемые субъекты систематически подчиняют себе регулирующие их органы через механизм «вращающихся дверей», ограничение информации, доступной регулятору, и финансирование академических и экспертных структур, формирующих интеллектуальный климат в пользу отрасли. Финансовая индустрия США является наглядным примером: по данным Центра по ответственной политике, в 2008–2009 годах финансовый сектор потратил около 5 миллиардов долларов на лоббирование и политические взносы — в значительной мере для ограничения посткризисного регуляторного ужесточения.

Патентный троллинг представляет форму рентоориентированного поведения, специфическую для цифровой экономики: организации, не занимающиеся производством, приобретают патентные портфели исключительно для предъявления судебных исков инновационным компаниям и извлечения лицензионных платежей. Это форма чистого рентоориентированного поведения в рикардианском смысле: активы не создаются, а ресурсы направляются на перераспределение уже созданных ценностей через правовую систему. Академик РАН Сергей Юрьевич Глазьев в работах по теории технологических укладов

указывал, что патентный троллинг является инструментом технологической блокады в конкуренции между техно-экономическими блоками: «Патентные агрегаты в руках транснациональных корпораций — это не только инструмент легитимной защиты инноваций, но и механизм блокирования конкурентов из догоняющих экономик, не имеющих ни ресурсов для ведения дорогостоящих патентных войн, ни дипломатических рычагов для смягчения международного патентного режима» [1, с. 342].

Офшорная оптимизация налогообложения, детально задокументированная Габриэлем Цукманом, представляет собой ренту от несовершенства международной налоговой архитектуры: корпорации и состоятельные физические лица используют различия в национальных режимах налогообложения для перемещения прибылей в юрисдикции с минимальными налогами. Это форма рентоориентированного поведения, специфика которой состоит в том, что она носит легальный характер (трансфертное ценообразование в пределах норм), использует международную налоговую конкуренцию как системный ресурс и может практиковаться только агентами, располагающими достаточными ресурсами для создания сложных корпоративных структур.

3. Права собственности и трансакционные издержки как институциональные основания ренты

3.1. Теорема Коуза и институциональный выбор

Рональд Гарри Коуз, британо-американский экономист, лауреат Нобелевской премии по экономике 1991 года, в статье «Проблема социальных издержек» (1960) сформулировал теорему, ставшую отправной точкой для институционального анализа ренты [8]. В мире с нулевыми трансакционными издержками и чётко специфицированными правами собственности частные договорённости между сторонами обеспечивали бы эффективное распределение ресурсов независимо от первоначального закрепления прав. Следствие: реальные рентные потери возникают не из самого факта монопольного контроля ресурсов, а из

неполноты спецификации прав собственности в сочетании с положительными трансакционными издержками заключения и исполнения контрактов. Это означает, что государственная политика в отношении ренты является в конечном счёте политикой в отношении прав собственности и трансакционных издержек.

Применительно к интеллектуальной собственности теорема Коуза ставит принципиальный вопрос: является ли исключительное право на использование знаний оптимальной институциональной формой специфика знания, или существуют альтернативные институциональные решения, обеспечивающие меньшие потери от ренты при сопоставимом стимулировании инноваций? Критика патентной системы с позиции теоремы Коуза указывает именно на это: патент создаёт искусственную монополию на неконкурентный ресурс (знание), порождая трансакционные издержки лицензирования и рентоориентированного поведения, которые в ряде отраслей превышают инновационный стимул, ради которого монополия предоставляется.

Элинор Остром, американский политический учёный и экономист, лауреат Нобелевской премии по экономике 2009 года, в фундаментальной монографии «Управление общинами» (1990) показала, что возможности коллективного самоуправления общими ресурсами без частной собственности и без государственного регулирования значительно шире, чем предполагала традиционная теория «трагедии общин» [11]. Этот результат имеет прямое значение для анализа цифровых ресурсов: открытое программное обеспечение, Википедия, патентные пулы и движение открытой науки демонстрируют, что «общины знаний» могут устойчиво воспроизводиться без исключительных прав собственности при наличии чётких правил использования и механизмов коллективного управления. Это подрывает аргумент об абсолютной необходимости патентной монополии как единственного механизма стимулирования инноваций.

3.2. Специфичность активов и рентные отношения в теории Уильямсона

Оливер Итон Уильямсон, американский экономист, лауреат Нобелевской премии по экономике 2009 года, в монографии «Рынки и иерархии» (1975) разработал теорию трансакционных издержек, позволяющую операционализировать анализ рентных отношений на уровне конкретных экономических организаций [15]. Концепция специфичности активов — ключевой инструмент этого анализа: актив является специфическим, если его ценность в данной конкретной трансакции существенно выше, чем в наилучшем альтернативном использовании. Специфичность активов порождает «квазиренту» — разницу между ценностью актива в текущем использовании и его ценностью при наилучшей альтернативе, — которую каждая сторона трансакции стремится присвоить. Возможность «захвата квазиренты» (*hold-up*) является центральным источником оппортунистического поведения в контрактных отношениях.

В контексте цифровой экономики специфичность активов приобретает новые измерения. Данные, накопленные платформой о поведении пользователей, являются высокоспецифичными активами: их ценность для конкурентов значительно ниже, чем для исходной платформы, поскольку сетевые эффекты делают эти данные несопоставимо более ценными именно в контексте конкретной платформенной экосистемы. Это создаёт структурное преимущество доминирующих платформ, воспроизводящееся независимо от качества их услуг: конкурент не может воспроизвести ценность данных, накопленных на протяжении лет, даже предложив технологически лучший продукт. Уильямсон в «Экономических институтах капитализма» (1985) охарактеризовал подобные конфигурации как ситуации «фундаментальной трансформации», при которых первоначально конкурентные отношения становятся двусторонними монополиями после осуществления специфических инвестиций [16].

Академик РАН Владимир Маурицевич Полтерович применил категорию специфичности активов к анализу институциональных ловушек постсоветских экономик, показав, что специфичные активы советских производственных систем потеряли большую часть стоимости при переходе к рыночным условиям — что породило особый вид «трансформационной ренты»: доступ к дешевеющим специфическим активам обеспечивал огромные выгоды тем, кто умел конвертировать их в рыночные ресурсы в условиях хаотичной трансформации [3, с. 89]. Этот феномен — не предусмотренный ни классической теорией ренты, ни теорией рентоориентированного поведения — является специфически постсоветским вкладом в понимание рентных механизмов.

4. Интеллектуальная собственность как институт организации рентных отношений в экономике знаний

4.1. Экономическая логика интеллектуальной собственности и её противоречия

Институт интеллектуальной собственности воплощает фундаментальное противоречие экономики знаний. Знания, в отличие от материальных ресурсов, обладают двумя уникальными свойствами: они являются *неконкурентными* (использование знания одним агентом не уменьшает его доступности для других) и потенциально *неисключаемыми* (сложно воспрепятствовать использованию раскрытого знания). В такой ситуации рыночный механизм без специальных институтов порождает недопроизводство знаний: рациональный агент не будет инвестировать в создание знания, если не сможет присвоить плоды этих инвестиций. Система интеллектуальной собственности — патенты, авторские права, торговые марки — решает эту проблему, предоставляя создателю знания временную монополию на его использование, тем самым создавая стимулы к инновационной деятельности.

Вместе с тем эта монополия порождает рентные отношения со всеми свойственными им последствиями: завышенные цены на

запатентованные продукты, барьеры для распространения знаний, рентоориентированное поведение в виде патентных войн и троллинга, концентрация технологических преимуществ у первых владельцев ключевых патентов. Соглашение TRIPS (Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights), заключённое в 1994 году в рамках ВТО и установившее глобальные минимальные стандарты защиты интеллектуальной собственности, закрепило асимметрию между развитыми странами — держателями большинства патентов — и развивающимися странами, вынужденными платить роялти за технологии. Стиглиц в «Глобализации и недовольстве ею» (2002) критически охарактеризовал TRIPS как инструмент присвоения технологической ренты развитыми странами через международное правовое регулирование.

По данным авторского учебника [5], доля нематериальных активов в рыночной капитализации компаний S&P 500 выросла с 17% в 1975 году до более чем 90% к 2020 году. Это означает, что большая часть стоимости крупнейших корпораций представляет собой ренту от контроля над знаниями, брендами и алгоритмами, а не от производительных физических активов. При этом нематериальные активы обладают принципиально иными экономическими свойствами по сравнению с физическими: нулевые предельные издержки воспроизводства, масштабируемость без пропорционального роста затрат, отсутствие физического износа. Это означает, что возрастающая отдача, характерная для нематериальных активов, делает концентрацию рентных доходов ещё более устойчивой, чем в традиционных отраслях с убывающей отдачей.

4.2. Патентные системы и их дисфункции в цифровую эпоху

Классический патентный институт был разработан для отраслей с длительными и дорогостоящими циклами разработки — химии, фармацевтики, машиностроения. В этих отраслях патентная защита

сроком 20 лет действительно предоставляет стимулы к инновациям, соразмерные затратам на разработку. Перенос патентного института в программное обеспечение, интернет-сервисы и цифровые алгоритмы породил многочисленные дисфункции. Скорость изменений в цифровой экономике делает 20-летнюю монополию несоразмерной: программные продукты устаревают за 3–5 лет. Патентование базовых алгоритмов и бизнес-методов создаёт «патентные заросли» — плотные сети перекрывающихся патентов, через которые инновационные компании вынуждены прокладывать путь через дорогостоящие лицензионные переговоры или судебные тяжбы.

По данным Управления по патентам и товарным знакам США (USPTO), число выданных патентов в области программного обеспечения и информационных технологий выросло в 10 раз с 1990 по 2020 год. При этом значительная часть этих патентов никогда не воплощается в реальных продуктах, а используется исключительно для формирования оборонительных портфелей или рентоориентированного патентного троллинга. По оценкам исследователей Высшей школы экономики, ежегодные издержки американских компаний от патентного троллинга составили в 2010-е годы более 80 миллиардов долларов — сумма, превышавшая совокупные ежегодные расходы на прикладные НИОКР в ряде секторов.

5. Платформенная и технологическая рента: экономика цифровых экосистем

5.1. Сетевые эффекты, данные и монополия платформ

Французский экономист, лауреат Нобелевской премии по экономике 2014 года Жан Тироль разработал аналитический аппарат, позволяющий понять механизмы извлечения ренты цифровыми платформами [13]. Платформы функционируют как многосторонние рынки, координируя взаимодействие между различными группами пользователей: рекламодателями и потребителями (Google),

покупателями и продавцами (Amazon, Alibaba), разработчиками и пользователями (Apple App Store, Google Play). Ключевым источником рентной власти платформ являются непрямые сетевые эффекты: ценность платформы для одной группы пользователей возрастает с увеличением числа участников на другой стороне рынка. Это создаёт самоусиливающуюся динамику: крупнейшая платформа привлекает наибольшее число участников с обеих сторон, что делает её ещё более ценной, что привлекает ещё больше участников. Результатом является тенденция к монопольной концентрации — «победитель забирает всё».

Тироль указывает на принципиальное отличие рентной власти платформ от традиционной монопольной власти: стандартные антимонопольные показатели (высокие цены, снижение объёма производства) не работают в контексте платформ, где базовые услуги могут предоставляться бесплатно [13]. Google предоставляет поисковые услуги бесплатно для конечных пользователей — и именно поэтому традиционный антимонопольный анализ ценообразования неприменим. Рента Google извлекается не из потребителей напрямую, а из рекламодателей, которые не могут позволить себе отказаться от доступа к аудитории, сформированной монопольным поиском. Это «косвенная» рентная модель принципиально отличается от рикардианской или марксистской ренты и требует специфических регуляторных инструментов.

Данные как экономический ресурс создают новый механизм извлечения ренты, описанный американской исследовательницей Шошаной Зубофф в монографии «Эпоха надзорного капитализма» (2019) [17]. Платформенные компании собирают поведенческие данные пользователей, которые, с одной стороны, используются для улучшения сервисов, а с другой — конвертируются в «предиктивный продукт» — возможность точного прогнозирования и модификации поведения пользователей в интересах рекламодателей. Зубофф показывает, что

данные не являются ни трудом пользователей, ни их капиталом: это «поведенческий прибавочный продукт», извлекаемый платформами в одностороннем порядке без согласования условий присвоения. Механизм в строгом смысле рентный: платформа присваивает ценность, создаваемую совместно всеми пользователями, не создавая сопоставимой встречной ценности в эквивалентном обмене.

5.2. Платформы как частные регуляторы и феномен экосистемной ренты

Тироль вводит концепцию платформ как «частных регуляторов» [13]: крупные цифровые платформы фактически устанавливают правила для участников своих экосистем — условия включения в магазин приложений, алгоритмы ранжирования в поиске и маркетплейсе, стандарты взаимодействия. Это позволяет им извлекать «экосистемную ренту» — дополнительный доход от контроля над инфраструктурой, без которой участники экосистемы не могут функционировать. Apple взимает 30% комиссию с продаж в App Store — фактически ренту за доступ к аудитории iPhone, которую разработчики не могут получить иным путём из-за технической закрытости экосистемы.

Ключевая аналитическая точка: платформенная рента принципиально отличается от конкурентной прибыли — она не является следствием более эффективного производства или более привлекательного продукта, а порождается самим фактом контроля над инфраструктурой, ставшей необходимым условием доступа к рынку. Это сближает платформенную ренту с рикардианской земельной рентой: как землевладелец присваивает доход от обладания уникально расположенным участком, так платформа присваивает доход от обладания уникальной информационной инфраструктурой — с той разницей, что «земля» цифровой экономики создана самими корпорациями через стратегические решения, регуляторные лоббистские усилия и сетевые эффекты. Авторский учебник [5] квалифицирует этот феномен как переход от «власти собственности» к «власти алгоритма» —

форму власти, которая структурно воспроизводит рентные отношения, не требуя физического контроля над средствами производства.

6. Рентоориентированное поведение в капиталократиях и меритократиях: сравнительный анализ

6.1. Финансовая рента и захват регулятора в капиталократиях

Капиталократии создают специфическую конфигурацию рентоориентированного поведения, концентрирующегося вокруг финансового сектора и механизмов захвата регулятора. Финансиализация экономики — нарастающая роль финансовых рынков, финансовых мотивов и финансовых институтов в функционировании национальных и международных экономик — создала принципиально новые возможности для извлечения финансовой ренты. Операции с деривативами, высокочастотная торговля, секьюритизация ипотечных кредитов — все эти механизмы позволяют финансовому сектору присваивать значительную часть создаваемой в реальном секторе стоимости без сопоставимого производительного вклада.

Доктор экономических наук Дуглас Норт в «Институтах, институциональных изменениях и функционировании экономики» (1990) зафиксировал важную закономерность: развитые страны с совершенными институтами не свободны от рентоориентированного поведения — оно просто принимает более изощрённые и юридически легитимные формы [10]. Чем более развита правовая система, тем более «рафинированными» становятся легальные механизмы захвата ренты: сложные финансовые инструменты, тонко настроенные налоговые оптимизационные схемы, долгосрочные лоббистские кампании, формирующие регуляторный климат в интересах отрасли. Это означает, что простое совершенствование формальных правовых институтов без внимания к механизмам политического влияния экономических элит не решает проблемы рентоориентированного поведения.

6.2. Государственная рента в меритократиях: от номенклатуры к технократической элите

В меритократиях рентоориентированное поведение концентрируется вокруг доступа к государственным ресурсам, привилегиям и полномочиям. Государственная рента — доход, получаемый от занятия позиций в государственно-партийной иерархии, — принимает разнообразные формы: преференциальный доступ к государственным контрактам, лицензиям и концессиям; использование инсайдерской информации о государственных решениях; извлечение коррупционной ренты через должностные злоупотребления; «постдолжностная» ренту — конвертация государственного опыта и связей в рыночную стоимость после перехода в частный сектор.

Китайская Народная Республика демонстрирует сложную конфигурацию государственной ренты в условиях меритократической системы. Официальная идеология КПК декларирует ориентацию на производительный труд и научные достижения как критерии карьерного отбора. Вместе с тем эмпирические данные свидетельствуют о том, что политические связи с региональными и центральными партийными структурами являются независимым фактором экономического успеха: компании с политически аффилированными руководителями получают более выгодные условия государственного финансирования, земельные участки и регуляторные послабления. Авторский учебник [5] квалифицирует это как «партийно-государственную ренту» — доход от принадлежности к сетям власти, являющийся надстройкой над рыночными доходами от производительной деятельности.

Пример России позволяет проследить трансформацию государственной ренты: если советская номенклатурная рента была преимущественно неденежной (привилегированный доступ к дефицитным благам), то постсоветская «приватизационная рента» стала денежной и правно закреплённой. Академик РАН Полтерович описывает

этот переход как «институциональную катастрофу»: «В условиях хаотичного перехода к рынку административный контроль над активами конвертировался в право частной собственности через приватизационные механизмы, распределённые далеко не в соответствии с рыночными критериями эффективности, а в соответствии с критериями политической близости» [3, с. 178].

7. Российский контекст: рентные отношения в государственно-центричной меритократии

7.1. Государственно-центричная меритократия как институциональная рамка

Авторский учебник «Современная политическая экономия» в разделе 15.4 квалифицирует Россию как **государственно-центричную меритократию** — специфическую институциональную конфигурацию, принципиально отличную от западных капиталократий и от китайской партократической меритократии [5]. В отличие от капиталократий, где экономический капитал конвертируется в политическую власть, российская система функционирует в противоположном направлении: позиция в государственно-иерархической системе открывает доступ к экономическим ресурсам через государственные контракты, регуляторные преференции, руководство государственными корпорациями и «вращающиеся двери» в частный сектор. Это определяет и специфическую природу рентных отношений: доминирующей формой является **государственная рента**, присваиваемая через иерархические позиции, а не через наследование частного капитала или технологические монополии.

Исторически российская государственно-центричная меритократия прошла несколько этапов [5]. Советский период воплощал классическую партократическую меритократию: номенклатурная система обеспечивала тотальный контроль партии над всеми значимыми назначениями, а рента извлекалась через привилегированный доступ к дефицитным благам, а

не через денежный капитал. Постсоветская трансформация 1990-х годов стала *переходным периодом* временного ослабления государственно-центричных механизмов: залоговые аукционы 1995 года и хаотичная приватизация породили класс олигархов, в котором направление конвертации — из экономической власти в политическую — временно приблизилось к капиталократической логике. Дефолт 1998 года обнажил несостоятельность этой модели. С приходом к власти в 2000 году началось восстановление государственно-центричной меритократии через вертикаль власти, ренационализацию стратегических активов (дело ЮКОСа, 2003), создание государственных корпораций и подчинение олигархов государственной власти.

Современная российская государственно-центричная меритократия характеризуется, согласно авторскому учебнику [5], рядом отличительных черт. В отличие от китайской модели, где единая партийная иерархия обеспечивает централизованный контроль над рекрутированием элит, российская система опирается на *множественные конкурирующие каналы*: президентская администрация, правительство, силовые ведомства, региональная бюрократия, менеджмент государственных корпораций. Это создаёт более фрагментированную структуру власти с конкуренцией между элитными группами в рамках общей системы лояльности центру. Карьерное продвижение определяется сочетанием формальных меритократических критериев (компетентность, выполнение делегированных задач) и неформальных патрон-клиентских отношений (личная лояльность, принадлежность к сети).

7.2. Специфика рентных отношений в российской государственно-центричной меритократии

Механизмы извлечения государственной ренты в российской системе многоканальны [5]. Руководящие позиции в государственных корпорациях и предприятиях обеспечивают значительные официальные вознаграждения, а также доступ к служебным ресурсам. Контроль

распределения государственных контрактов и лицензий создаёт возможности для формирования неформальных доходов и преференциального распределения заказов. Инсайдерский доступ к информации о предстоящих государственных решениях — планах инфраструктурного строительства, регуляторных изменениях, программах приватизации — позволяет аффилированным агентам занимать выгодные позиции до публичного объявления. Система «вращающихся дверей» — переход государственных чиновников на высокооплачиваемые позиции в компаниях, которые они ранее регулировали, — представляет отложенную форму ренты.

Ресурсная рента занимает особое место в структуре российских рентных отношений. По данным Министерства финансов РФ, доля нефтегазовых доходов в федеральном бюджете составляла от 35 до 50% в различные годы периода 2000–2023 годов. Ресурсная рента является системообразующим элементом не только бюджетной системы, но и политической экономии страны: она позволяет государству осуществлять перераспределение без принуждения к структурным реформам и одновременно ослабляет давление конкуренции на государственные предприятия. Академик РАН Сергей Юрьевич Глазьев в рамках теории технологических укладов указывал на принципиальное противоречие между рентной экономикой и инновационным развитием: «Страна, генерирующая значительную ресурсную ренту, сталкивается с синдромом «голландской болезни» — реальным укреплением курса национальной валюты, подавляющим конкурентоспособность обрабатывающих отраслей, и концентрацией лучших человеческих ресурсов в добывающих секторах и финансовых посредниках, а не в инновационных производствах» [1, с. 198].

Принципиальное следствие для теории рентоориентированного поведения: в российской государственно-центричной меритократии стимулы к рентоориентированному поведению по Баумолу [6]

направлены не на лоббирование (капиталократический канал) и не на получение образовательного сигнала для конкурса в частном секторе (меритократический канал), а на позиционирование в государственно-иерархических сетях — получение должностей в государственных структурах, государственных корпорациях или в бизнесе, аффилированном с государством. Это формирует специфическую аллокацию предпринимательских талантов: значительная их часть направляется не на инновационное предпринимательство (создание новой стоимости), а на административно-иерархическое предпринимательство (позиционирование вблизи государственных ресурсов и полномочий) — непроизводительную деятельность в терминах Баумола.

7.3. Интеллектуальная собственность и технологическая рента в российском контексте

В сфере интеллектуальной собственности российская государственно-центричная меритократия демонстрирует системное противоречие между масштабом научного потенциала и слабостью механизмов его монетизации. По данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) за 2023 год, Россия занимала четвёртое место в мире по числу заявок на патенты через национальные ведомства, однако значительно скромнее позиционирована в международных патентных системах PCT. Созданные советской системой фундаментальные научные результаты нередко использовались без получения роялти зарубежными компаниями, располагавшими ресурсами для их патентования и коммерциализации. Авторский учебник [5] квалифицирует это как «технологический трансфер без компенсации» — форму технологической ренты, присваиваемой странами — лидерами техно-экономических блоков у государств с высоким научным потенциалом, но слабыми механизмами его монетизации.

Академик РАН Полтерович указывал, что слабость институтов монетизации интеллектуальной собственности в России обусловлена не только техническими пробелами в патентном праве, но и системными стимулами государственно-центричной меритократии: в условиях, когда карьерный успех определяется лояльностью государственным структурам, а не инновационными достижениями, лучшие научные кадры или работают на государство на условиях государства, или эмигрируют [3, с. 234]. «Утечка мозгов» является, таким образом, не случайным дефектом, а системным следствием структуры стимулов российской государственно-центричной меритократии: она вознаграждает позиционирование вблизи государственных ресурсов, а не производительное использование научного капитала.

Заключение

Анализ трансформации ренты и рентоориентированного поведения в современных экономических системах позволяет сформулировать несколько ключевых выводов. Первый: рента как экономическая категория не утратила своего значения в цифровую эпоху — она претерпела качественную трансформацию, сместившись от природных и физических ресурсов к нематериальным: знаниям, алгоритмам, данным и сетевым позициям. Рост доли нематериальных активов в стоимости крупнейших корпораций с 17% (1975) до более чем 90% (2020) свидетельствует о том, что интеллектуальная и технологическая рента стала доминирующей формой экономической власти в современном мире [5].

Второй вывод: рентоориентированное поведение является рациональным ответом на институциональные стимулы, а не патологией отдельных агентов. Концепции Таллока [14], Крюгер [9] и Баумола [6] совместно показывают, что масштаб рентоориентированного поведения определяется структурой институциональных вознаграждений, а не моральными качествами экономических агентов. Следствие принципиальной важности: ограничение рентоориентированного

поведения требует реформирования институтов, а не морального просвещения.

Третий вывод: права собственности, трансакционные издержки и специфичность активов (Коуз [7, 8], Уильямсон [15, 16]) задают институциональный фундамент, на котором воспроизводятся рентные отношения. Система интеллектуальной собственности является политическим решением, а не естественной необходимостью: альтернативные институциональные решения — патентные пулы, открытая наука, коллективное управление общими знаниями (Остром [11]) — демонстрируют возможность стимулирования инноваций при меньших рентных потерях. Платформенная рента цифровой экономики создаёт принципиально новые механизмы концентрации богатства и власти, не описываемые ни классической теорией ренты, ни традиционными антимонопольными категориями [13, 17]. Россия как государственно-центричная меритократия демонстрирует специфическую конфигурацию рентных отношений: доминирование государственной ренты через иерархические позиции сочетается с ресурсной рентой и хроническим недоиспользованием накопленного научного потенциала вследствие слабости механизмов монетизации интеллектуальной собственности — что требует целенаправленного создания институтов, вознаграждающих инновационное предпринимательство, а не позиционирование вблизи государственных ресурсов [5].

Список литературы

1. Глазьев С. Ю. Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах / С. Ю. Глазьев. — Москва : Книжный мир, 2018. — 768 с. — ISBN 978-5-6041071-1-9.

2. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Т. 1 / К. Маркс // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения : в 50 т. — 2-е изд. — Москва : Политиздат, 1960. — Т. 23. — 907 с.

3. Полтерович В. М. Элементы теории реформ / В. М. Полтерович. — Москва : Экономика, 2007. — 447 с.

4. Рикардо Д. Начала политической экономии и налогового обложения. Избранное / Д. Рикардо; пер. с англ. П. Клюкина. — Москва : Эксмо, 2007. — 960 с.

5. Рыбинец А. Г. Современная политэкономия : Учебник / А. Г. Рыбинец. — Б. м. : Издательские решения, 2026. — 794 с. — ISBN 978-5-0069-3579-2. — EDN IZGSAL.

6. Baumol W. J. Entrepreneurship: Productive, Unproductive, and Destructive / W. J. Baumol // Journal of Political Economy. — 1990. — Vol. 98, No. 5. — P. 893-921. — DOI: 10.1086/261712.

7. Coase R. H. The Nature of the Firm / R. H. Coase // Economica. — 1937. — Vol. 4, No. 16. — P. 386-405. — DOI: 10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x.

8. Coase R. H. The Problem of Social Cost / R. H. Coase // Journal of Law and Economics. — 1960. — Vol. 3. — P. 1–44. — DOI: 10.1086/466560.

9. Krueger A. O. The Political Economy of the Rent-Seeking Society / A. O. Krueger // American Economic Review. — 1974. — Vol. 64, No. 3. — P. 291–303.

10. North D. C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance / D. C. North. — Cambridge : Cambridge University Press, 1990. — 152 p.

11. Ostrom E. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action / E. Ostrom. — Cambridge : Cambridge University Press, 1990. — 280 p.

12. Ricardo D. On the Principles of Political Economy and Taxation / D. Ricardo. — London : John Murray, 1817. — 589 p.

13. Tirole J. Market Failures and Public Policy / J. Tirole // American Economic Review. — 2015. — Vol. 105, No. 6. — P. 1665-1682.

14. Tullock G. The Welfare Costs of Tariffs, Monopolies, and Theft / G. Tullock // Western Economic Journal. — 1967. — Vol. 5, No. 3. — P. 224–232. — DOI: 10.1111/j.1465-7295.1967.tb01923.x.

15. Williamson O. E. Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications / O. E. Williamson. — New York : Free Press, 1975. — 286 p.

16. Williamson O. E. The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting / O. E. Williamson. — New York : Free Press, 1985. — 450 p.

17. Zuboff S. The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power / S. Zuboff. — New York : PublicAffairs, 2019. — 691 p.

© Рыбинец А.Г.

Глава 4.
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЭД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ЛАГАМИ: МЕТОДЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

Худякова Ольга Юрьевна
канд. техн. наук, доцент
Дипломатическая академия
МГИМО МИД России

Аннотация: В работе рассматривается применение моделей с распределенным лагом для анализа и прогнозирования внешнеэкономической деятельности. Описаны основные типы DL-моделей, а также классические подходы Койка, Алмон и Тинбергена-Альта. Особое внимание уделено проблеме мультиколлинеарности, возникающей при включении большого числа лаговых переменных, и методам ее преодоления.

На примере анализа влияния курса доллара на инвестиции в основной капитал показано, как DL-модели позволяют количественно оценить краткосрочные и долгосрочные эффекты, выявить структуру временных лагов и определить моменты максимального воздействия экономических факторов. Рассмотрен эффект «J-кривой» в контексте реакции торгового баланса на девальвацию национальной валюты, а также специфика применения моделей для российской экономики.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования предложенных подходов для более точного моделирования динамики экспортно-импортных операций, инвестиционных- потоков и других аспектов ВЭД. Это способствует формированию эффективных стратегий управления и повышению

качества экономических прогнозов в условиях высокой неопределенности.

Ключевые слова: модель с распределенным лагом, ВЭД, временные лаги, мультиколлинеарность, прогнозирование экономических показателей, краткосрочные и долгосрочные эффекты, структура лага.

ANALYSIS OF FOREIGN TRADE DYNAMICS USING MODELS WITH DISTRIBUTED LAGS: METHODS, PROBLEMS, AND SOLUTIONS

Khudyakova Olga Yurievna

Abstract: The paper discusses the application of distributed lag models for the analysis and forecasting of foreign economic activity. It describes the main types of DL models, as well as the classical approaches of Koike, Almon, and Tinbergen-Alt. Special attention is paid to the problem of multicollinearity that arises when a large number of lag variables are included, and the methods for overcoming it.

Using the example of analyzing the impact of the dollar exchange rate on fixed-asset investments, the paper shows how DL models can be used to quantify short-term and long-term effects, identify the structure of time lags, and determine the moments of maximum impact of economic factors. The article examines the J-curve effect in the context of the trade balance's response to the national currency's devaluation, as well as the specifics of applying models to the Russian economy.

The practical significance of the study lies in the possibility of using the proposed approaches to more accurately model the dynamics of export-import operations, investment flows, and other aspects of foreign economic activity. This contributes to the development of effective management strategies and improves the quality of economic forecasts in conditions of high uncertainty.

Key words: distributed lag model, foreign economic activity, time lags, multicollinearity, forecasting economic indicators, short-term and long-term effects, and lag structure.

Введение

Внешнеэкономическая деятельность часто подвержена различным временным задержкам в реакции экономики на изменения во внешней среде (например, изменения в обменных курсах, тарифах, внешних инвестициях). Модели с распределенным лагом позволяют учитывать эти временные задержки и лучше прогнозировать будущие тенденции. Кроме того, использование DL-моделей в анализе и прогнозировании ВЭД определяется еще несколькими причинами: возможностью комплексно анализировать взаимосвязи, гибкостью таких моделей, возможностью прогнозировать и осуществлять сценарный анализ, интегрировать данные из различных источников и анализировать долгосрочные тенденции.

Применение моделей с распределенным лагом (DL) в исследованиях внешнеэкономической деятельности обусловлено тем, что экономические эффекты от изменения валютных куров, таможенных пошлин или мировых цен проявляются не мгновенно, а постепенно.

Среди зарубежных авторов основополагающий вклад в развитие этого инструментария внесли классики эконометрики. Шарли Алмон[1] разработала в 1965 году метод полиномиально распределенных лагов (лаги Алмон), который активно используется для анализа влияния инвестиций и изменения торговой политики на объемы экспорта и импорта. Марк Нерлов[2] предложил адаптивные ожидания и модели частичной корректировки, которые стали базой для изучения реакции спроса на импортную продукцию. Также существенное значение имеют

[1] Алмон С. 1965. Распределённое отставание между капитальными ассигнованиями и расходами. *Econometrica 33(1)*, январь, 178–96.
[2] Nerlove M. Distributed lags and demand analysis for agricultural and other commodities, 1958.

работы Роберта Шиллера[3], предложившие байесовский подход к оценке лаговых структур, и Клайва Грэнджера[4] в контексте коинтеграции и моделей авторегрессии с распределенным лагом (ARDL), которые позволяют анализировать долгосрочные и краткосрочные эффекты во внешней торговле.

Российские ученые активно адаптируют данные модели для специфики переходной и развивающейся экономики РФ. В работах С.А. Айвазяна[5] модели с распределенным лагом рассматриваются как инструмент анализа динамических рядов макроэкономических показателей. Другие исследователи, такие как Корхин[6] А.С., Савдерова А.Ф., Малахова В. и Дубинина Т., Юрченко Е.Г., Гичиева Н.С., Горбач С.А. и Семинога С.А., анализируют различные экономические явления с запаздывающей реакцией, в том числе используют лаговые структуры при построении моделей для определения уровня зависимости темпов роста ВРП от темпов инвестиций в основной капитал. Также вопросы моделирования ВЭД с использованием ARDL – моделей встречаются в трудах авторов Высшей школы экономики, где исследуется эффект «J-кривой» и эластичность экспорта по доходу зарубежных стран.

Современный этап изученности темы характеризуется интеграцией моделей распределенных лагов с методами коинтеграции и анализом панельных данных. Это позволяет учитывать не только временные задержки в рамках одной страны, но и проводить сравнительный анализ влияния внешнеэкономических шоков на группы государств. Модели класса ARDL сегодня считаются стандартом для оценки долгосрочных и краткосрочных эластичностей в условиях нестационарных временных

[3] Шиллер Р. (2014). Иррациональный оптимизм: Как безрассудное поведение управляет рынками. Альпина Паблишер.
[4]Granger C. W. J. (1983). Co-integrated variables and error-correcting models. Unpublished UCSD Dis cussion Paper 83–13.
[5] Айвазян С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики. Юнити.2001.
[6] Корхин А.С. Моделирование экономических систем с распределенным лагом. – М. Финансы и статистика, 1981. – 160 с.

рядов, что подтверждается многочисленными эмпирическими публикациями в ведущих экономических журналах [1].

DL-модель. Модель с распределенным лагом (Distributed Lag Model, DL-модель) – это статистический метод, используемый для анализа временных рядов, позволяющий учитывать задержанные реакции зависимой переменной (например, объемы экспорта или импорта) на изменения независимой переменной (например, уровня валютного курса, мировых цен и т.д.).

В таких моделях предполагается, что эффект изменений независимой переменной не проявляется сразу, а распределяется во времени. Это позволяет исследовать динамику влияния одного или нескольких факторов на экономические показатели в течение определенного временного интервала.

DL-модель может быть представлена в следующем виде

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 X_{t-1} + \beta_3 X_{t-2} + \ldots + \varepsilon_t$$

Где Yt – зависимая переменная (например, объем экспорта в момент времени t), Xt –независимая переменная (например, уровень валютного курса в момент времени t), β0, β1, β2, β3 – коэффициенты модели, отражающие величину влияния независимой переменной на зависимую на разных временных лагах, εt – ошибка модели.

Применительно к внешнеэкономической деятельности использование DLM позволяет моделировать динамику экспортно-импортных операций. Ученые используют распределенные лаги для оценки того, как быстро изменение курса национальной валюты приводит к корректировке объемов внешней торговли. Также данные модели востребованы при изучении влияния прямых иностранных инвестиций на технологическое развитие принимающей страны, так как эффект от вложений редко бывает мгновенным и распределяется на несколько периодов [3].

В современной практике прогнозирования ВЭД наиболее популярным подходом остается модель авторегрессии и распределенного лага, поскольку она позволяет работать с переменными разного порядка интеграции и эффективно выделять временные промежутки, через которые изменение внешних условий (например, санкционных ограничений или мировых цен на энергоресурсы) максимально отражается на показателях торгового баланса [2].

Экономика страны находится во взаимосвязи с внешними экономическими условиями, такими как спрос на экспорт, международные цены и экономические циклы партнеров. Модель позволяет исследовать не только текущие, но и запаздывающие эффекты влияния этих факторов на экономическую деятельность.

Модели с распределенным лагом могут быть адаптированы под множество различных ситуаций, включая как линейные, так и нелинейные связи. Это происходит благодаря возможности изменять структуру лагов в зависимости от специфики анализируемой проблемы.

Нелинейные модели с распределенным лагом – это эконометрические модели временных рядов, где текущее значение зависимой переменной зависит не только от текущего, но и от прошлых (лаговых) значений независимых переменных, причем связь между ними нелинейна. Они описывают отложенный во времени эффект воздействия факторов на результат. Основные концепции и типы моделей: модель Койка – случай, где коэффициенты при лаговых переменных убывают геометрически, и модель Алмон, применяемая, когда лаговые переменные лежат на полиноме определенной степени.

Используются, когда экономический эффект от действия переменной проявляется не сразу, а растянут по времени (например, влияние изменений процентной ставки на объем инвестиций).

В условиях высокой неопределенности, характерной для международной торговли и инвестиций, использование таких моделей

помогает создавать более надежные прогнозы и сценарии развития ВЭД, что особенно важно для разработчиков политики и бизнеса.

Модели могут эффективно использовать данные по ряду экономических индикаторов из различных источников, что позволяет проводить более детальный и всесторонний анализ внешнеэкономической деятельности.

DL-модель позволяет не только оценивать краткосрочные эффекты, но и выявлять долгосрочные тренды, что важно для стратегического планирования в области ВЭД.

Таким образом, применение моделей с распределенным лагом в сфере анализа и прогнозирования внешнеэкономической деятельности не только оправдано, но и крайне необходимо для обеспечения более точного понимания сложных экономических процессов и формирования эффективных стратегий управления.

Внешнеэкономическая деятельность представляет собой комплекс взаимосвязанных процессов, связанных с обменом товаров, услуг, капитала и технологий между государствами. В рамках этих процессов важным аспектом являются временные лаги – задержки и отставания в реакциях экономических агентов на различные изменения, как в экономической среде, так и в политике. Понимание временных лагов позволяет лучше моделировать и прогнозировать динамику ВЭД [4].

Временной лаг в контексте ВЭД – это период времени, в течение которого экономические изменения (например, колебания валютных курсов, изменения налоговых ставок или инвестиционные решения) начинают оказывать влияние на объемы экспорта и импорта, а также на общие экономические тенденции.

Причины возникновения задержек (лагов) стоит классифицировать на 3 основные группы: институциональные факторы, технологические факторы и психологические.

Существующие законодательные и регуляторные ограничения, которые могут замедлять реакцию бизнеса на изменение ВЭД, а также кадровые ресурсы и навыки, требующие адаптации к новым экономическим условиям, следует отнести к институциональным факторам. К технологическим – время, необходимое для внедрения новых технологий или изменения производственных процессов, и сложности в логистике, возникающие при изменении маршрутов поставок или смене поставщиков. К психологическим факторам относятся долговременные привычки и предвзятости в отношении изменений на рынке, замедляющие принятие новых решений, и время реагирования рынка на изменения в экономических показателях из-за неопределенности и страха перед будущим.

При построении моделей с распределенным лагом важным вопросом является правильность выбора количества лагов, что позволяет избежать переобучения модели и обеспечить ее адекватность при построении будущих изменений в ВЭД.

Модели являются мощным инструментом для понимания и анализа временных задержек в международной экономической деятельности. Они помогают сделать более точные прогнозы и принимать обоснованные решения в условиях изменяющихся международных рыночных условий [5].

Проблема мультиколлинеарности и методы ее решения

Обычный метод наименьших квадратов неприменим из-за сильной мультиколлинеарности, тесной связи между последовательными значениями объясняющей переменной. Чем длиннее лаг, тем сильнее мультиколлинеарность.

Такая ситуация приводит к возникновению следующих проблем: неустойчивость оценок коэффициентов, неоправданный рост значимости коэффициентов, потеря степеней свободы. Чувствительность оценок к малым изменениям данных из-за сильной мультиколлинеарности

возрастает, что затрудняет интерпретацию результатов. Стандартные ошибки оценок коэффициентов могут оказаться завышенными, что приведет к неправильному выводу о статистической значимости. Длинные лаги в модели приводят к значительному увеличению числа оцениваемых параметров и соответствующему резкому снижению степеней свободы, что затрудняет проверку по статистическим тестам и уменьшает качество модели.

Существует несколько подходов к решению проблемы мультиколлинеарности в DL-моделях:

1. Сокращение числа лагов. Один из способов заключается в том, чтобы исключить наиболее коррелированные лаги. Для этого используются различные методы, например, анализ главных компонент. Другой способ состоит в выборе только тех лагов, значимость которых наиболее важна для объяснения зависимой переменной;

2. Регуляризация. Такие методы, как ридж-регрессия или лассо, помогают снизить мультиколлинераность, вводя штрафы на величину коэффициентов. Это снижает риск переоценки или недооценки параметров.

3. Стандартизация переменных. В отдельных случаях стандартизация переменных снижает влияние мультиколлинеарности, хотя при этом проблема не решается полностью.

4. Использование методов временных рядов. Вместо обычной регрессии можно использовать методы временных рядов, такие как модели авторегрессионного скользящего среднего (ARIMA) или векторные авторегресионные модели (VAR), которые лучше справляются с автокорреляцией и зависимостью.

Обращение к проблеме мультиколлинеарности в моделях с распределенными лагами – это важный аспект, который требует внимания и применения соответствующих методов для получения надежных и интерпретируемых результатов.

Эффект «J-кривой» описывает временную задержку в реакции торгового баланса страны на девальвацию национальной валюты. Согласно этой концепции, сразу после обесценивания валюты торговый баланс сначала ухудшается (отрицательно сальдо растет), и лишь спустя некоторое время начинает улучшаться, что при визуализации напоминает латинскую букву «J».

Использование моделей с распределенным лагом является основным методом количественного подтверждения этого эффекта. Это связано с тем, что мгновенное изменение обменного курса влияет на стоимость импорта сразу (в национальной валюте он становится дороже), в то время как объемы экспорта и импорта подстраиваются медленно из-за жесткости контрактов и инерционности логистических цепочек.

В эконометрическом моделировании для этого чаще всего применяется модель ARDL. Исследователи включают в уравнение текущее и несколько лаговых значений реального обменного курса. Если коэффициенты при первых (коротких) лагах имеют отрицательные значения, а при последующих – положительные, это статистически подтверждает существование «J-кривой». Сумма этих коэффициентов позволяет оценить долгосрочную эластичность торгового баланса.

Причины возникновения временных лагов, фиксируемых в моделях, делятся на три типа. Лаги признания связаны со временем, необходимым рынку для осознания изменения конкурентоспособности. Лаги принятия решений касаются пересмотра условий торговых соглашений. Производственные лаги отражают время на переориентацию мощностей и поиск новых поставщиков или рынков сбыта.

Применение моделей распределенного лага позволяет аналитикам точно определить критическую точку – время, через которое девальвация начнет приносить положительный эффект для ВЭД. Для российской

экономики такие модели часто показывают специфические результаты: из-за высокой доли сырьевого экспорта, цена на который устанавливаются в валюте, эффект «J-кривой» может быть сглажен или иметь иную временную структуру по сравнению с развитыми странами, экспортирующими готовую продукцию.

Преимущества подхода Тинбергена-Альта

Подход Тинбергена-Альта является одним из классических методов определения структуры лага, который основывается на последовательном добавлении временных задержек объясняющей переменной в уравнение регрессии. В контексте моделирования ВЭД данный метод обладает рядом специфических преимуществ.

Главным достоинством подхода является отсутствие жестких априорных ограничений на форму распределения лага. В отличие от модели Алмон, которая предполагает, что веса лагов лежат на полиноме определенной степени, или модели Койка с геометрическим убыванием, метод Тинбергена-Альта позволяет исследователю напрямую оценить каждый коэффициент. Для ВЭД это критически важно, так как реакция экспорта или импорта на применение курса валют может быть нестандартной и не вписываться в строгие математические функции.

Второй плюс заключается в возможности точного определения точки максимального воздействия. Последовательный перебор лагов позволяет выявить конкретный период (например, 3-й или 4-й квартал), на который приходится пик эластичности торговых потоков. Это дает возможность более детально интерпретировать «логистическое плечо» или время, необходимое для перезаключения внешнеторговых контрактов после изменения рыночной конъюнктуры.

Подход также облегчает проверку гипотез о структурных сдвигах. В международной торговле факторы (например, санкции или изменения таможенных пошлин) могут резко менять динамику процессов. Модель, построенная по принципу Тинбергена-Альта, нагляднее демонстрирует,

в какой именно момент времени старые взаимосвязи перестают работать, так как каждый лаг оценивается независимо.

Кроме того, данный метод служит хорошей базой для последующего перехода к более сложным структурам, таким как ARDL. Он позволяет на начальном этапе исключить явно незначимые временные интервалы, что снижает риск мультиколлинеарности при сохранении адекватной глубины прогноза. Это делает его удобным инструментом для первичного анализа волатильных макроэкономических показателей, характерных для современного состояния глобальных рынков (табл. 1).

Таблица 1

Модели с последовательным перебором лагов независимой переменной

№	Модели	R^2	Значимость уравнения регрессии
1	Y_t=-6424,8 +424,1*X_t (0,006) (4,9*10^{-10})	0,802	4,9*10^{-10}
2	Yt=-6308,9 +321,0*X_t+110,8*X_{t-1} (0,011) (0,031) (0,047)	0,805	1,4*10^{-8}
3	Y_t=-6320,5 +316,3*X_t +14,2*X_{t-1}+142,9*X_{t-2} (0,017) (0,034) (0,944) (0,363)	0,799	1,9*10^{-7}
4	Y_t=-6027,2 +249,4*X_t+45,7*X_{t-1}-83,7*X_{t-2}+ 247,9*X_{t-3} (0,022) (0,093) (0,819) (0,694) (0,159)	0,813	8,8*10^{-7}
5	Y_t=-5743,8 +235,2*X_t+27,5*X_{t-1}-38,0*X_{t-2}+ 110,4*X_{t-3} +132,7*X_{t-4} (0,039) (0,114) (0,894) (0,869) (0,677) (0,488)	0,808	7,6*10^{-6}

Примечание. В скобках указаны значимость параметров регрессии по t-критерию

Анализ моделей позволяет сделать вывод о целесообразности включения временных лагов в уравнение регрессии. Все модели являются статистически значимыми в целом. Это подтверждает наличие зависимости между переменными в каждой из спецификаций. Коэффициент детерминации колеблется в довольно узком диапазоне значений от 0,799 до 0,813.

В данных моделях положительный коэффициент при переменной X указывает на то, что рост курса доллара (девальвация рубля) сопровождается ростом инвестиций в основной капитал в номинальном рублевом выражении. Модель 1 демонстрирует, что при увеличении курса доллара на 1 рубль объем инвестиций в основной капитал в текущем периоде в среднем увеличивается на 424,1 млрд рублей. Коэффициент детерминации 0,802 означает, что текущий курс доллара на 80,2% объясняет вариацию объема инвестиций. Модель надежна, поскольку все ее параметры значимы.

Учет временного лага в модели 2 приводит к следующим изменениям, рост курса на 1 рубль в текущем году определит немедленный рост инвестиций на 321 млрд рублей, изменение курса на 1 рубль в прошлом году окажет влияние на текущие инвестиции, увеличивая их еще на 110,8 млрд рублей. Общее изменение инвестиций при сохранении нового уровня курса в течение двух лет составит 431,8 млрд рублей. Эта модель статистически значима в целом, все ее параметры значимы. Это говорит о том, что инвестиционные решения принимаются с учетом как текущей рыночной конъюнктуры, так и условий прошлого года.

При включении в модель курсов доллара с задержкой в 2, 3 и 4 года наблюдается потеря значимости и рост мультиколлинеарности. Модели 3, 4 и 5 демонстрируют избыточность параметров. В них большинство лаговых переменных становится незначимыми. Это явный признак мультиколлинеарности – ситуации, когда текущие и прошлые значения переменной X сильно связаны между собой, что «размывает» точность

оценки их влияния. Р-значения параметров моделей при лаговых переменных возрастают. Это означает, что невозможно с уверенностью утверждать, что курс двух- или трехлетней давности напрямую влияет на текущие инвестиции. Кроме этого высокая зависимость между курсом доллара текущего и прошлых периодов приводит к тому, что модель не может точно распределить вклад каждого года.

Таким образом, подход Тинбергена-Альта рекомендует при выборе числа включенных лагов остановиться на модели 2, включив один лаг независимой переменной, а информационные критерии – на модели 5, включив лаги независимой переменной до 4го порядка включительно.

Информационные критерии Акаике (AIC), Шварца (BIC) и Хеннана-Куинна (HQ) используются для сравнения эконометрических моделей и выбора наилучшей из них с учетом баланса между качеством подгонки к данным и сложностью модели (табл. 2). Чем ниже значения критерия, тем предпочтительнее модель.

Таблица 2

Статистики критериев Акаике, Шварца, Хеннана-Куинна

Номер модели	***AIC***	***BIC***	***HQ***
1	492,54	494,98	493,21
2	474,30	477,84	475,24
3	455,46	459,99	456,60
4	434.41	439,86	435,69
5	415,20	421,47	416,56

Значения статистик информационных критериев во всех случаях уменьшаются последовательно с увеличением лагов, что говорит о лучшем соответствии модели данным при добавлении лагов. Наименьшие значения критериев соответствуют модели № 5.

Таким образом, подход Тинбергена-Альта рекомендует при выборе числа включенных лагов остановиться на модели 2, включив один лаг

независимой переменной, а информационные критерии – на модели 5, включив лаги независимой переменной до 4-го порядка включительно.

Снижение мультиколлинеарности с использованием метода Алмон

Одним из комплексных подходов к решению проблемы числа лагов, мультиколлинеарности и качества модели с распределенным лагом является метод Алмон (Almon Lag Model).

Используем метод Алмон для снижения мультиколлинеарности.

При анализе долгосрочных внешнеторговых контрактов такой метод обладает рядом преимуществ:

1. Упрощение структуры лага. Метод Алмон предполагает, что влияние объясняющей переменной на зависимую переменную убывает с течением времени по определенному функциональному закону (обычно линейному или полиномиальному). Это упрощает модель, поскольку не требуется вводить отдельные переменные для каждого лага, что помогает избежать проблемы, вызванной мультиколлинеарностью, и сокращает количество параметров.

2. Гибкость модели. Метод позволяет более гибко учитывать долгосрочные и краткосрочные эффекты, поскольку можно задавать различные веса для лагов, что позволяет лучше отображать реальную динамику внешнеэкономических отношений.

3. Устойчивость к мультиколлинеарности. Использование метода Алмон не требует введения множества отдельных лаговых переменных, что снижает корреляцию между ними.

4. Легкость интерпретации. Коэффициенты, полученные в рамках метода Алмон, проще интерпретируются, чем в более сложных моделях с множеством лаговых переменных, что облегчает процесс анализа и представления результатов.

5. Долгосрочное планирование. Метод позволяет эффективно моделировать долгосрочные контракты, обеспечивая понимание того, как изменения во внешнеэкономических условиях (например, валютные колебания или изменения тарифов) могут повлиять на объемы торговли и инвестиции в будущем [5].

6. Использование ограниченного числа параметров. Вместо необходимости оценивать множество параметров метод Алмон позволяет использовать ограниченное количество параметров для модели, что особенно важно, если доступно ограниченное количество данных.

7. Анализ динамики вследствие изменений в объясняющих переменных. Метод помогает понять динамику влияния изменений независимых переменных на зависимую во времени, что важно для оценки влияния внешнеэкономических факторов на долгосрочные контракты.

8. Эффективность расчетов. Технически метод Алмон может быть более эффективным в расчетах, он представляет более стабильные оценки в условиях недостаточности данных [6].

Применение метода Алмон в анализе долгосрочных внешнеэкономических контрактов представляет перспективный подход, который позволяет гибко учитывать влияние временных издержек в динамике внешнеэкономических отношений. Упрощение структуры модели и устойчивость к проблемам мультиколлинеарности делают этот метод особенно привлекательным для исследователей и практиков, занимающихся анализом ВЭД.

Нормируем коэффициенты модели № 5 и определим структуру лага (рис. 1).

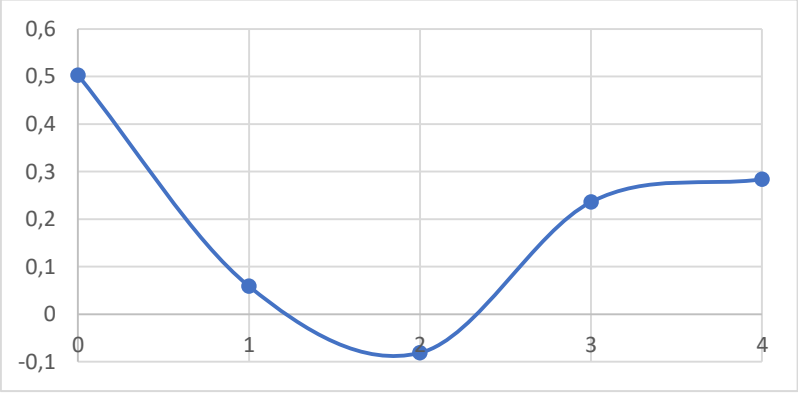


Рис. 1. Структура лага

Структура лага отличается от геометрической тем, что позволяет предположить, что ее можно описать полиномом и целесообразно применить метод Алмон. Для описания коэффициентов будем брать полиномы второй степени, как правило, такого порядка достаточно для требуемого качества и точности модели. Промежуточная регрессия содержит три независимых переменных вместо пяти, что существенно снижает мультиколлинеарность модели, при этом коэффициент детерминации вырос, и выросла значимость уравнения регрессии в целом (табл. 3).

Таблица 3

Модели с применением метода Алмон

№	Модели	R^2	Значимость уравнения регрессии
5	Y_t=-5743,8 +235,2*X_t+27,5*X_{t-1}-38,0*X_{t-2}+ 110,4*X_{t-3} +132,7*X_{t-4} (0,039) (0,114) (0,894) (0,869) (0,677) (0,488)	0,808	$7,6*10^{-6}$
6	Y_t=-5884,69 +216,10*Z_0-218,54*Z_1+52,62*Z_2 (0,023) (0,031) (0,169) (0,182)	0,829	$2,39*10^{-7}$
7	Y_t=-5884,69 +216,10*X_t+50,18*X_{t-1}-10,51*X_{t-2}+ 34,03*X_{t-3} +183,81*X_{t-4}	0,829	$2,39*10^{-7}$

Интерпретируя коэффициенты регрессии, можно указать следующее. Краткосрочный мультипликатор (216,10) показывает, что при увеличении курса доллара на 1 рубль в текущем году инвестиции в основной капитал вырастают на 216,10 млрд рублей без учета влияния лаговых переменных. Эффект изменится еще на 50,18 единиц через 1 год, через 2 года дополнительный прирост станет отрицательным (-10,51), через 3 года инвестиции вырастут еще на 34,03, а через 4 года

еще на 183,81 млрд рублей. Таким образом, в долгосрочном периоде инвестиции вырастут на 473,61 млрд рублей.

Взвешенная сумма лагов, деленная на долгосрочный мультипликатор, характеризует средний лаг (1,83 года), определяющий период, за который в среднем проявится влияние курса доллара на объем инвестиций в основной капитал. В данном случае наблюдается довольно медленное воздействие.

Медианный лаг определяет момент времени, когда накопленный мультипликатор достигает половины долгосрочного эффекта, в данном случае примерно медианный лаг составляет 1,5 года.

Таким образом, влияние курса доллара на инвестиции в основной капитал проявляется не сразу, с задержкой до четырех лет. Наибольший вклад в долгосрочный эффект дают текущий период и четвертый лаг, средний лаг составляет около двух лет.

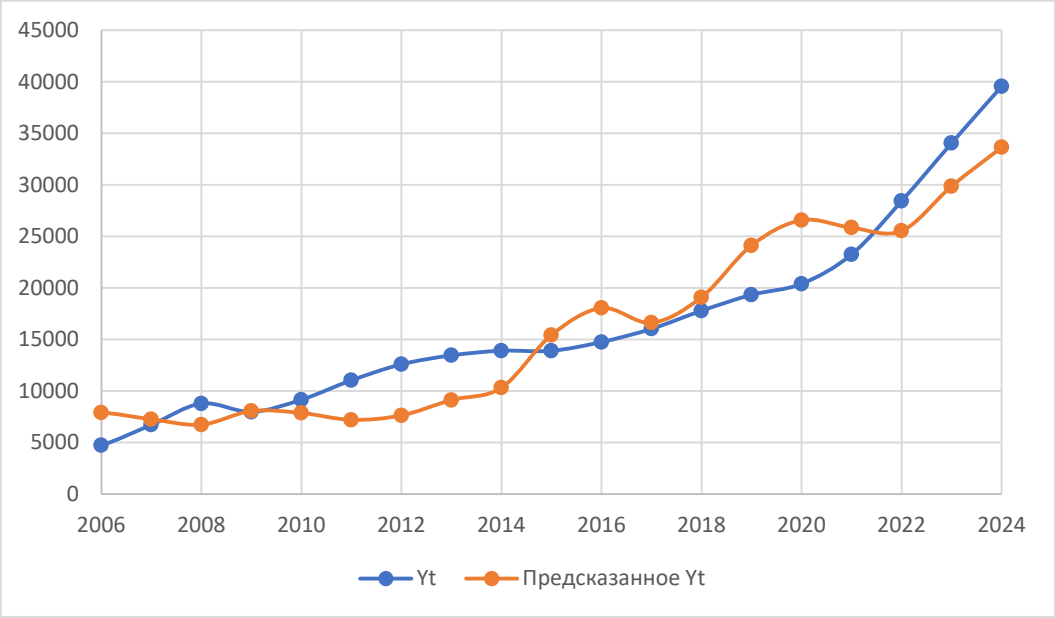


Рис. 2. Аппроксимация временного ряда построенной моделью

Несмотря на хорошие показатели качества модели, средняя ошибка аппроксимации оставляет 32,1%, что довольно много и обычно считается неприемлемым (рис. 2). Модель не обеспечивает равномерной точности

на всем временном интервале. Наблюдается явная тенденция к систематическим ошибкам, модель не успевает за быстрым ростом инвестиций в основной капитал в последние годы. Для повышения точности модели рекомендуется пересмотреть спецификацию модели или использовать другие методы анализа [7].

Вывод

В рамках проведенного исследования была обоснована высокая значимость применения моделей с распределенным лагом для анализа и прогнозирования внешнеэкономической деятельности. Использование данных моделей позволяет не только количественно оценить влияние ключевых экономических факторов, таких как валютный курс, мировые цены, инвестиционные потоки, но и выявить структуру временных лагов, определяющих динамику экспортно-импортных операций.

Показано, что реакция экономических агентов на изменение внешней среды редко бывает мгновенным и, как правило, растянута во времени. Это особенно актуально для российской экономики, где специфика сырьевого экспорта и высокая зависимость от внешних рынков требуют учета отложенных эффектов. Применение классических и современных эконометрических подходов, включая методы Койка, Алмон и Тинбергена-Альта, позволило, выявив особенности структуры лагов, предложить эффективные способы решения проблемы мультиколлинеарности.

Практическая апробация моделей на примере влияния курса доллара на инвестиции в основной капитал продемонстрировала, что наибольший вклад в долгосрочный эффект дают текущий период и лаги с задержкой до четырех лет. При этом средний лаг составляет около двух лет, что свидетельствует о медленном проявлении влияния валютного курса на инвестиционную активность.

Применение L-моделей является не только оправданным, но и крайне необходимым инструментом для стратегического планирования,

формирования эффективной экономической политики и принятия обоснованных управленческих решений в сфере внешнеэкономической деятельности.

Список литературы

1. Болдыревский П. Б., Кистанова Л. А. Модель с распределенными лагами динамики инновационной деятельности промышленных предприятий // Экономико-математическое моделирование. 25 (376), 2014. С. 58–62.

2. Васильева Р. И., Мариев О. С., Войтенков В. А., Уразбаева А. Р. Факторы экспортной диверсификации: эконометрический анализ промышленных регионов России. Экономика региона, Т. 18, вып. 3. С. 895-909. https:// doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-3-19.

3. Олейнов А. Г. Теории международной торговли и внешнеторгового регулирования // Мировое и национальное хозяйство, МГИМО. № 2 (51), 2020, с. 4–28.

4. Сахарова О. С., Растопчина Ю. Л. Исследование моделей эффективности внешнеторговой деятельности: макроэкономический аспект // Научные ведомости. Серия Экономика. Информатика, 2015. № 13 (210). Выпуск 35/1, с. 71–77.

5. Худякова О. Ю. Прогнозные модели макроэкономических процессов: особенности построения // Журнал «Научное обозрение. Серия 1. Экономика и право», № 3, 2024. С. 165–171.

6. Худякова О. Ю. Эффекты международной торговли ЕАЭС с Китаем //Экономика и предпринимательство, № 8, 2025 г., с. 425–428.

7. Чернецов А. Н. Методы технологического прогнозирования // Вестник науки № 6 (15), том 4. С. 124-129. 2019 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: https://www.вестник-науки.рф/article/1790 (дата обращения 02.04.2026 г.).

© Худякова О.Ю., 2026

Глава 5.
ТРАНСФОРМАЦИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ СТРАТЕГИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Саенко Ольга Николаевна
к.э.н., доцент кафедры маркетинга
Донецкий институт управления – филиал
ФГБОУ ВО «Российская академия
народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации»

Аннотация: В последние годы развитие маркетинга характеризуется высокой степенью неопределенности, сопровождаемой ускоренной цифровизацией и усложнением коммуникационной среды. Усиление турбулентности макроэкономических процессов, изменение регуляторной среды и трансформация потребительского поведения обусловили переход от интуитивно ориентированных моделей управления к данным и алгоритмам. Маркетинговые решения перестали ограничиваться коммуникационной функцией и стали интегрированным элементом стратегического управления, напрямую влияющим на экономическую устойчивость организаций, структуру издержек и параметры операционной эффективности.

Ключевые слова: маркетинг; цифровизация; искусственный интеллект; performance-маркетинг; ритейл-медиа; сквозная аналитика; видеореклама; гиперперсонализация; регуляторная трансформация; экономическая эффективность.

TRANSFORMATION OF MARKETING STRATEGIES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION AND TECHNOLOGICAL TURBULENCE

Saenko Olga Nikolaevna

Abstract: In recent years, the development of marketing has been characterized by a high degree of uncertainty, accompanied by accelerated digitalization and an increasingly complex communication environment. The increasing turbulence of macroeconomic processes, the changing regulatory environment and the transformation of consumer behavior have led to the transition from intuitively oriented management models to data and algorithms. Marketing solutions have ceased to be limited to the communication function and have become an integrated element of strategic management that directly affects the economic sustainability of organizations, cost structure, and operational efficiency parameters.

Key words: marketing; digitalization; artificial intelligence; performance marketing; retail media; end-to-end analytics; video advertising; hyperpersonalization; regulatory transformation; economic efficiency.

Целью данного исследования является комплексный анализ трансформации маркетинговых стратегий и инструментов в условиях цифровизации, технологической турбулентности и изменения регуляторной среды в период 2023–2026 гг., а также выявление структурных закономерностей перераспределения бюджетов, эволюции каналов коммуникации и внедрения инструментов искусственного интеллекта на основе статистических данных отраслевых исследований. Дополнительно цель заключается в интерпретации количественных показателей развития рекламного и маркетингового рынков с позиций их влияния на управленческую эффективность, измеримость результатов и

формирование новой парадигмы маркетинга, ориентированной на гиперперсонализацию, аналитическую обоснованность решений и институционализацию доверия как ключевого фактора конкурентоспособности.

Исторический экскурс развития маркетинговых стратегий. Для формирования целостной картины в понимании современного положения маркетинговых стратегий и их тенденций необходимо затронуть предпосылки формирования современной парадигмы. Эволюция маркетинговых стратегий на протяжении последних десятилетий представляет собой последовательный переход от интуитивно ориентированных и преимущественно массовых коммуникаций к высокоточным, управляемым данным и алгоритмам системам [1, с. 72]. Понимание текущей фазы цифровой трансформации и технологической турбулентности невозможно без ретроспективного анализа ключевых этапов, на которых закладывались современные парадигмы, инструменты и ограничения. Исторически маркетинг как управленческая функция начинал свой путь в эпоху индустриального общества, где доминировала концепция сбыта произведённого продукта — классические «четыре Р» (product, price, place, promotion) были формализованы в 1960-х годах и долгое время служили базовым каркасом стратегического планирования. Однако уже в 1980-е годы усиление конкуренции и сегментация рынков привели к развитию концепции маркетинга взаимоотношений, сместившей фокус с разовых транзакций на долгосрочную ценность клиента. Этот переход создал теоретическую основу будущей персонализации, но технологические возможности того времени ограничивались статистической обработкой ограниченных массивов данных, поступающих преимущественно из розничных продаж и опросов.

Подлинный перелом наступил с коммерциализацией интернета в середине 1990-х годов. Появление первых веб-сайтов, баннерной

рекламы и поисковых систем открыло эпоху цифрового маркетинга, где ключевым отличием стала изначальная измеримость взаимодействий — количество показов, кликов, переходов. Компании впервые получили возможность отслеживать путь пользователя от первого контакта до покупки, пусть и в крайне упрощённом виде (через cookies и реферальные ссылки). В конце 1990-х–начале 2000-х годов формируется практика поисковой оптимизации и контекстной рекламы, а Google AdWords (ныне Google Ads) задаёт стандарт аукционных моделей оплаты за клик. На этом этапе маркетинговые бюджеты начинают медленно, но неуклонно перетекать из традиционных медиа (телевидение, радио, пресса) в digital-каналы, однако их доля остаётся незначительной — менее 5–7% от общих рекламных расходов в развитых странах.

Второй значимый сдвиг произошёл в конце 2000-х — первой половине 2010-х годов, что было связано с тремя феноменами: взрывным ростом социальных сетей, массовым распространением смартфонов и появлением «больших данных». Социальные медиа изменили природу коммуникации — потребитель из пассивного получателя сообщений превратился в активного создателя контента и участника бренд-диалога. Виральные кампании, пользовательские отзывы, сообщества вокруг брендов стали не менее важны, чем прямая реклама. Одновременно мобильные устройства обеспечили постоянную связанность пользователя с сетью, породив концепцию «омниканальности» — возможности взаимодействовать с брендом через множество точек контакта (сайт, приложение, магазин, соцсети, мессенджеры). Технологии big data позволили накапливать и обрабатывать терабайты поведенческих данных, а программатик-платформы автоматизировали закупку рекламы в реальном времени с таргетингом на уровне индивидуальных пользовательских профилей. Именно в этот период формируется performance-маркетинг как подход, ориентированный на

измеримое действие (лид, продажу, установку приложения) и использующий сквозную аналитику для атрибуции результатов. К середине 2010-х годов цифровые каналы в развитых странах уже догоняют или превосходят телевидение по объёму рекламных инвестиций (рис. 1), а маркетинг окончательно превращается в высокотехнологичную сферу с собственными стандартами измерения.

Однако уже во второй половине 2010-х годов начинают проявляться ограничения и побочные эффекты этой модели. Ужесточение регулирования в области приватности данных (GDPR в Европе с 2018 года, закон «О персональных данных» в России, CCPA в Калифорнии) подрывает основы традиционного таргетинга на основе сторонних cookies.

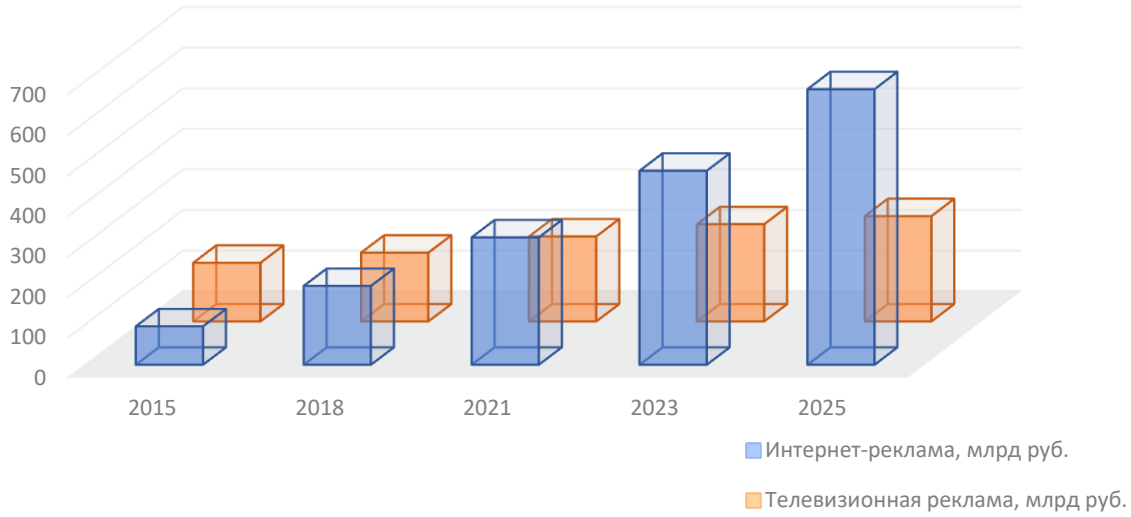


Рис. 1. Объёмы рекламы в цифровых каналах и на ТВ, млрд руб.

Рост фрагментации каналов — десятки социальных платформ, мессенджеров, видеосервисов, маркетплейсов — делает сквозную атрибуцию всё более сложной и дорогой. Потребители демонстрируют «баннерную слепоту» и используют блокировщики рекламы, а доверие

к брендовой коммуникации снижается на фоне информационного шума. Одновременно крупнейшие технологические платформы (Яндекс, Wildberries, Ozon) превращаются в «закрытые сады», где данные о пользователях и эффективности доступны лишь в агрегированном виде, что создаёт для рекламодателей зону неопределённости. Эти процессы накладываются на макроэкономические шоки: пандемию COVID-19 2020–2021-х годов, которая резко ускорила цифровизацию, но одновременно вызвала сбои в цепочках поставок и снижение рекламных бюджетов в наиболее пострадавших отраслях, а затем инфляционный кризис 2022–2024-х годов, спровоцировавший новый виток турбулентности.

Именно в этой точке — примерно с 2023 года — формируется современная конфигурация маркетинговых стратегий, которая является предметом настоящего исследования. Предшествующие этапы заложили противоречивое наследие: с одной стороны, маркетинг располагает беспрецедентными по точности и масштабу инструментами анализа и воздействия (искусственный интеллект, предиктивная аналитика, гиперперсонализация в реальном времени); с другой — регуляторные ограничения и технологическая фрагментация разрушают привычные механизмы атрибуции, а перегруженность каналов снижает эффективность прямой рекламы.

Маркетологи вынуждены одновременно осваивать новые форматы (ритейл-медиа, видеошопинг, стримы, пользовательский контент) и пересматривать базовые принципы измерения, отказываясь от клик-центричных моделей в пользу более сложных эконометрических подходов. К этому добавляется структурный сдвиг в потребительском поведении — запрос на аутентичность, «человечность» бренда и социальную ответственность, что делает традиционные методы создания имиджа через идеализированную рекламу всё менее действенными. Иллюстрацией служит приведённое в исследовании наблюдение: пользовательский контент конвертирует в шесть раз лучше брендового, а

доля компаний, уверенных в измеримости своего маркетинга, упала с 27% в 2024 году до 18% в 2025 году.

В совокупности приведенных положений следует выделить хронологическую последовательность регуляторных и технологических изменений (табл. 1).

Исторический экскурс демонстрирует, что текущая фаза трансформации не является линейным продолжением цифровизации, а представляет собой качественный скачок, вызванный наложением трёх долгосрочных трендов — алгоритмизации, регуляторной перестройки и кризиса доверия.

Маркетинговые стратегии 2023–2026-х годов вынуждены одновременно решать задачу операционной эффективности (снижение стоимости привлечения, рост удержания) и стратегической адаптации к новой реальности, где прозрачность и предсказуемость каналов снижаются, а цена ошибки возрастает.

Таблица 1

Ключевые вехи трансформации маркетинга

Период	**Технологические изменения**	**Регуляторные / экономические изменения**
1995–2000	Баннерная реклама, поисковые системы	–
2001–2005	Контекстная реклама, CPA-модели	Закон о рекламе РФ (2006)
2006–2010	Социальные сети, мобильный интернет	Глобальный финансовый кризис 2008
2011–2015	Programmatic buying, big data, RTB	Начало дискуссий о приватности
2016–2020	Маркетплейсы, сквозная аналитика	GDPR (2018), закон о ПД РФ

Продолжение таблицы 1

2021–2023	ИИ-генерация контента, ритейл-медиа	Пандемия, уход иностранных платформ
2024–2026	Гиперперсонализация в реальном времени, AI-агенты	Сбор 3% с онлайн-рекламы (РФ, 2025)

Данное исследование ставит своей целью не только зафиксировать количественные параметры этого процесса на основе отраслевой статистики, но и предложить содержательную интерпретацию структурных закономерностей, позволяющую перейти от реактивного управления к формированию новой парадигмы маркетинга, в которой гиперперсонализация, аналитическая обоснованность и институционализация доверия становятся главными драйверами конкурентоспособности.

Современное положение маркетинговых стратегий. В последние годы развитие маркетинга было детерминировано высокой неопределённостью [12, с. 136] при одновременном формировании положений цифровизации и ее всестороннем усложнении. С одной стороны, эмпирическая сторона сталкивалась с ростом издержек, необходимостью пересматривать цепочки поставок и ценовую политику; с другой — с ценовым выражением охватов, фрагментацией каналов и ростом требований к персонализации. На этом фоне маркетинговые решения перестали быть исключительно коммуникационными: они стали напрямую связаны с задачами экономической устойчивости (сохранение маржи, управление спросом, удержание клиентской базы) и с операционной адаптацией (изменение ассортимента, поставщиков, сроков запусков). В результате усилилось стремление к инструментам, которые дают контролируемый и повторяемый эффект при дефиците ресурсов, но одновременно выросло ощущение выросшей неопределенности, в аспекте частичной утраты причинно-следственных связей между маркетинговыми действиями и итоговыми результатами.

В данной связи необходимо выделить основные факторы развития маркетинга в современных условиях, что формируют базис для понимания интеграции теоретических подходов в практическую плоскость. Центральным элементом маркетинговых стратегий на современном этапе выступает ранее вспомогательный инструмент – искусственный интеллект [2, с. 1119]. Его используют для генерации контента, персонализации коммуникаций, предиктивной аналитики, оптимизации рекламных кампаний и оценки их эффективности. В 2026 году особое внимание уделяется качеству обучающих данных для ИИ-инструментов, что позволяет динамически оптимизировать кампании на основе исторических данных, текущих трендов и откликов аудитории.

Формирование возможности работы с большими данными и анализа статистической информации в текущей динамике позволяет отойти от положений работы с группами клиентов, переходя к «точечным» инструментам воздействия на каждый элемент клиентской базы. Следовательно, можно говорить о гиперперсонализации в реальном времени как новом направлении в маркетинге. Технологии позволяют адаптировать контент под каждого отдельного пользователя мгновенно, учитывая его поведение, предпочтения и контекст. Умные CRM-системы и платформы на базе ИИ анализируют данные из CDP (Customer Data Platform) в режиме реального времени, прогнозируют потребности клиента и предлагают релевантные предложения.

Однако перечисленные изменения в целевых направленностях и возможности адаптации маркетинговых инструментов под индивидуума задают проблематику в релевантности предлагаемого товара/услуги к действительному его содержанию. Пользовательский контент в данной связи выступает как валюта доверия. Отзывы, фото и видео реальных покупателей конвертируют в 6 раз лучше, чем брендовый контент. Растёт спрос на пользовательский контент, а также на стримы и прямые эфиры, которые создают эффект присутствия и усиливают доверие каждого отдельного члена аудитории.

Возможность перенести опыт использования предлагаемого продукта либо услуги от реального пользователя делает его более аутентичным для потребителя, формируя контекст ухода от «идеального» отображения контента. Бренды, показывающие закулисье, ошибки и настоящую работу, вызывают больше доверия. Сторителлинг изнутри, видео производственных процессов или командных встреч делают бренд «человечным».

При рассмотрении представленных положений в цифрах одним из ключевых индикаторов структурного сдвига выступает снижение уверенности предпринимателей в эффективности маркетинговых действий. В 2025 году доля наиболее уверенных компаний в результативности своего маркетинга, составила 18% против 27% в 2024 году (рис. 2).

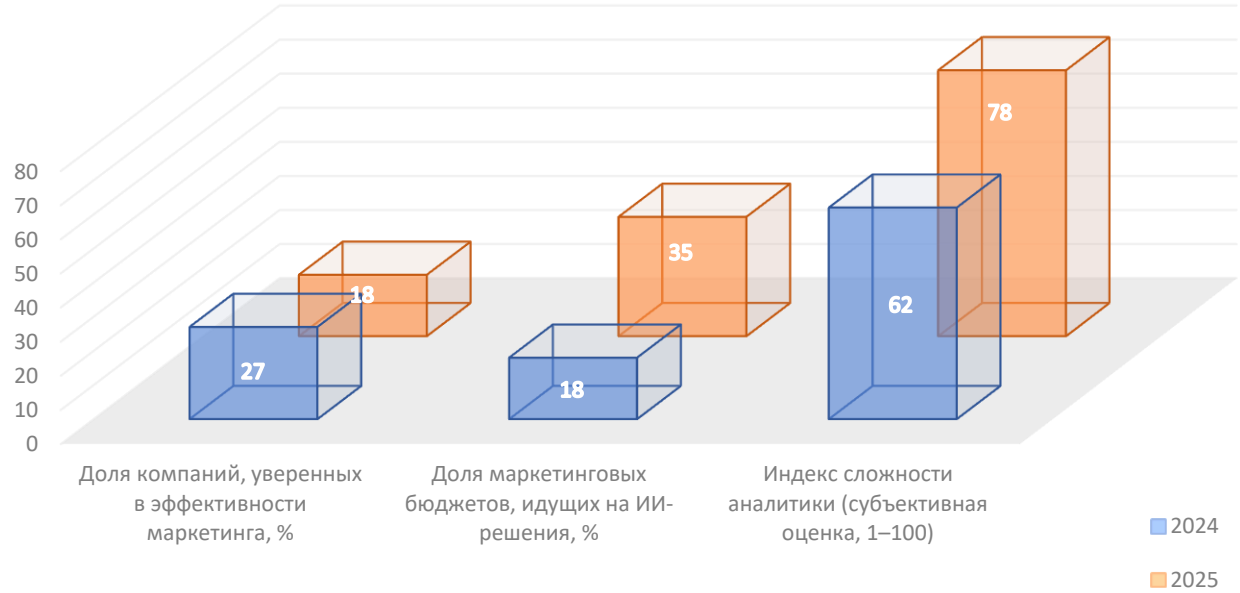


Рис. 2. Динамика уверенности в измеримости маркетинга

Снижение на девять процентных пунктов свидетельствует не столько о падении значимости маркетинга, сколько о росте сложности

его измерения. Ускоренное внедрение новых инструментов опережает формирование компетенций по их аналитической оценке, что порождает управленческий разрыв между инвестициями и пониманием их реальной отдачи [3, с. 48].

Формируется триада ограничений, включающая дефицит измеримости, высокую стоимость качественных маркетинговых решений и нехватку управленческого времени (рис. 3). Отсутствие прозрачной атрибуции каналов усиливает восприятие маркетинговых бюджетов как избыточных даже при их объективной оптимальности. В результате управленческая нагрузка возрастает, а уровень стратегической определенности снижается.

Рис. 3. Триада ограничений

Примечание: пересечение этих трёх факторов порождает «управленческий разрыв» – снижение уверенности в эффективности при растущих инвестициях.

В 2023 году маркетинговый ландшафт России продемонстрировал активную структурную перестройку. Наиболее востребованным инструментом стал performance-маркетинг, на котором сосредоточились 41% специалистов [3, с. 44]. Brandformance-подход и PR-коммуникации использовались 27% компаний, event-направления и специальные проекты — 25%, SMM — 23%. Данные показатели отражают смещение фокуса в сторону инструментов, позволяющих совмещать имиджевый эффект с измеримыми показателями конверсии.

Объем российского сегмента интернет-рекламы и маркетинга в 2023 году достиг 478,8 млрд рублей, что на 22% превышает показатель предыдущего года. Рост на одну пятую указывает на структурное перераспределение бюджетов в пользу цифровых каналов. Параллельно объем рынка маркетинговых услуг составил 109,2 млрд рублей, продемонстрировав увеличение на 10%. Наиболее динамичным сегментом стал событийный маркетинг, прибавивший 16%, что свидетельствует о сохранении значимости офлайн-коммуникаций в гибридной среде.

Существенные изменения зафиксированы в сегменте видеорекламы. В 2023 году загрузка видеоконтента в рекламных системах выросла на 46% по сравнению с предыдущим периодом, а инвестиции малого и среднего бизнеса увеличились на 59%. Показ видеорекламы вырос на 52%, при этом количество мобильных форматов увеличилось втрое, а десктопных — на 59%. Интересно отметить снижение средней стоимости просмотра видео на 7%, что указывает на повышение эффективности аукционных механизмов и рост конкуренции платформ. Увеличение публикаций коротких роликов длительностью от 7 до 10 секунд на 68% подтверждает тренд на клиповое потребление контента и оптимизацию длительности рекламного сообщения.

В 2024 году совокупный объем рекламы во всех основных сегментах достиг почти 904 млрд рублей, что на 24% больше, чем в 2023 году [7, с. 24]. Подобная динамика демонстрирует восстановительный и

одновременно структурный рост рынка. Объем маркетинговых услуг увеличился до 127,8 млрд рублей, прибавив 17%. Событийный маркетинг вновь оказался наиболее быстрорастущим сегментом, увеличившись на 20%, что свидетельствует о синергии цифровых и офлайн-форматов.

Около 20% digital-бюджетов в 2024 году направлялось на новые форматы и технологические решения, включая инструменты искусственного интеллекта, алгоритмизацию закупок и продвижение в мессенджерах и маркетплейсах. Расширение технологической базы сопровождалось ростом популярности сквозной аналитики, которой пользовались 46% крупных компаний, 29% средних и 16% малых предприятий [11, с. 2–3]. Дифференциация по размеру бизнеса указывает на наличие ресурсного барьера для малых организаций, что ограничивает их способность к глубокой аналитической интеграции.

В 2025 году темпы роста рекламного рынка замедлились, однако сохранили положительную динамику. За январь–сентябрь объем достиг 680–685 млрд рублей, превысив аналогичный период предыдущего года на 8%. Если в первом квартале рост составлял 11%, то к третьему кварталу он снизился до 7%, что коррелирует с замедлением экономической активности. В структуре рынка лидировали интернет-сервисы с объемом 361–363 млрд рублей, что соответствует примерно 53% совокупного рынка. Видеореклама занимала около 30% с объемом 205–207 млрд рублей, а сегмент Out of Home — около 12% с показателем 80,4–81,4 млрд рублей. Подобная структура подтверждает доминирование цифровых каналов при сохранении роли традиционных форматов.

Ритейл-медиа продемонстрировали один из наиболее впечатляющих темпов роста. В 2025 году объем данного сегмента составил 224 млрд рублей, увеличившись на 40% по сравнению с предыдущим годом [10, с. 3]. Интеграция рекламных инструментов в экосистемы маркетплейсов обеспечивает высокую релевантность

сообщений за счет использования данных о покупательском поведении. Ожидаемый прирост сегмента на 73% в 2025 году подчеркивает его стратегическую значимость.

В первом полугодии 2025 года объем интернет-рекламы достиг 267 млрд рублей, что на 10% превышает аналогичный показатель предыдущего периода. Основную долю занял performance-сегмент с объемом 217 млрд рублей и ростом 9% [8, с. 12]. Branding-направление увеличилось на 16%, достигнув 49 млрд рублей. Видеореклама показала рост 23% и объем 16,5 млрд рублей. Эти данные демонстрируют параллельное развитие инструментов прямой конверсии и имиджевых коммуникаций.

Особую роль в трансформации маркетинга играет искусственный интеллект. В 2025 году 73% агентств оказывали услуги с использованием ИИ-решений, а 7% имели полностью ИИ-ориентированные продукты [2, с. 268]. При этом 85% директоров по маркетингу рассматривали генеративный ИИ как главный драйвер изменений на ближайшие три года. Масштабирование ИИ в контенте и аналитике отражает переход к автоматизированным системам принятия решений, основанным на больших массивах данных.

Расширение использования маркетплейсов подтверждается тем, что 57% рекламодателей регулярно применяли рекламные инструменты этих платформ, а 70% компаний финансировали такие активности из маркетинговых бюджетов. Подобная практика демонстрирует институционализацию маркетплейсов как самостоятельного канала коммуникации [5, с. 98].

Введение с апреля 2025 года трехпроцентного сбора с доходов от онлайн-рекламы [12, ст. 18.2] стало значимым регуляторным фактором, влияющим на распределение бюджетов и структуру ценообразования. Дополнительная фискальная нагрузка стимулирует компании к более

тщательной оценке эффективности размещений и повышению требований к аналитической прозрачности.

Рынок маркетинговых исследований также продемонстрировал положительную динамику, достигнув 22–24 млрд рублей с ростом 7,5%. Это подтверждает стремление бизнеса к обоснованию решений на основе эмпирических данных и количественного анализа.

Выводы и дальнейшая дискуссия. Совокупность представленных статистических показателей свидетельствует о формировании новой парадигмы маркетинга, характеризующейся цифровой доминантой, алгоритмизацией процессов и ростом значения доверия как нематериального актива. Пользовательский контент конвертирует в шесть раз эффективнее брендового, что отражает сдвиг от идеализированной коммуникации к аутентичности [6, с. 266]. Повышение доверия достигается через демонстрацию реальных процессов, закулисных аспектов деятельности и прямых трансляций, создающих эффект присутствия.

Маркетинговая система 2023–2026 годов представляет собой динамичную, многослойную структуру, в которой интегрируются цифровые технологии, аналитические инструменты и человеческий фактор доверия. Статистические данные подтверждают устойчивый рост рынка при одновременном усложнении его структуры. Дальнейшее развитие будет определяться способностью компаний сочетать технологическую инновационность с прозрачностью измерения эффективности и стратегической гибкостью.

Список литературы

1. Лепнухов С.В. Трансформация маркетинговой деятельности компаний под влиянием цифровых технологий // Journal of Economics, Management and Applied Mathematics. — 2026. — С. 72–74.

2. Диесперова Н. А. Использование генеративного искусственного интеллекта для решения маркетинговых задач // Russian Journal of Management. — 2025. — № 8. — С. 258-272.

3. Неганов С. А. Искусственный интеллект в маркетинге: сбалансированный подход к возможностям и рискам / С. А. Неганов // Вестник Академии знаний. – 2025. – № 2 (67). – С. 1119-1122.

4. Сидорчук Р.Р. Маркетинг в малом и среднем бизнесе в мире: итоги года и тренды на 2026 год // Актуальные проблемы современности : Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 12 января 2026 года. — Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2026. — С. 60–63.

5. Лавриненко А. Роль маркетплейсов как канала продвижения малого бренда в условиях цифровой экономики в России / А. Лавриненко, Н. Р. Джавршян. — Текст : непосредственный // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2025. — № 6 (124). — С. 97–100.

6. Сухостав Е. В. Влияние пользовательского контента на доверие к бренду / Е. В. Сухостав. — Текст : непосредственный // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2025. — № 10 (128). — С. 265–269.

7. АКАР (Ассоциация коммуникационных агентств России). Итоги развития рекламного рынка России в 2025 году: объём, структура, ключевые тренды. — М.: АКАР, 2026. — 48 с.

8. Data Insight & АРИР. Digital Advertisers Barometer 2025: перспективы интерактивной рекламы в России: взгляд рекламодателей [Электронный ресурс]. — М., 2025. — Режим доступа: https://datainsight.ru/DI_Digital_Advertisers_Barometer_2025 (дата обращения 23.05.2026).

9. Яндекс, Okkam. Поиск становится мультимодальным: более трети пользователей поиска выбирают товары с помощью ИИ, голоса и изображений [Электронный ресурс]. — 2025. — Режим доступа: https://

www.cnews.ru/news/line/2025-09-18_poisk_stanovitsya_multimodalnym (дата обращения 23.05.2026).

10. Easy Commerce. Тренды ретейл-медиа в цифрах: итоги 2025 года [Электронный ресурс] // Sostav.ru. — 2025. — Режим доступа: https:// www.sostav.ru/publication/trendy-retejl-media-v-tsifrakh-itogi-2025-goda-80513.html (дата обращения 23.05.2026).

11. JetStat. Сквозная аналитика 2.0: как изменился подход к атрибуции в 2025 году [Электронный ресурс] // Sostav.ru. — 2025. — Режим доступа: https://www.sostav.ru/blogs/281043/64743 (дата обращения 23.05.2026).

12. Пилова Ф.И. Современные подходы к формированию маркетинговой стратегии для нового продукта в условиях финансовой нестабильности // Сибирская финансовая школа. — 2025. — № 4. — С. 136–144.

© Саенко О.Н.

DOI 10.46916/02062026-3-978-5-00215-476-0

Глава 6.
ЮРИДИЧЕСКАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ: ОТ ИСТОРИИ К СОВРЕМЕННОСТИ

Козлов Сергей Сергеевич
к.ю.н., доцент
Бондаренко Алина Игоревна
аспирант
ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»

Аннотация: В статье проводится краткий дискретный анализ правовых актов, изданных в период времени от Древней Руси до современной России; вопросов, касающихся юридической ответственности. На основе анализа автор акцентирует внимание на постепенный переход к кодификации правовых актов и их гуманизацию. Отмечается применение моратория Россией на смертную казнь, с возможностью ее последующего введения. Автор приходит к выводу о том, что основной целью введения юридической ответственности является, если не полное искоренение, то сведение совершений правонарушений и преступлений к минимуму.

Ключевые слова: Древняя Русь, Русская Правда, юридический сборник, князь, куна, полувира, Судебник, юридическая ответственность, Соборное уложение, Уголовное уложение, Артикул воинский, кодификация, государственная измена, Конституция, Уголовный кодекс.

LEGAL RESPONSIBILITY: FROM HISTORY TO THE PRESENT

Kozlov Sergey Sergeevich
Bondarenko Alina Igorevna

Abstract: The article provides a brief discrete analysis of legal acts issued in the period from Ancient Russia to modern Russia, issues related to legal responsibility. Based on the analysis, the author focuses on the gradual transition to the codification of legal acts and their humanization. It is noted that Russia has applied a moratorium on the death penalty, with the possibility of its subsequent introduction. The author comes to the conclusion that the main purpose of introducing legal liability is, if not complete eradication, then minimizing the commission of offenses and crimes.

Key words: Ancient Rus, Russian Truth, legal collection, prince, kuna, poluvira, Judicial code, legal responsibility, Cathedral Code, Criminal Code, Military Article, codification, high treason, Constitution, Criminal Code.

Одним из первых древнерусских исторических памятников, облаченных в определенную юридическую системную конструкцию, содержавших в себе консолидированные правовые нормы и имевших отношение к некоторым зарождающимся отраслям права того периода, была Русская Правда. Возникновение такого рода правового акта и последующее многообразие ее редакций порождает массу вопросов, касающихся причин ее возникновения.

Так, одним из таких вопросов о сущности, истинности или неправдивости является вопрос наличия элементов юридической составляющей вообще в призме наличия какой-либо ответственности в образе жизни граждан Древней Руси. Справедливости ради следует задаться и другим вопросом: основывалась ли деятельность граждан Древней Руси на каком-либо юридическом укладе или же она была сведена лишь к организации и осуществлению определенного вида ответственности за действия, признаваемые виновными? Однако мысль о наличии и регулировании некоторых правовых отношений в жизнедеятельности населения того периода существует, даже если бы они не были установлены в письменном виде [14, с. 418–420]. Исходя из такого осмысления и представления сути жизненного уклада, исследуя

положения Русской Правды, справедливым будет выдвинуть мысль и полагать, что данный правовой акт создавался частными лицами как юридический сборник, предназначенный в своей основе не для обеспечения, хотя и примитивных, норм юридической ответственности, а на фоне этой ответственности – для удовлетворения частных потребностей князя, имеющего основную цель – сохранение, удержание и укрепление своей власти [2, с. 74].

Основанием для такого целеполагания может послужить тот факт, что, кроме правовой реализации ее норм, осуществляемой в форме уголовного воздействия на виновных, для восстановления справедливости в отношении потерпевших было воздействие, носившее имущественный характер, и особенно сбор денежных средств, носивших «справедливый характер».

Так, кроме прочего наказания, в п. 23 Суда Ярослава Владимировича в Русской Правде (1016 год) закреплено наказание: за обиду князя в виде штрафа в его пользу в размере, установленном в 12 гривен – в случае удара необнажённым мечом; если вынут меч для угрозы князю, но удара не последовало, штраф 1 гривна кун в пользу князя.

Здесь следует дать осмысление содержанию понятия – куна. Так, куна (куница) – это единица, выраженная в денежном исчислении в Древней Руси, равная одной шкуре куницы. Показательным является пример в п. 27 данного юридического памятника, в котором если при ударе мечом была отсечена рука либо нога, поврежден глаз либо нос у потерпевшего, то виновному полагалось уплатить князю полувиры 20 гривен, потерпевшему за полученное увечье лишь 10 гривен, что, безусловно, не говорит об определенной справедливости в отношении потерпевшего. На наш взгляд, речь здесь скорее всего идет не о сумме в гривнах или полувирах. По всей видимости, может говориться о подходе князей к своего рода «справедливой» юридической

ответственности за совершенные противоправные действия виновным, на фоне укрепления своей позиции во власти.

Таким образом, Русская Правда имела некоторые особенности, которые заключались во фрагментарности правовых норм, сплошном написании положений без распределения на статьи, носивших бессистемный характер. Вместе с тем она стала одним из первых правовых актов Древней Руси, носившим в себе сущность определенного рода юридической ответственности за совершенные правонарушения.

Следующим памятником русского права стал свод законов Русского государства – Судебник Ивана III (1497 год). Данный источник права, в Московском государстве является базовым, оказавшим влияние не только на культуру права [10, с. 23–27], но и в общетеоретическом осмыслении на юридическую ответственность, а также на систему наказаний [11, с. 87–89].

По мнению П.М. Строева, Судебник 1497 г. является причинно-следственной связью и результатом после образования единого государства Московского, в основе которого находится юридическое санкционирование происходящих государственных событий и преобразований XV в. [5, с. 24–25].

Создание Судебника Ивана III происходило в крайне неблагоприятных для Московского государства условиях, поскольку в государстве при укрепляющейся центральной власти необходимо было установление порядка в особенности в отношении прекращения беспредела со стороны наместников. Находясь во властном положении «кормления», наместники для своего существования получали кормы в его натуральном виде или в виде денег от населения, однако при этом отстаивали свои, личные интересы обогащения, а не интересы благосостояния государства или общества. В многообразии обязанностей наместников вполне определенной была их судебная деятельность, на фоне которой возможность и осуществимость получения мзды от населения за положительное решение вопроса в отношении

провинившихся носило весьма широкий характер. В свою очередь такое своеволие наместников побуждало население бежать в поисках свободных земель [18, с. 266–267].

Однако Ивану III в ходе реализации объединения земель русских и укрепления власти отступиться от данных реалий представлялось крайне невыгодным, поскольку он продолжал применять испытанную систему управления государством через наместников. Наличие в системе управления государством таких условий не позволяло Ивану III применение юридической ответственности в отношении этих же наместников. Исходя из такого положения дел, весьма примечательными являются установления ст. 19 Судебника, в котором декларируется лишь возмещение судьями ущерба путем возвращения полученной мзды обратно. В ст. 33 Судебника установлен лишь запрет на прошение посулов (мзды), однако никакие меры юридической ответственности не вводятся [4, с. 33]. Такая позиция прямо указывает на наличие достаточного количества времени на выбор наиболее оптимальных путей совершенствования перенимаемых положений Русской Правды в силу того, что совершение правонарушений и преступлений были единичными случаями в исследуемый период, и к юридической ответственности привлекалось незначительное количество граждан. Следовательно, представляется возможным предположить, что условия, существенность обстоятельств, прогрессирующих в государстве, последовательно излагаемые в статьях Судебника 1497 г., развивались таким образом, что для Ивана III приоритетным являлось формирование нетрадиционной системы исполнительной власти, основанной на слиянии административных и судебных функций органов центральной и местной власти.

Таким образом, основной идеей создания Судебника 1497 г. является представление преимущественности общих интересов граждан над индивидуальными, личными интересами и паритетом разрешения общегосударственных интересов над территориально-политической

раздробленностью в государственном устройстве. Аксиоматичность данной позиции заключается в попытке снизить социальную напряженность, обусловленную судебными поборами со стороны наместнических правителей, скрытое смысловое содержание которых заключалось в искоренении взглядов удельных князей в стремлении к отделению и обособлению, что в свою очередь являлось фактором укрепления власти московского государя.

Общеизвестно, что Судебник Ивана IV (1550 г.) стал логичным продолжением Судебника Ивана III, который, приняв в свою содержательную структуру исправленные и дополненные судные и уставные акты, расширил процессуальную сторону судопроизводства [3, с. 38]. Основными идеями создания Судебника Ивана IV стали необходимость централизации власти, рационализация законодательства, внесение конструктивных изменений в систему управления для эффективного руководства государством. Для реализации идей необходимо было решить ряд важных задач, которые заключались в устранении вседозволенности со стороны наместничества, упорядочении и систематизации судопроизводства, установлении зависимости крестьян от центральной власти. Внесением в Судебник Ивана IV дополнительных 10 статей была закреплена ответственность судей за должностные преступления, совершенные против правосудия и государственной службы. Так, в ст. 3 Судебника было закреплено обязательство: в случае подтверждения получения взятки судьей либо вынесения им неправового решения о выплате истцу полной суммы иска, а судебных издержек – в трехкратном размере. При этом ответственность давшему взятку предусматривалась «по решению Государя» [13, ст. 3].

Однако следует отметить и тонкую грань невозможности наложения ответственности на судей за неправомерное, неумышленно принятое решение, по результатам которого вынесенное решение судьей признавалось недействительным, и истцу предоставлялась возможность пересмотра дела и возврат всех судебных издержек [13, ст. 2]. Вместе

с тем, за умышленное искажение записей в судебном протоколе, не соответствующем реальному положению дел, в суде без уведомления казначея суда, дворецкого либо боярина и получения взятки для дьяка наступала ответственность в виде штрафа, размер которого «был бы угоден» истцу, и тюремное заключение.

Особого внимания заслуживает наступление юридической ответственности в отношении подьячего за безуведомительное, осознанное производство ошибочной записи в бессудной грамоте после получения им взятки от истца. Юридическая ответственность при этом наступала в виде торговой казни и ударов кнутом [13, ст. 5]. Другими словами – стало возможным применение и телесного наказания в отношении лиц, нарушивших установленные правовые положения Судебника.

Между тем в отношении простых граждан также была введена юридическая ответственность. К примеру, ст. 6 Судебника «за клеветнические разговоры в сторону судей» была введена уголовная ответственность в виде торговой казни, ударов кнутом и заключением в тюрьму [13, ст. 6].

Основанием для привлечения к юридической ответственности свидетеля стала ст. 99 Судебника, в которой закреплялась санкция в виде возмещения всей суммы иска, убытков и привлечение свидетельствующего к торговой казни за лжесвидетельствование и доказывание того, свидетелем которого доказывающий не являлся [13, ст. 99].

Следует отметить, что ни в одной из вышеописанных статей Судебника не приводится форма реализации казни, количество ударов кнутом и срок заключения. Возможно лишь предположить, что в данном контексте сама форма, количество и сроки наказания следуют из осмысления того, как эти формы, сроки, количество таких наказаний

сыграют определенную воспитательную роль в отношении правонарушителей.

Таким образом, в Судебнике Ивана IV закреплялись четко сформированные нормы, касающиеся судопроизводства. Ошибка судьи, в особенности происходящая вследствие осознанного искажения записей в судебных документах подразумевала строгую ответственность. Ответственность за ложное свидетельство либо ложный донос отличались особой строгостью, включавшей в себя, помимо возмещения ущерба потерпевшему, удары кнутом, вплоть за заключения в тюрьму. Находящиеся в основе Судебника Ивана IV принципы законности, разбирательства, осуществляемого непосредственно в суде, сама ответственность за правонарушения и система наказаний представляют его как правовой акт, обязывающий нахождение системы судов под непосредственным контролем со стороны центральной власти, реализующей борьбу против правовой вседозволенности со стороны судей. Как следствие, Судебником Ивана IV была заложена правовая база, обеспечивающая последующий прогресс русского законодательства, получен стимул для усиления значения и места государства в координации деятельности общества, и создано условие для дальнейшего развития сословно-представительских органов в системе управления государством.

Многообразие юридической ответственности обусловливается запросом общества в прогрессивных способах соразмерной реституции правового статуса, развитием уголовного законодательства, усовершенствованием моделей, процедур применения наказаний. В подобной ситуации различного рода социально-политические, духовные, культурные и экономические процессы выступают в роли конструкта, придавая направленность для модернизации уголовной и уголовно-исполнительной системы государства. Форма и способы наказания при этом выступают как выражение государственных приоритетов в

социальной сфере, создавая новые и совершенствуя существующие нормы.

Заслуживает внимания активный период правотворчества во время правления российским государством Петром I. Именно в период его правления (1682–1725 гг.) издавались указы, направленные на реализацию юридической ответственности. Так, одним из правовых актов, направленных на формирование уголовного правосудия, стал указ Петра I 1700 г. о создании нового уголовного уложения. Однако в период его правления данный указ не был исполнен и уголовное правосудие, зафиксированное в Соборном уложении 1649 г., в дальнейшем дополнялось регламентами, инструкциями, указами Петра I, расширяя при этом и закрепляя различные формы наказаний. В этом и заключалась главная цель системы наказаний – превентивная декларация мер, направленных, прежде всего, на устрашение населения [8, с. 16].

Одним из направлений такого устрашения и в качестве основного наказания стало распространение широкого применения телесных наказаний. Кроме ударов кнутом, стали применяться более изощренные формы наказания, заключающиеся, к примеру, в отделении ноздрей до кости, нанесение телесного пятна и клеймение раскалённым железом. В данном контексте такая форма наказания допускала демонстрацию всеобщей обозримости для окружающих и наглядность при их поиске и поимке в случае их побега.

Вместе с тем, появился новый нормативный акт – Артикул воинский, содержавший нормы уголовно-правовой направленности, он действовал наравне с Соборным уложением 1649 г. Характерной особенностью Артикула воинского было то, что на его основании к юридической ответственности и реализации правосудия могли привлекаться лица, имеющие отношение к военной службе, и, кроме этого, Артикул мог применяться и в других судах всей судебной системы того периода. Основной целью применения Артикула воинского являлось также превентивное устрашение членовредительским

наказанием винновых, заключающихся в прожжении или отрезании языка, отсечении пальцев рук, пробитие кисти руки острым предметом, чаще ножом, и изоляция путем отправления в ссылку на определенный срок и бессрочно на каторжные работы, на галеры, строительство заводов либо заключение в тюрьму [12, с. 323].

В XVIII в. юридическая ответственность в виде направления на каторжные работы имела широкий круг уголовных норм. К таким работам привлекались различные категории виновных лиц – от осужденных с привлечением на каторжные работы до задолжников по уплате долгов и погашению обязательств. Следует отметить, что непосредственное место выполнения каторжных работ зависело от государственных нужд, к примеру, от места строительства гаваней до сооружения крепостей, и могли применяться такие работы вместо смертной казни и как дополнительное наказание.

Вместе с тем, в период правления Петра I место выполнения каторжных работ стало подразумевать и содержать элементы юридической ответственности как ограничение свободы передвижения, места жительства, выполнения работ.

Таким образом, период правления Петра I характеризуется возникновением превентивных наказаний, появляется новый вид наказания как ссылка на другую местность в зависимости от государственных нужд, каторжные работы. Некоторые элементы наказаний, такие как ограничение свободы передвижения, возможность выбора места работ, места жительства, получили свое дальнейшее развитие в историческом развитии юрисдикции России, и в современных условиях существуют наказания, направленные на ограничение свободы правонарушителей.

Важнейшей вехой XIX в., которое оказало значительное воздействие на реформу правовой системы, стало дальнейшее совершенствование Российского уголовного законодательства, в ходе которого одним из главных вопросов было разрешение вопроса о

юридической ответственности за совершенные преступления, направленные против российской государственности. При структурировании российского уголовного законодательства в исследуемый период довольно подробным образом проходила систематизация его уголовного права, в основу которого был заложен целостный комплекс правовых норм, закрепляющих перечень санкций за совершенные преступные деяния против государства. Более того, уголовное законодательство стало принимать наиболее отчетливые формы, направленные на конкретизацию составов преступлений, и, что важно, в основу конструирования системы наказаний были внедрены изменения с учетом перспективы развития российского общества [16, с. 26].

Поводом для внедрения этих изменений стали проводимая реформация системы государственного управления путем создания министерств и Комитета министров. Однако главной причиной необходимости внесения изменений в уголовное законодательство стали политические вызовы, среди которых были революционные настроения, восстания, заговоры и некоторые факты государственной измены. Для власти все эти факторы являлись одним из отправных точек в необходимости усиления контроля и координации деятельности общества, выражаемых в развитии уголовного законодательства путем ужесточения юридической ответственности. Отметим, что одним из исторических периодов развития российского законодательства XIX в. является этап его систематизации и кодификации.

Так, Свод законов уголовных, составленный в 1832 году, объединил фрагментированные, при этом взаимосвязанные правовые нормы, в том числе уголовные, в единую систему правовых актов, основанных на теоретических положениях и практике их применения в судебной деятельности.

Согласно определению Д.А. Червонецкого, государственная измена есть деяние против власти самодержавия или территории Российского

государства, при котором лицо, принесшее присягу царю, действует умышленно в целях свержения высшей государственной власти, либо создает условия для перехода русской территории иностранному государству, или создает вооруженные группы из русских подданных для действий против царя [16, с. 36]. К слову сказать, дефиниция – государственная измена – в уголовном праве дореволюционного периода дополнялась другими формами преступлений, такими как шпионаж, мятеж, измена военной присяге, относящихся к категории особо опасных, и ответственность за них также наступала вплоть до смертной казни в соответствии со строго установленными в уголовном праве нормами, сопоставимыми целеполаганием по защите государственных интересов и сохранения территорий государства.

Одна из норм юридической ответственности, регулирующая ответственность за преступления, направленная на государственную измену, гласила о недопустимости без «на то соответствующего дозволения правительством» выезда в другое государство российского резидента на службу либо на постоянное проживание. Наказание за государственную измену в данном контексте предусматривалось в виде смертной казни, вынесение которого находилось в компетенции и могло выноситься лишь Верховным уголовным судом [1, с. 197].

По мнению И.А. Ильина, лишь политико-правовая связь между государством и подданными либо гражданами, может выступать условием наступления юридической ответственности при совершении преступлений как государственная измена. Между тем, на подданных, кроме соблюдения ими установленных государством правовых норм, возложено и оказание поддержки, путем оказания в соответствии с установленной воинской повинностью содействия по защите государства, обязанностей в отношении налоговых выплат, недопущения, носящих тайный либо открытый характер деяний, направленных против государства. Все вышеназванные условия, по

мнению И.А. Ильина, указывают на преданность и верность государству [1, с. 199].

Схожим было утверждение Н.Н. Белявского, который занимал такую же позицию в отношении подданных и пояснял, что в отношении иностранных граждан, несмотря на их постоянное проживание в России, недопустимо предъявление и привлечение их к юридической ответственности за преступления, направленные на государственную измену в отношении России [16, с. 35].

Следующим правовым актом, сохранившим жесткие критерии за преступления, направленные против государства, юридическая ответственность за которые предусматривалось в виде пожизненной каторги для преступников, совершивших деяния против государственного устройства, и для борьбы с революционными движениями масс, в особенности в 1905 году, стало Уголовное уложение 1903 года.

Преступления в контексте их рассмотрения в политическом смысле – это преступления против государственного устройства, его политического режима, в осмыслении государства как политически консолидированного единства.

Суровость мер наказаний в виде казни и каторжных работ за государственные преступления обусловливала рост общественных выступлений в России. С учетом определенного уровня предреволюционной милитаризованности российского государства в начале XX в. и осуществлением судебных процессов, рассматривающих дела о государственных преступлениях военными судами, сами судебные процессы стали переходить за грань политизации правовой ситуации, правовые нормы не отрицали расширенного толкования в пользу квалификации обыденного обсуждения действий власти в призме совершаемого государственного преступления, которые, впрочем, не становились образцом установленных гарантий должного

судопроизводства и принятия сопоставимых с тяжестью преступления судами решений.

Таким образом, в начале XX в. юридическая ответственность за уголовные преступления была направлена на непрерывное ужесточение мер пресечения, за преступления против государственности, а это в свою очередь влекло увеличение числа и масштабов общественно-революционных протестов и движений народных масс, которые в результате привели к революционному взрыву 1917 года [16, с. 31].

Проблематика в развитии теории юридической ответственности в условиях советского периода продолжала оставаться предметом множества дискуссий среди исследователей-государствоведов, рассматривающих такую ответственность через призму конституционализма социалистического строя «как консолидированный фундаментализм правовых ценностей», основанных на идеях конституционной ответственности между гражданином и государством. В частности, И.М. Степанов увязывал низкую парламентскую ответственность органов и должностных лиц с несовершенством самого парламента. А как в случае развала советского парламентаризма – заканчивалась и сама ответственность в общем ее виде – полагал И.М. Степанов.

Иное мнение было у О.И. Чистякова, который рассматривал возникновение в России юридической ответственности вместе с принятием советских конституций, при этом акцентировал внимание на кодифицированную Конституцию РСФСР 1918 года, которая стала, по его мнению, отправной точкой зарождения формальной конституционной ответственности на стадии становления социалистической России.

Особого внимания заслуживает мнение И.А. Кравца, который полагает, что ни о какой конституционной ответственности в советском периоде не могло быть и речи, поскольку конституциями советской

эпохи трактуются лишь виды юридической ответственности (уголовная, гражданская, административная, моральная), потому что основополагающие принципы конституционализма еще не стали фактом [17, с. 70].

На наш взгляд, в данном контексте подобного рода разность мнений стала возможной исходя из государственного устройства и деятельности государственных органов власти советской эпохи во главе с Коммунистической партией, а в последующем и Политбюро ЦК КПСС, при котором в общетеоретическом смысле общегосударственная юридическая ответственность находилась под ее политическим руководством, и в этой связи необходимости создавать отдельный институт государственно-правовой ответственности не существовало.

В современном правовом государстве юридическая ответственность рассматривается как один из принципов взаимоответственности между государством и индивидом, который выступает обогащающим и расширяющим фактором в тенденции изменений прогрессивной теории развития юридической ответственности.

Исторические этапы развития государства и общества подтверждают, что предмет юридической ответственности неизменно получал критическую оценку со стороны российской общественности как негативная реакция субъекта противоправного поведения на принимаемые государством меры позитивной ответственности, возникающих в сфере общественных отношений. Однако цель, факт наличия и потребность юридической ответственности в государстве является залогом соблюдения и сохранения прав человека и его интересов в обеспечении режима законности и правопорядка в государстве [11, с. 142].

В современных условиях правовая система Российского государства базируется на демократических началах, основанных на соблюдении прав, свобод человека, сохранения и обеспечения его

материальных и духовных благ, экстраполируя это с точки зрения основных принципов правовых отношений на экзистенциализм человеческого бытия.

По мнению А.А. Князева, целью позитивной юридической ответственности является побуждение граждан осознавать ответственность как таковую и выработать действия по соблюдению ими правомерного поведения. Соблюдение существующего политического строя, общественного порядка является целью недопущения негативной юридической ответственности [6, с. 31–32].

Между тем, статьей 2 Конституции России в равной мере регламентируются основные принципы правового регулирования, аргументируемые в качестве обязанности государства и выдвигаемые как основа высшей ценности человека – его права и свободы [7, ст. 2], таким образом определяя все основные направления в сфере регулирования общественных отношений в области правовых ценностей, в которых в качестве безусловного паритета выступает защита законных интересов, прав и свобод человека и гражданина [11, с. 141].

Современное непрерывное развитие общества и связанное с данным феноменом усложнение общественных отношений наглядно свидетельствуют о происходящих изменениях как в отдельных элементах, так и в общей теории системы юридической ответственности. Так, общеизвестно, что если в имперской России основной целью юридической ответственности являлась цель карательная, то в современной России, в частности исследуемой ее системы юридической ответственности, основными целями выступают, прежде всего, сохранение общих благ, охрана интересов общества, предупреждение правонарушений, исправление правонарушителя. Такого рода демократические цели обосновываются прежде всего резонансностью общественных и государственно значимых действий, в результате которых могут возникнуть приоритетность и необходимость

предоставления защиты отдельных интересов граждан [25, с. 19], связанных с обеспечением соблюдения конституционности прав и свобод граждан, закрепленных в статье 2 Конституции России [7, ст. 2].

Особую значимость для российских граждан составила дальнейшая модернизация уголовного законодательства, в основу структурной составляющей которого было заложено и в 1996 году осуществлено исключение смертной казни, которая ранее предусматривалась Уголовным кодексом Российской Федерации. Впрочем, здесь следует сделать определенную оговорку, направленную на уяснение значения сути вопроса, касающегося, скорее, временной отмены такого вида наказания как смертная казнь, а не полного ее исключения без возможности дальнейшего ее введения [9, с. 140–144].

В силу действия принципа о «невозможности объять необъятное» в одной работе рассмотрим ставший в современных условиях важнейшим вопрос о предпенсионном возрастном цензе российских граждан. Показателен пример закрепления в статье 144.1 Уголовного кодекса Российской Федерации юридической ответственности, касающейся лиц предпенсионного возраста за необоснованный отказ в их приеме на работу либо увольнение с работы. Санкции за данное деяние предусмотрены в виде наложения штрафа, либо взимания с заработной платы осужденного определенной судом суммы в период до 1,5 лет, либо обязательные работы на определенный судом срок [15, ст. 144.1]. Другим примером может послужить закрепление в ст. 5.27. Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях ответственности за нарушение трудового законодательства, содержащих нормы трудового права [29, ст. 5.27]. Санкции за данные правонарушения варьируются от предупреждения до наложения административного штрафа на должностных лиц в размере до семидесяти тысяч рублей. Истинность и оправданность такого подхода государства в отношении лиц предпенсионного возраста обусловлена, прежде всего, возникновением определенных важнейших задач

государства и при этом невозможностью получения ими пенсионных начислений в связи с достижением возраста 55 и 60 лет, для женщин и мужчин соответственно, а также наличием приоритетного мнения представителей работодателя по приему на работу лиц более младшего возраста в силу возможности осуществления ими трудовой деятельности в предприятии, организации и других структурах длительное время, и связанных с возрастным цензом других возможных взаимоисключающих факторов.

Таким образом, на фоне выполнения важнейших задач государством законодатель закрепляет соблюдение прав и свобод граждан предпенсионного возраста, выражающихся в обеспечении их возможностью продолжения трудовой деятельности, и одновременно вменяет в обязанности представителя нанимателя прием, а также продолжение трудовой деятельности работающих лиц указанной категории до достижения ими предельного возраста, установленных пенсионным законодательством Российской Федерации.

В результате проведения краткого анализа содержания и действия определенных правовых норм актов, издаваемых на Руси, в последующем и современных российских правовых актов по вопросам, касающимся исторического развития системы юридической ответственности, представляется возможным привести определенные дискретные выводы о смысловом их содержании и применении этих актов в сфере юридической ответственности.

Зарождение и формирование системы юридической ответственности на Руси прошло многовековой путь, отражая определенную ступень, этапы развития общества в ту или иную эпоху в призме складывающейся экономической, социально-политической формации. На каждом из этапов развития государственности становится очевидным детализация и регламентация мер юридической ответственности, их последовательная гуманизация, введение кодификации в законодательство. Одно из особых мест в развитии

ответственности составляет тенденция принятия все более действенных норм права, направленных на оказание воздействия на происходящие социальные процессы в обществе, характеризующиеся от так называемого «членовредительства» (отрезание части пальцев, прожжение, клеймение) до установления воспитательных мер исправительной и принудительной формы (обязательные работы, излечение, присуждение условного срока). Безусловно, такие изменения направлены, прежде всего, возможно, даже не на ликвидацию в полном объеме самих правонарушений и преступлений, но по меньшей мере на их предупреждение, сокращение, недопущение в целях дальнейшего обеспечения соблюдения законных прав и свобод человека и гражданина в развитом российском правовом государстве.

Список литературы

1. Арсеньева Г. В. Ответственность за государственную измену в Российской империи: теоретические разработки, законодательное оформление (серия XIX – нач. XX в.) // Гуманитарные исследования. – 2012. – № 3(43). – С. 196–201. EDN: PWKYUX.

2. Георгиевский Э. В. К вопросу об общей характеристике и происхождении Русской Правды / Сибирский юридический вестник. – № 1(44). – Иркутск. 2009. – 110 с. – EDN: JXKXKJ.

3. Егоров А. А. Эволюция категории «правонарушение» с IX по XVI вв. / Актуальные проблемы российского права. – № 8. – Москва. 2016. – 250 с. – DOI: 10.17803/1994-1471.2016.69.8.035-043. – EDN: WYMMAT

4. Загидуллин М. Р. Юридическая ответственность в судебном процессе России по Судебникам 1497 и 1550 гг. / Ученые записки Казанского университета. Серия Гуманитарные науки. – Том 161. – Книга 1. – Казань. 2019. – 250 с.

5. Земцов Б. Н. Судебник Ивана III: цели законодателя / Ленинградский юридический журнал. – №1 (43). – Санкт-Петербург. 2016. – 272 с. – EDN: VVZYUX.

6. Князев А.А. Цели и функции различных типов юридической ответственности // Проблемы совершенствования российского законодательства: Сборник тезисов Всероссийской (с международным участием) научной конференции курсантов, слушателей и студентов. Барнаул, 11 апреля 2019 года. Барнаул, 2019. – С. 31–32. – EDN: JVPDML.

7. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020) / Собрание законодательства Российской Федерации от 06.07.2020. – Москва. № 27. – Ст. 4196.

8. Морозов С.Л., Кузнецова А.П. История становления и развития системы наказаний в отечественном уголовном праве / International Journal of Humanities and Natural Sciences. vol. 8-1 (83), 2023. (Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – № 8-1 (83). – Новосибирск. 170 с. – DOI: 10.24412/2500-1000-2023-8-1-51-55.

9. Никитина А.П., Юшкина Т.В., Пилюгина Т.В. Значение и тенденции развития юридической ответственности в Российской правовой системе / Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – № 9. – Краснодар. 2025. – С. 140–144. DOI: 10.24412/2220-2404-2025-9-34. –EDN: IDXKPL.

10. Осипян Б. А. Русский судебник 1497 г. как право-идеологическая основа зарождения централизованного государства / История государства и права. – Москва. № 4. – 2011. – 47 с. – EDN: NTLYRP.

11. Попрядухина И. В. Система наказаний по Судебнику 1497 г. / Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия Юридические науки. – № 4. – 2011. – 160 с. – EDN: PBTQGH.

12. Российское законодательство X-XX вв.: в 9 т. – Т. 4. – Москва. 1986. – 532 с.

13. Российское законодательство X-XX вв. под общей редакцией О. И. Чистякова. – Том 2. – Москва : Юридическая литература, 1984.

14. Рыбаков Б. А. Киевская Русь и русские княжества XII-XIII вв. – Москва. 1993. – 776 с. – EDN: RURWFN.

15. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 09.04.2026) // Собрание законодательства Российской Федерации от 17.06.1996. – Москва. – № 25. – Ст. 2954.

16. Харин И. В. Уголовная ответственность за преступления против государства в России XIX – начала XX вв. // Вопросы Российской юстиции. – № 38. – Екатеринбург, 2025. – С. 25-38. – EDN: GPBXNT.

17. Чепус А.В. Развитие теории юридической ответственности в советский период / Вопросы современной юриспруденции: Сборник статей по материалам LIII международной научно-практической конференции, № 9 (49). – Новосибирск, 2015. – С. 70. – EDN: UKAJIH.

18. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: Т. XVI (31). Конкорд - Коялович. – Санкт-Петербург, 1895. – 495 с.

© Козлов С.С., Бондаренко А.И.

РАЗДЕЛ II. ДИССЕМИНАЦИЯ ИННОВАЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОПЫТА

Глава 7.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Максимова Елена Александровна
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Безопасность телекоммуникаций»
Ордена Трудового Красного Знамени
ФГБОУ ВО «Московский технический
университет связи и информатики»

Аннотация: В работе рассматриваются методы обеспечения информационной безопасности в сложноструктурированных системах. Предлагается подход к интеллектуальному управлению процессами информационной безопасности на основе системного анализа, моделирования угроз, графовых и когнитивных моделей, оценки рисков и адаптивного реагирования. Разработаны модель динамики инфраструктурного деструктивизма и схема прогностической оценки информационной безопасности, на примере критической информационной инфраструктуры. Экспериментальные исследования подтвердили, что применение интеллектуального анализа данных и машинного обучения повышает устойчивость системы, сокращает время реакции и снижает вероятность каскадных отказов.

Ключевые слова: сложноструктурированная система, интеллектуальное управление, информационная безопасность, деструктивное воздействие, инцидент.

INTELLIGENT MANAGEMENT OF INFORMATION SECURITY PROCESSES IN COMPLEX STRUCTURED SYSTEMS

Maksimova Elena Aleksandrovna
Doctor of Technical Sciences

Abstract: The paper discusses methods for ensuring information security in complex systems. It proposes an approach to intelligent management of information security processes based on system analysis, threat modeling, graph and cognitive models, risk assessment, and adaptive response. The paper develops a model of infrastructure destructivism dynamics and a scheme for predictive assessment of information security, using the example of critical information infrastructure. Experimental studies have confirmed that the use of data mining and machine learning increases system resilience, reduces response time, and reduces the likelihood of cascading failures.

Key words: complex structured system, intelligent management, information security, destructive impact, incident.

Актуальность темы исследования

Сложноструктурированные системы представляют собой совокупность взаимосвязанных элементов, функционирование которых определяется большим числом прямых и обратных связей, а также наличием иерархических, сетевых и функциональных зависимостей. К таким системам относятся распределённые вычислительные комплексы, автоматизированные системы управления, критически важные инфраструктуры, киберфизические комплексы и иные объекты, характеризующиеся высокой степенью взаимозависимости компонентов.

Особенностью таких систем является то, что нарушение работоспособности одного элемента способно вызвать цепную реакцию,

приводящую к деградации смежных подсистем и снижению эффективности функционирования всей структуры. В условиях внешнего деструктивного воздействия это обстоятельство приобретает особую значимость, поскольку первичный инцидент может перерасти в каскадный отказ. Следовательно, обеспечение информационной безопасности сложноструктурированных систем должно строиться не только на локальном выявлении угроз, но и на анализе динамики их распространения по структуре системы.

Традиционные средства защиты, как правило, ориентированы на статическое правило-ориентированное обнаружение нарушений, контроль отдельных событий и реакцию на уже произошедший инцидент. Однако в условиях высокой связанности элементов и изменчивости среды такой подход оказывается недостаточно эффективным. Возникает необходимость применения интеллектуальных методов, способных учитывать структуру системы, оценивать риски развития инцидента и выбирать адаптивные меры противодействия.

Методы и подходы к оценке информационной безопасности и прогнозированию развития ситуаций в сложноструктурированных системах

Вопросы оценки ИБ и прогнозирования развития ситуаций в сложноструктурированных системах рассматриваются учеными практически всех стран. Особое место здесь уделяется исследованиям, связанным с критическими инфраструктурами (КИ), как сложно-структурированными системами. Среди целей таких исследований выделяют защиту КИ на государственном уровне, нейтрализацию злоумышленных воздействий на объектах КИ. При этом в [1] в качестве приоритетных вопросов для рассмотрения определены, например, вопросы определения центральных объектов (как в локальном, так и в структурном контексте). Результат воздействия на данные объекты

может быть разрушающим. Для их исследования необходима разработка соответствующего математического аппарата.

В настоящее время при решении данной задачи достаточно активно используются методы экспертных оценок. В качестве базовых метрических показателей при этом используют объекты-эталоны или факторные шкалы [1, 2]. В процессе моделирования оценивается индекс рискованности. В ходе оценки, как правило, используется факторная шкала типа «категория – значимость».

В данном подходе, так же как и в традиционных методах, не учитывается система межобъектных взаимосвязей. Таким образом, вопрос адекватности разрабатываемой модели относительно реального объекта остается открытым.

Отдельный вопрос – вопрос, связанный с классификацией межобъектных взаимосвязей [3, 4, 5].

Некоторые исследователи рассматривают вопросы межобъектного взаимодействия на уровне взаимодействия субъектов. Например, Дж. Варден рассматривал противника как сложную систему, в составе которой есть центральные объекты, через которые в системе выполняются воздействия.

Согласно теории самоорганизующихся систем Альберто Барабаши [6], структуризация неструктурированной сети выполняется относительно значимых узлов под влиянием соответствующих факторов. Таким образом, согласно [1], для КИ как системы выполняется структуризация. Доминантой данного является получение синергетического эффекта.

Теория графов – один из распространенных методов, используемых при моделировании процессов анализа состояний сложно структурированной системы на предмет обеспечения её безопасности [1]. В решении данной проблемы важно правильно определить сложность межобъектных взаимосвязей [7]. Зачастую обозначенное реализуется за счет возможностей различных методов имитационного

моделирования: агентного, дискретно-событийного, динамического и др. Например, имитационная модель [2], в которой выполняется прогнозирование развитие ситуаций при появлении инцидентов, возникновении каскадного эффекта в работе КИ и др.

В ходе исследования выделены следующие основные шаги, позволяющие обеспечить безопасность объектов сложно-структурированных систем (рис. 1).

Рис. 1. Основные шаги, реализуемые для обеспечения безопасности объектов сложноструктурированной системы

Важно отметить, что имеющийся международный опыт показывает эффективность использования в алгоритме обеспечения безопасности объектов КИ действий, основанных на анализе межобъектных и межсубъектных взаимозависимостей объектов. В контексте теории

инфраструктурного деструктивизма [8] данные взаимозависимости описываются и обосновываются через их антропоморфические эффекты [9].

Отдельно необходимо обозначить методы, позволяющие оценить ИБ. К наиболее распространенным можно отнести методы:

- оценки по эталону, где в качестве эталона можно принять модель «нулевого риска». Здесь может использоваться системно-ориентированная или процессно-ориентированная оценка [11];
- риск-ориентированной оценки,
- оценки по экономическим показателям и др. [10].

При моделировании бизнес-процессов (процессы, связанные с ЗИ, можно рассматривать как бизнес-процессы) достаточно эффективно использовать формализацию процессов защиты информации по заданным критериям. По результатам выполняется «выход» на множество моделей. В процессе моделирования должен также быть решен вопрос о соответствии шкал. Здесь рационально использовать вероятностные методы.

Важно отметить, что практика работы по вопросам безопасности КИ в РФ не значительна. Поэтому здесь существует много специфичных, сложных, трудноразрешимых задач. К примеру, задача идентификации и снижения уровня деструктивных воздействий различного генеза на объектах сложноструктурированной системы.

Исходя из вышеизложенного, в соответствии с [12] предлагается использовать методы нечеткого когнитивного анализа и сценарного моделирования. Данные методы, в том числе, будут актуальны и для решения глобальных задач, связанных с построением системы интеллектуального управления процессами ИБ сложно-структурированной системы [13-16] и, соответственно, системы поддержки принятия решений.

Согласно [12, 17–27] можно обозначить следующие процедуры построения когнитивной модели (рис. 2). Для исследования и

прогнозирования оценки ИБ сложноструктурированной системы при этом необходимо рассмотреть возможные поведения системы. В качестве аппарата решения поставленной задачи используется сценарное моделирование [28].

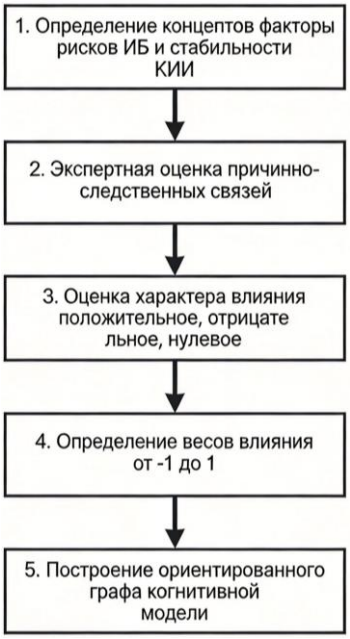


Рис. 2. Процедуры построения когнитивной модели

Модель деструктивного воздействия и динамики развития инцидента

Для анализа информационной безопасности сложно-структурированных систем важное значение имеет формализация процесса развития деструктивного воздействия. В рамках настоящего исследования под деструктивным воздействием различного генеза (происхождения) понимается воздействие различного генеза, приводящее к нарушению целостности, доступности или корректности функционирования информационных и управляющих компонентов системы [29].

Особый интерес представляют сценарии, в которых первичное воздействие затрагивает не только отдельный элемент, но и изменяет состояние связей между узлами системы. В этом случае происходит

нарушение процессов передачи данных, искажение управляющих сигналов, снижение достоверности результатов работы системы мониторинга и ухудшение качества принятия решений. Именно такая логика лежит в основе концептуальной модели оценки динамики рисков информационной безопасности в условиях инфраструктурного деструктивизма [30].

В ней последовательность состояний сложноструктурированной системы может быть представлена следующим образом (рис. 3).

Рис. 3. Последовательность состояний сложноструктурированной системы при деструктивных воздействиях различного генеза

На каждом этапе изменяются характеристики устойчивости, наблюдаемости и управляемости системы. Это позволяет рассматривать процессы информационной безопасности в сложноструктурированной системе в динамике. При этом одним из обязательных требований к выполнению является требование непрерывного контроля и адаптивного управления.

В качестве источника разрушительного воздействия рассматриваются сценарии, связанные с деструктивными воздействиями на систему, приводящими к возникновению помех, нарушениям в каналах связи, воздействиям на датчики и элементы внешней инфраструктуры. Подобные воздействия особенно опасны тем, что они могут быть трудно обнаруживаемыми и способными запускать цепные эффекты в сложноструктурированной системе.

Метод интеллектуального управления процессами информационной безопасностью

Интеллектуальное управление процессами информационной безопасности сложно структурированных систем предполагает использование методов анализа, прогнозирования и адаптивного реагирования, основанных на обработке данных о состояниях системы, выявлении закономерностей и оценке рисков (рис. 4). В условиях инфраструктурного деструктивизма обоснованно использование методов выявления и идентификации деструктивных воздействий инфраструктурного генеза, а также метод оценки ИБ сложно-структурированной системы при деструктивных воздействиях инфраструктурного генеза. Обозначенное позволяет выполнить оценку инфраструктурной целостности, функциональности, а также повысить точность регулятивной оценки ИБ и оптимизировать инфраструктуру сложноструктурированной системы.

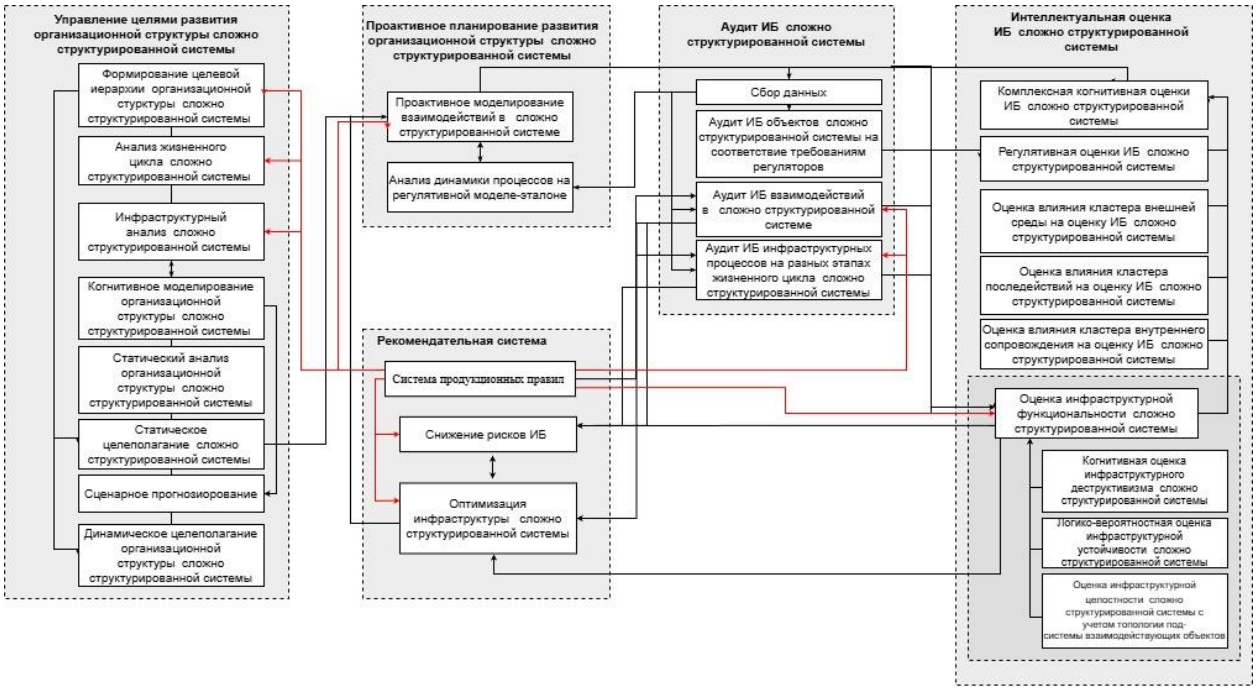


Рис. 4. Концепция метода интеллектуального управления процессами информационной безопасности сложноструктурированных систем

В рамках исследования рассмотрено несколько ключевых подходов (табл. 1).

Графовое моделирование позволило представить инфраструктуру в виде ориентированного или неориентированного графа, где вершины соответствуют элементам системы, а рёбра — связям между ними. Такой подход даёт возможность выявлять критические узлы, оценивать степень связанности компонентов и определять потенциальные пути распространения инцидента.

Таблица 1

Сравнение основных методов, используемых при обеспечении информационной безопасности сложноструктурированных систем

Метод	Основное назначение	Преимущества	Ограничения	Область применения
Графовое моделирование	Анализ структуры системы и связей между элементами	Позволяет выявлять критические узлы, пути распространения инцидентов, структурную уязвимость	Требует актуальной и полной информации о топологии	Сетевые и иерархические системы, критическая инфраструктура
Когнитивное моделирование	Описание причинно-следственных связей и оценка последствий	Хорошо работает при неопределённости, позволяет учитывать экспертные знания	Зависит от качества построения модели и экспертных оценок	Сложные технические и киберфизические системы

Продолжение таблицы 1

Машинное обучение	Выявление аномалий, классификация угроз, прогно-зирование	Высокая точность при наличии данных, способность обнаруживать скрытые закономерности	Требует обучающих выборок, возможна чувствитель-ность к шуму	Системы мониторинга, SIEM, анализ потоков событий
Нечёткая логика	Обработка нечетких и неполных данных	Удобна для формализации экспертных правил, устойчива к неопределён-ности	Сложно масштабируется на большие системы	Риск-анализ, оценка состояния и принятие решений
Адаптивное реагирова-ние	Реализация защитных мер в реальном времени	Позволяет снижать ущерб и предотвращать каскадные отказы	Нуждается в корректной настройке и постоянном контроле	Автоматизиро-ванные системы защиты и управления

Когнитивное моделирование использовано для описания причинно-следственных зависимостей между факторами, влияющими на изменение параметров состояний системы. Оно особенно эффективно в условиях неполноты информации и неопределённости, когда требуется оценить не только текущее состояние, но и вероятные последствия изменения отдельных факторов. Нечёткие когнитивные карты и аналогичные модели позволяют интерпретировать сложные взаимосвязи между событиями безопасности и последствиями их развития.

Методы машинного обучения и интеллектуального анализа данных использованы для распознавания аномалий, классификации инцидентов и прогнозирования развития угроз ИБ. Их использование особенно целесообразно при наличии большого объёма телеметрических данных,

журналов событий и потоковой информации о состоянии системы. В отличие от традиционных сигнатурных механизмов, такие методы способны выявлять ранее неизвестные шаблоны поведения.

Адаптивное реагирование завершает цикл интеллектуального управления. Оно предполагает выбор и применение защитных мер в зависимости от текущего состояния инфраструктуры, характера угрозы и ожидаемой динамики её развития. К таким мерам относятся переключение на резервные ресурсы, изоляция повреждённых сегментов, изменение маршрутизации, ограничение доступа и перераспределение функций между узлами.

Из таблицы 1 видно, что каждый из методов имеет собственную область эффективности. Наиболее результативным является их совместное применение, при котором графовая модель обеспечивает структурный анализ, когнитивная – интерпретацию причинно-следственных зависимостей, машинное обучение – обнаружение и прогнозирование угроз, а адаптивное реагирование – практическую реализацию защитных действий.

Экспериментальное исследование эффективности предложенного подхода

Для оценки эффективности интеллектуального управления процессами информационной безопасности был проведён сравнительный эксперимент, в рамках которого рассматривались два режима функционирования системы: базовый, без применения интеллектуальных методов, и предложенный, основанный на интеграции графового моделирования, когнитивного анализа и адаптивного реагирования.

В ходе эксперимента оценивались следующие показатели: точность обнаружения аномалий, полнота выявления угроз, время реакции системы, число ложных срабатываний, качество прогноза развития инцидента и эффективность защитных мер. При этом моделировались

сценарии локальных и каскадных нарушений, возникающих под воздействием внешнего деструктивного фактора (рис. 5).

Рис. 5. Экспериментальное исследование модели интеллектуального управления процессами информационной безопасности сложно структурированных систем

Полученные результаты показали, что в базовом режиме локальные нарушения достаточно быстро переходили в деградацию мониторинга и снижение качества управления. Система реагировала преимущественно на уже проявившиеся отказы и не учитывала ранние признаки развития инцидента. В результате возрастала вероятность распространения угрозы на смежные компоненты.

В режиме интеллектуального управления обнаружение аномалий

происходило на более ранней стадии. Использование структурного и причинно-следственного анализа позволяло заранее оценивать возможные последствия воздействия и выбирать защитные меры до наступления критического состояния. За счёт этого сокращалось время реакции, снижалось число пропущенных угроз, и уменьшалась вероятность каскадного отказа.

Особенно заметный эффект наблюдался при сценариях средней и высокой интенсивности воздействия. При наличии адаптивных механизмов система успевала изолировать проблемные участки, переключаться на резервные ресурсы и сохранять работоспособность ключевых функций. Это подтверждает целесообразность применения интеллектуального управления как инструмента повышения устойчивости сложноструктурированных систем.

Таким образом, в исследовании рассмотрены особенности обеспечения информационной безопасности сложноструктурированных систем и обоснована необходимость перехода от традиционных реактивных средств защиты к интеллектуальным методам управления. Показано, что высокая взаимосвязанность элементов делает такие системы уязвимыми к каскадному развитию инцидентов, а значит, требует использования моделей, способных учитывать структуру, динамику и неопределённость внешних воздействий.

Предложена концепция интеллектуального управления, основанная на сочетании графового моделирования, когнитивного анализа, методов машинного обучения и адаптивного реагирования. Сравнительный анализ показал, что наибольшую эффективность даёт интеграция указанных подходов, поскольку каждый из них решает отдельную часть задачи обеспечения безопасности.

Экспериментальное исследование подтвердило, что применение интеллектуальных методов повышает точность обнаружения угроз, снижает время реакции и уменьшает вероятность перехода локального инцидента в системный отказ. Следовательно, разработанный подход

может служить основой для построения адаптивных систем защиты сложноструктурированных инфраструктур.

Список литературы

1. Кондратьев А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение : ежемесячный информационно-аналитический иллюстрированный журнал. – 2012. – № 1. С. 19–30.

2. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: csef.ru/ru/articles/print/7745.

3. Moteff J.D. Critical Infrastructures: Background, Policy and Implementation. Updated February 4, 2002 [Электронный ресурс] / J.D. Moteff. – Режим доступа: https://media.nti.org/pdfs/infrastrucutres-2002.pdf.

4. Kizhakkedath A., Tai K., Sim M.S., Tiong R.L.K., Lin J. (2013). An Agent-Based Modeling and Evolutionary Optimization Approach for Vulnerability Analysis of Critical Infrastructure Networks. In: Tan, G., Yeo, G.K., Turner, S.J., Teo, Y.M. (eds) AsiaSim 2013. Communications in Computer and Information Science, vol. 402. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 176–187. - DOI: 10.1007/978-3-642-45037-2_17.

5. Strange J. Centres of Gravity and Critical Vulnerabilities [Электронный источник] / J. Strange. – Режим доступа: https://archive.org/details/centersofgravit 00stra/page/2/mode/2up?ref=ol&view=theater.

6. Lewis T.G. Critical infrastructure Protection in Homeland Security. Defending a Networked Nation [Электронный источник] / T.G. Lewis. – Режим доступа: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471789542.

7. Pederson P. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research. August 2006 [Электронный ресурс] / P. Pederson, D. Dudenhoeffer, S. Hartley, M. Permann. – Режим

доступа: https://cip.management.dal.ca/publications/Critical%20Infrastructure%20Interdependency%20Modeling.pdf.

8. Максимова Е.А. Модели и методы оценки информационной безопасности субъекта критической информационной инфраструктуры при деструктивных воздействиях инфраструктурного генеза : специальность 2.3.6 : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Максимова Елена Александровна, 2022. – 448 с. – EDN OHDNPO.

9. Dolzhenkov S. Interobject Anthropomorphism as a Threat to Information Security of Critical Information Infrastructure / S. Dolzhenkov, E. Maksimova // AISMA-2025: International Workshop on Advanced Information Security Management and Applications : Conference proceedings, Stavropol, 11–15 мая 2025 года. Vol. 1456. – Springer Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2025. – P. 131–144. – EDN DQTBVN.

10. Зефиров С.Л. Способы оценки информационной безопасности организации / С.Л. Зефиров, В.М. Алексеев // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2-х томах. – Пенза: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет», 2011. – 2 т.

11. Садовникова Н.П. Общие вопросы применения методологии имитационного моделирования для оценки эколого-экономической эффективности проектов градостроительной деятельности / Н.П. Садовникова, А.К. Ермощенко // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – № 9 (82). – С. 94–97.

12. Максимов В.И. Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций / В.И Максимов // Проблемы управления. – 2005. – № 3. – С. 30–38.

13. Obiedat M. Fuzzy representation and aggregation of fuzzy cognitive maps / M. Obiedat, S. Samarasinghe // 20th International Congress on

Modelling and Simulation (Adelaide, Australia, 1–6 December 2013). – 2013. – P. 690–694.

14. Arduin P.E. On the Use of Cognitive Maps to Identify Meaning Variance. Lecture Notes / P.E. Arduin // Business Information Processing. – 2014. – № 180. – P. 73–80. - DOI: 10.1007/978-3-319-07179-4_8.

15. Jones N.A. Mental models: an interdisciplinary synthesis of theory and methods / N.A. Jones, H. Ross, T. Lynam, P. Perez, A. Leitch // Ecol. Soc. – 2011. – № 16(1). – P. 46.

16. Budhwar P.S. Cognitive Mapping as a Tool to Elicit Managerial Cognitions: Methodology Analysed / P.S. Budhwar // Vikalpa. – 1996. – Vol. 21. – № 4. – P. 17–25.

17. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф.С. Робертс // М.: Наука, 1986. – 496 с.

18. Максимов В.И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию / В.И. Максимов // Труды 1-ой международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» (CASC'2001). − М.: ИПУ РАН, 2001. − Т. 1. – С. 4–41.

19. Максимов В.И. Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций / В.И. Максимов // Проблемы управления. – 2005. – № 3. – С. 30–38.

20. Афанасьев Т.В. Введение в проектирование систем интеллектуального анализа данных: учебное пособие / Т.В. Афанасьева, А.Н. Афанасьев. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – 64 с.

21. Gray S. Fuzzy Cognitive Maps as Representations of Mental Models and Group Beliefs [Электронный ресурс] / Steven Gray, Erin Zanre, Stefan Gray – Режим доступа: https://www.mentalmodeler. com/articles/Gray% 20et%20al%202012_FCM_%20Mental%20Models.pdf.

22. Бялецкая Е.М. О принципах когнитивного моделирования сложных систем / Е.М. Бялецкая, И.Ю. Квятковская // Вестник АГУ. – 2006. – № 1 (30). – С. 116–119.

23. Жилов Р.А. Оптимизация когнитивной карты для задач прогнозирования / Р.А. Жилов // Кибернетика и программирование. – 2015. – № 5. – С. 128–135.

24. Шумков Е.А. Сценарный подход к управлению проектами / Е.А. Шумков, Л.А. Видовский // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 134. – С. 948–956.

25. Колоденкова А.Е. Методы поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов информационно-управляющих систем промышленных объектов: дис. …. д-ра техн. наук: 05.13.01 / Колоденкова Анна Евгеньевна. – Уфа, 2017. – 276 с.

26. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

27. Садовникова Н.П. Методы и модели в аналитических программных средствах / Н.П. Садовникова, Д.С. Парыгин, Д.М. Коробкин. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2017. – 96 с. – ISBN 978-5-9948-2569-3. – EDN ZHPDOZ.

28. Максимова Е.А. Исследование источников деструктивных воздействий на субъекте критической информационной инфраструктуры / Е.А. Максимова, М.А. Лапина // Информационные системы и технологии в моделировании и управлении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции (Ялта, 24–26 мая 2021 г.). – Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2021. – С. 215–218. – EDN: FUDUSE.

29. Максимова Е.А. Модель состояний субъектов критической информационной инфраструктуры при деструктивных воздействиях в статичном режиме / Е.А. Максимова // Труды учебных заведений связи. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 65–72.

30. Development of an Information Security Risk Assessment Model Through the Calculation of the Vulnerability Danger Factor / M. Utenkova,

A. Komkov, E. Maksimova, O. Mezentseva // AISMA-2025: International Workshop on Advanced Information Security Management and Applications : Conference proceedings, Stavropol, 11–15 мая 2025 года. Vol. 1456. – Springer Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2025. – P. 434-441. – EDN RSVFLL.

© Максимова Е.А.

Глава 8.
ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ

Гулай Анатолий Владимирович
к.т.н., доцент
Богданова Елена Андреевна
ассистент
Белорусский национальный технический университет

Аннотация: Проанализированы варианты использования цифровых вычислительных платформ и приборов цифровой автоматики на различных архитектурных уровнях интеллектуальных систем. Изложены вопросы представления формализованных и неформализованных знаний в вычислительном оборудовании систем. Приведен процесс автоматического синтеза заключений и управленческих решений на основе теории нечетких выводов. Предложен способ оперативного отслеживания тенденций изменения критических параметров и контроля их приближения к границам запрещенных областей. На основе категории решетчатых функций продемонстрированы принципы организации цифровой обработки дискретной информации. Даны представления о специфике синтеза алгоритмов интегрального преобразования сигналов, числовой и символьной информации. Показаны возможности различных кодов и результаты их применения по обеспечению помехоустойчивого кодирования данных. Предложена общая схема помехоустойчивого кодирования / декодирования информации в системах с дистанционным доступом к системным ресурсам.

Ключевые слова: интеллектуальная техническая система; цифровая обработка информации; автоматический синтез заключений; теория нечетких выводов; помехоустойчивое кодирование данных.

FUNCTIONAL-MORPHOLOGICAL ARCHITECTURE OF INTELLIGENT TECHNICAL SYSTEMS: FUNDAMENTAL PRINCIPLES

Gulay Anatoly Vladimirovich
Bogdanova Elena Andreevna

Abstract: Options for using digital computing platforms and digital automation devices at various architectural levels of intelligent systems are analyzed. Issues of representing formalized and non-formalized knowledge in the computing equipment of systems are presented. The process of automatic synthesis of conclusions and control decisions based on fuzzy inference theory is presented. A method for operational tracking of trends in changes of critical parameters and control over their approach to the boundaries of prohibited areas is proposed. Based on the category of lattice functions, the principles of organizing digital processing of discrete information are demonstrated. Representations of the specifics of synthesizing algorithms for integral signal transformation, numerical, and symbolic information are provided. The capabilities of various codes and results of their application in ensuring error-resistant data coding are shown. A general scheme of error-resistant encoding/decoding of information in systems with remote access to system resources is proposed.

Key words: intelligent technical system; digital information processing; automatic synthesis of conclusions; fuzzy theory inference; error-resistant data coding.

Введение

Построение интеллектуальных систем является логическим итогом развития теории и практики создания аппаратных и программных комплексов для управления техническими и организационными процессами различного назначения. Начиная со второй половины XX века, такие комплексы активно разрабатываются и внедряются в большинстве ведущих индустриальных стран мира благодаря развитию электроники и приборостроения, кибернетики и системотехники, а также распространению и освоению положений и законов теории управления. Исследования системных аналитиков привели к обобщению теоретических и экспериментальных результатов в области формирования математических и технических основ построения систем переработки информации и управления. Апробированы фундаментальные системотехнические принципы обеспечения совместимости различных составных частей систем, организации и использования обратных связей, реализации управленческого многообразия и структурного моноцентризма, внешнего энергетического дополнения и актуализации функций. Анализ перспективных технологий цифрового автоматического управления, широкого спектра методов исследования операций и приемов оптимизации, принципов искусственного воспроизведения процессов мыслительной деятельности человека, а также алгоритмов обработки и использования решетчатых функций обеспечили формирование принципиально нового направления в структурном построении средств управления – создания компьютерных систем и устройств автоматики с функциями искусственного интеллекта [1–4].

Активная деятельность компаний электронного профиля и использование перспективных конструктивно-технологических идей позволила осуществить количественный и качественный прорыв в теории и практике создания вычислительных средств. В приборах цифровой автоматики нижнего системного уровня распространилось

применение встраиваемых специализированных процессоров для логического преобразования форматов данных, для реализации протоколов информационно-технической совместимости составных частей системы и выполнения локальных вычислений. Средний уровень систем получил возможность оснащаться серверами с программными компонентами поддержки интерфейсов взаимодействия с персоналом на естественном языке и эффективного масштабирования системных функций. Необходимость решения сложных информационно-расчетных задач привело к внедрению на верхнем системном уровне суперкомпьютеров и майнфреймов, обеспечивающих распределенные в пространстве и во времени цифровые технологии переработки информации и управления. Это позволило наделить системы способностями к работе как с данными, так и с наборами тематических знаний, правил, фактов и событий.

Интеллектуальные системы – это программные и аппаратно-программные комплексы, способные решать творческие задачи из конкретных предметных областей и использующие в процессах функционирования определенные наборы знаний, особые технологии учета факторов неопределенностей и воспроизведения логических рассуждений, а также методы восприятия и переработки информации, ранее доступные только человеческому разуму. В соответствии с концепцией, предложенной и обоснованной системными аналитиками, интеллектуальные системы должны обладать делимостью на составные части с выделением информационных, алгоритмических, технических и программных подсистем, модулей и компонентов. Для обеспечения указанных интегративных свойств интеллектуальных систем в состав технического оборудования на различных уровнях их архитектурного построения целесообразно введение компьютеров и цифровых процессоров с необходимыми вычислительными ресурсами и программным обеспечением.

Целостность интеллектуальных систем поддерживается

рациональным техническим взаимодействием составных частей и целенаправленным управлением с помощью логических и физических каналов передачи вещества, энергии и информации. В составе основных морфологических частей интеллектуальных систем можно выделить программные и аппаратно-программные модули, обеспечивающие реализацию следующих функций:

- взаимодействие с персоналом (исследователями, операторами, диспетчерами);
- взаимодействие с сенсорным оборудованием и с исполнительными механизмами;
- оперирование с данными и знаниями;
- накопление и обработку входных воздействий – операции, определяющие количественное и качественное выполнение прогнозов изменения тех внешних переменных, которые характеризуют текущее состояние системы и от которых зависят процессы функционирования;
- анализ состояний системы, позволяющий реализовать распознавание складывающихся ситуаций на основе фактографических сведений;
- выбор из имеющегося множества альтернативных стратегий поведения наиболее рационального варианта, приемлемого для конкретной ситуации;
- преобразование стратегий управления в состав и последовательность операций, а также конкретные значения параметров (числовые показатели) процессов управления.

Построение интеллектуальных систем предполагает активное использование подходов системного анализа, которые по мере развития интеллектных технологий и приобретения опыта их создания обогащаются новыми теоретическими методами и практическими приемами.

Основные виды интеллектуальных систем охватывают:

- расчетно-логические системы, ориентированные на применение декларативных и процедурных знаний, которые консолидируются в базы знаний и обеспечивают идентификацию и прогнозирование процессов развития системных состояний и ситуаций;
- интеллектуальные информационные системы, которые обеспечивают реализацию процедур, эффективных по времени, полноте, достоверности распознавания и смысловой обработки разнородных данных, в том числе при задании системным оператором информации в виде языковых конструкций, близких к конструкциям естественных языков, а также при автоматическом размещении (упаковке) результатов инструментальных измерений контролируемых параметров в анкетных и табличных формах;
- экспертные системы, аккумулирующие эвристические методы и технологии, эмпирические сведения, практический опыт и знания специалистов–экспертов, а также создающие условия для обучения и решения определенного круга слабо структурированных задач;
- рефлекторные системы, обладающие способностью вырабатывать адекватные реакции в ответ на комбинации входных системных воздействий или адаптироваться к возможным неопределенностям и флуктуациям условий функционирования;
- гибридные системы, в которых применяются группы функциональных технологий и методов.

В развитии интеллектуальных систем прослеживаются следующие направления, которые при определенной самостоятельности методологически взаимосвязаны и технологически дополняют друг друга. Первую группу образуют интеллектуальные системы стратегического планирования и поддержки деятельности органов контроля и управления, а также системы организационного, научно-исследовательского и образовательного профиля. Они отличаются средними и даже умеренными требованиями к длительности процедур

выполнения операций выработки управленческих решений, а также возможностями практически неограниченного наращивания используемых вычислительных ресурсов. Вторая группа включает средства промышленной автоматики, в которых осуществляется оперативная обработка сигналов и фактографической информации в масштабе времени быстропротекающих внешних системных процессов (например, процессов функционирования технологического оборудования, выполнения коммуникационных операций, а также управления системными компонентами контроля над развитием угрожающих и аварийных ситуаций). Под фактографической информацией понимаются числовые данные, вводимые в систему аналитиками и инженерами при инициализации и юстировке, а также сведения, получаемые в результате автоматической реализации текущих внешних сенсорных измерений. Указанная информация сопровождается значениями моментов текущего времени ее выработки и поступления в систему.

Системные вычислительные платформы и приборы цифровой автоматики

Материальным базисом построения интеллектуальных систем любого функционального назначения, которые обладают не только академической, но и прагматической ценностью, является вычислительное оборудование и набор проблемно ориентированных приборов цифровой автоматики. На начальных стадиях проектирования интеллектуальной системы возникает неопределенная по своей сути задача выработки адекватных архитектурных, арифметических и логических требований к процессорному оборудованию и к приборам обеспечения информационно-технического взаимодействия составных частей системы. Анализ показывает, что именно вне верхних уровней компьютеров проявляется значительная масса проблем, обусловленных неполнотой описаний исследуемых объектов, окружающей среды и

явлений, неточностями измерений параметров процессов, зашумлениями потоков информации, неопределенностями состояний и иными НЕ-факторами.

Цифровые вычислительные платформы интеллектуальных технических систем. Для централизованного управления составными частями процессорного и периферийного оборудования вычислительных средств интеллектуальных систем, их ресурсами, а также порядком подключения на исполнение и текущее системное обслуживание запросов со стороны проблемно ориентированных программ содержательной переработки информации применяются операционные системы– специальные комплекты взаимосвязанных привилегированных программ. Выбор операционных систем для оснащения процессоров и другого оборудования является самостоятельной задачей при создании интеллектуальных комплексов. Она должна решаться путем построения доказательной основы необходимости использования тех или иных операционных механизмов, а также путем анализа возможных альтернатив и обоснованного принятия технических решений по методам управления комплексным функционированием процессорного оборудования и программных средств.

Решение рассмотренных задач оказывает существенное влияние на эффективное выполнение последующих стадий и этапов разработки аппаратных и программных компонентов создаваемой интеллектуальной системы. Радиоэлектроника и вычислительная техника в своем арсенале имеют широкий спектр электронного и вычислительного оборудования, а также операционных систем, на основе которых системные аналитики получают возможность найти рациональные системотехнические решения и оценить их эффективность.

Суперкомпьютеры. Верхний архитектурный уровень крупномасштабных интеллектуальных систем, например, для проведения научных исследований и моделирования процессов

в области физики высоких энергий, военного планирования и управления, геофизики, криптографии, медицины и генетики характеризуется высокими потребностями в распараллеливании алгоритмов обработки и выполнении объемных и интенсивных вычислений. Цифровые вычислительные платформы систем этого типа формируются на основе суперкомпьютеров – специализированных многопроцессорных вычислительных машин, технические характеристики и скорость выполнения арифметических и логических операций которых значительно превосходят соответствующие показатели большинства компьютеров иных типов.

Серверы и майнфреймы. Серверы и майнфреймы в практике построения интеллектуальных систем применяются для оснащения верхних и средних архитектурных уровней. Эта техника обеспечивает проведение научно-инженерных расчетов, обработку изображений, ведение баз данных терабайтных объемов, организацию работы в глобальных и локальных сетях. Обычно серверы ориентируются на определенные виды функционального обслуживания, при этом их вычислительные возможности и стоимостные показатели, как правило, уступают суперкомпьютерам.

Выделяют несколько самостоятельных категорий серверов. Для информационно-технического посредничества между средствами интеллектуальной системы и внешними системами (в том числе Internet) используются так называемые проксисерверы. Почтовые серверы поддерживают сетевое информационное взаимодействие составных частей системы между собой и с необходимыми удаленными источниками данных и потребителями интеллектуальных услуг. Серверы приложений располагают наборами необходимых технологических средств программного обеспечения, а на терминальные серверы возлагается подключение индивидуальных вычислительных средств потребителей интеллектуальных услуг системы.

Майнфреймы – это серверы на основе универсального отказоустойчивого высокопроизводительного вычислительного оборудования с расширенными возможностями ввода–вывода информации, большими объемами оперативной и внешней памяти, которые целесообразно использовать в системах с интенсивным обменом транзакциями и в системах с повышенной ответственностью за получение корректных результатов работы.

Офисные и переносные компьютеры доступа потребителей и персонала в интеллектуальную систему. Доступ потребителей и персонала в интеллектуальную систему обычно обеспечивается с помощью офисных и переносных компьютеров индивидуального применения. Они укомплектованы средствами информационно-технической совместимости с терминальными серверами интеллектуальной системы, при этом в системе обеспечивается парольный доступ потребителей и персонала, а также контроль полномочий выполнения тех или иных функциональных операций.

Процессорные средства, встраиваемые в электронное оборудование интеллектуальных систем. Среди множества процессорных средств, применяемых в составе электронного оборудования нижнего архитектурного уровня интеллектуальных систем, целесообразно выделить несколько наиболее часто используемых категорий процессоров.

CISC (Complex Instruction Set Computing) – процессоры с «полным набором» команд. В этих процессорах применяются команды различного формата, арифметические и логические операции концентрируются в специально выделенных группах команд без ограничений по количеству обращений к памяти, а также применяется небольшое количество универсальных регистров (от 4 до 8). Эти процессоры обеспечивают наиболее «комфортные» условия для разработки программ.

RISC (Reduced Instruction Set Computing) – процессоры с «сокращенным набором» команд. В этих процессорах применяются команды одного наиболее простого формата, арифметические и логические операции строятся исходя из условий минимизации числа обращений к памяти, а также применяется значительное количество универсальных регистров (от 16 до 64). В этих процессорах используются высокие тактовые частоты, принципы конвейерности и суперскалярности. Значительную роль играет технологическое программное обеспечение, которое позволяет синтезировать программы с преимущественным использованием команд типа RR и применять технологию «длинных» команд VLIW – Very Logic Instruction Word.

DSP (Digital Signal Processor) – цифровые сигнальные процессоры. Они относятся к категории специализированных вычислительных средств и ориентированы на обработку сигналов в реальном масштабе времени процессов управления, на математические задачи цифровой обработки сигналов и широкое использование методов численного дифференцирования и интегрирования. В процессорах заложена параллельная выборка из памяти команд и операндов, поддерживается конвейерное исполнение команд и многоядерность. Эти процессоры применяются для оснащения систем оперативного управления и приборов цифровой автоматики, а также в системах связи и радиолокации, в аппаратуре распознавания речи и изображений, в средствах спектрального анализа.

В условиях широкого предложения процессорного оборудования правильность выбора конкретного процессора зависит от глубины разработки системных спецификаций и алгоритмов функционирования создаваемой интеллектуальной системы, а также от финансовой стороны конкретного проекта.

Операционные системы. Принято различать операционные системы «жесткого» и «мягкого» реального времени. Системой жесткого реального времени называется система, в которой неспособность

обеспечить реакцию на какие-либо события в заданное время является отказом и ведет к невозможности решения поставленной задачи. Такие системы сложны в реализации, и к ним предъявляются особые требования в вопросах безопасности. Строгого и точного определения мягкого реального времени не существует, в связи с чем к этой категории можно отнести системы, не вошедшие в разряд жестких. Система мягкого реального времени может не обеспечивать реализацию всех требуемых функций в заданное время, поэтому возникает проблема определения критериев успешности (нормальности) ее функционирования.

Приборы цифровой автоматики интеллектуальных технических систем. Приборы цифровой автоматики и другое электронное оборудование интеллектуальных систем обеспечивает выполнение ряда функций, необходимых для организации информационно-технического взаимодействия всех составных частей системы между собой, с источниками информации и с потребителями интеллектуальных услуг. Управление приборами цифровой автоматики реализуется с помощью комплексов управленческих программ, выполняемых на встраиваемом процессорном оборудовании интеллектуальной системы.

Важнейшую роль в этих вопросах играет применяемый канал передачи информации – совокупность линии связи, средств модуляции и передачи сигналов на передающей стороне канала, а также средств приема и демодуляции сигналов на приемной стороне канала. Под линией связи понимают совокупность физической среды распространения сигналов, аппаратуры передачи сигналов по линии, аппаратуры приема сигналов, а также аппаратуры уплотнения потоков сигналов различных логических каналов на передающей стороне линии и селекции (целенаправленного выделения) потоков сигналов различных логических каналов на приемной стороне. Различают проводные линии связи, кабельные линии связи (на основе витых пар, коаксиальных и

волоконно-оптических кабелей) и радиочастотные линии связи или радиолинии.

В системах эргатического типа для ввода информации от источников данных (операторов системы) применяются пульты управления. К ним относятся электронные или электронно-механические приборы для подготовки, передачи, приема, регистрации и документирования различной информации, команд системного управления и сведений о системных событиях. Пульты управления могут включать в свой состав контроллеры, компьютеры, запоминающие устройства, дисплеи, графопостроители, средства печати и другое оборудование, необходимое для обеспечения взаимодействия потребителей интеллектуальных услуг с системой на смыслоразличительном уровне. Задатчики обладают ограниченными функциональными возможностями.

В системах с автоматическим съемом фактографических данных для формирования и ввода в систему информации от объектов контроля и управления применяют первичные преобразователи (сенсоры) – функционально ориентированные устройства для измерения значений определенных физических величин, контролируемых системой. Измеренные аналоговые, дискретные и импульсные сигналы преобразуются аналого-цифровыми, дискретно-цифровыми и импульсно-цифровыми преобразователями (АЦП, ДЦП, ИЦП) в цифровую форму (оцифровываются) и образуют потоки телеметрических данных (рис. 1).

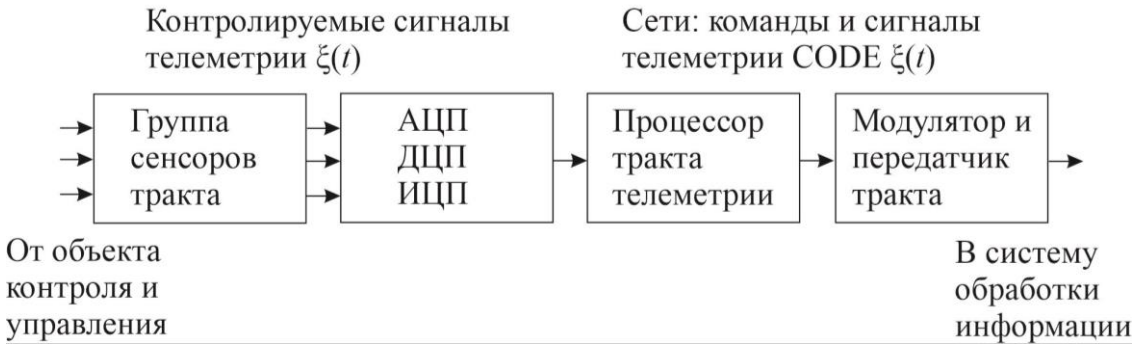


Рис. 1. Тракт передачи потока телеметрических данных

В приборах цифровой автоматики для наложения передаваемой цифровой информации на сигналы несущей частоты на передающей стороне канала и для выделения этой информации на приемной стороне в тракты передачи вводятся модуляторы / демодуляторы. В качестве сигналов несущей частоты, как правило, используются импульсы прямоугольной формы.

Приемопередатчик предназначен для приема и передачи модулированных сигналов по линии связи. Этот прибор не должен вносить существенных искажений в форму и параметры передаваемых сигналов. В качестве оконечных узлов передатчиков могут использоваться излучатели электромагнитных и акустических волн.

Для обеспечения надежного взаимодействия составных частей системы и компенсации затухания сигналов на длинных линиях используются повторители – приборы цифровой автоматики, вырабатывающие выходные сигналы в виде полного повторения (в идеальном случае) формы входных сигналов, но, как правило, имеющие более высокие энергетические характеристики.

Селекцию и передачу входных сигналов в требуемые выходные линии связи системы в зависимости от значения кодов управления обеспечивают коммутаторы. При объединении нескольких входных информационных потоков в один выходной поток коммутатор выполняет функции мультиплексора.

Для обработки потоков транзакций в интеллектуальных системах широко применяются буферные накопители – электронные приборы, обеспечивающие прием, временное хранение и выдачу вовне n-разрядных двоичных кодов (двоичных векторов с размерностью n).

Потребителями интеллектуальных услуг является либо операторы и персонал системы, либо исполнительные механизмы. В системах эргатического типа для вывода информации применяются пульты управления с регистрирующим оборудованием.

Исполнительный механизм – это устройство, преобразующее цифровое управленческое воздействие в угловое или линейное механическое перемещение рабочего органа (инструмента, излучателя, несущей платформы, пишущего узла). Цифровые коды управления предварительно с помощью обратных цифро-аналоговых, цифро-дискретных цифро-импульсных преобразователей (ЦАП, ЦДП, ЦИП) отображаются на шкалах натуральных значений сигналов управления и образуют потоки телемеханических данных (рис. 2). С помощью силовых преобразователей достигается необходимое взаимодействие слаботочных приборов цифровой автоматики с энергоемкими исполнительными механизмами. В качестве электрических машин, развивающих вращательный момент в зависимости от параметров управления, применяются электродвигатели, разновидностью которых являются шаговые двигатели. Роль исполнительных механизмов в ряде случае играют механизмы линейного перемещения – электрические машины, обеспечивающие линейное перемещение несущей платформы по направляющим.

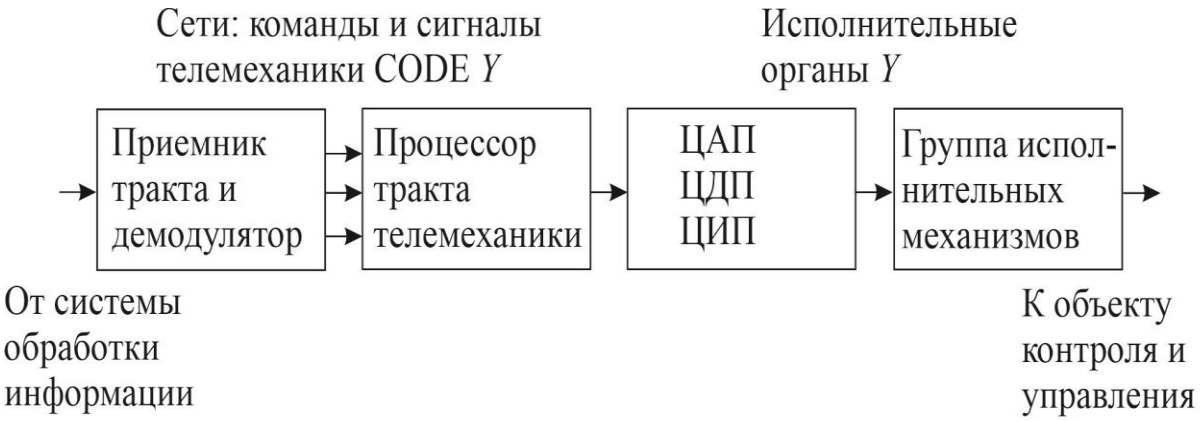


Рис. 2. Тракт передачи потока телемеханических данных

Ряд интеллектуальных функций по контролю работоспособности оборудования, юстировке и линеаризации измерительных и

исполнительных механизмов, формированию и предварительной обработке телеметрических и телемеханических транзакций, помехоустойчивому кодированию и адресованию потоков данных, обеспечению решающей обратной связи возлагается на встраиваемые процессоры трактов.

Технологии формирования выводов и заключений в интеллектуальных системах

Системные данные и знания. В интеллектуальных системах блоки специально организованных справочных, экспертных, описательных, фактографических, процедурных и алгоритмических сведений, а также программные модули выполнения операций над ними образуют одну из главных составных частей системных средств, обеспечивающих процессы автоматической выработки рекомендаций, выводов и заключений с помощью процессорного оборудования.

Совокупность данных, организованных в памяти вычислительных средств системы в соответствии с принятой концептуальной моделью и структурой, называют базой данных. В ней с помощью специальных описаний задаются характеристики данных и взаимосвязи между ними, которые необходимы для размещения, поиска и использования информации в системных программных приложениях.

Важной вехой развития информационных технологий явилась разработка в 1971 году Ассоциацией по языкам систем обработки данных CODASI основных спецификаций описания данных и возможных операторов языка манипулирования данными для гипотетической базы данных общего назначения. В качестве моделей данных декларировались иерархические, сетевые и реляционные структуры. Прогрессивность и фундаментальность предложенных структурно-информационных решений обусловила их методологическую актуальность, в том числе для организации,

хранения и использования системных знаний.

Системные знания – это совокупность положений, суждений, принципов, причинно-следственных связей, отношений, условий существования и других сведений, которые сформулированы и проверены системными специалистами и экспертами, относятся к тем или иным предметам и явлениям реального мира, основаны на объективных свойствах и закономерностях этих предметов или явлений, формализованы или не формализованы, обладают определенной организацией и могут использоваться в процессах построения логических рекомендаций, выводов и заключений [2, 5].

Знания обладают более сложной и развитой структурой, чем системные данные. В вычислительных средствах интеллектуальной системы они могут организовываться в специальные разделы баз данных или иметь самостоятельные средства хранения и доступа, включая применение принципов библиотек. Знаниям свойственна рекурсивная структурированность, что позволяет выполнять их расчленение и объединение по принципу вложенности одного модуля знаний в другой. Существует возможность задания компонентов знаний предметной области как с помощью наборов конкретных фактов, соответствующих этому компоненту (экстенсионально), так и с помощью наборов конкретных свойств (интенсионально). Оценка взаимной близости или удаленности различных информационных единиц предметной области обеспечивает метрика смыслового пространства.

По предназначению и характеру использования различают декларативные и процедурные знания. Декларативные знания – это утверждения о логических и реальных системных объектах, об их свойствах и отношениях. Декларативные знания определяют содержательную (смысловую) часть системных знаний и становятся непосредственно доступными при считывании этих сведений из заранее определенных областей памяти вычислительных средств системы. Процедурные знания являются операциональными и описывают

процедуры, различные алгоритмы, вычисляемые функции, выполняемые преобразования, методы решения конкретных задач. В ряде случаев процедурные знания определяют возможные операции над декларативными знаниями. Специфические процедурные знания представляют собой эвристики, упрощающие и облегчающие решение сложных задач познавательного, конструктивного, комбинационного, вычислительного и практического характера, при этом знания могут охватывать приемы реализации тех или иных целенаправленных действий, схемы рационального выполнения технологических операций, опыт экспертов и иные сведения, часто не имеющие строгого научного обоснования.

Фреймы и семантические сети. Фреймы и семантические сети являются достаточно универсальными методами представления декларативных знаний и данных в интеллектуальных системах. Понятие фрейма было введено в 1974 году М. Мински. Под фреймом понимают модель с определенным внутренним строением для минимально возможного описания системных концептов – структур, объектов, ситуаций, системных ролей, ситуаций, фактов [6]. Семантические сети – это графы, носителями которых являются концепты предметной области системы или их представления в виде фреймов. Элементы сигнатуры такого графа отражают отношения между концептами. Правила построения и алгоритмы обработки фреймов и семантических сетей определяет системный аналитик.

Байесовы выводы и заключения. К первым фундаменталь-ным обоснованиям вероятностных технологий интеллектуального прогнозирования возможных состояний систем и ситуаций относятся труды Т. Байеса [7]. В 1763 году опубликованы его работы, открывавшие возможность правомерного количественного расчета «степени веры в некоторую гипотезу». Первоначально его теорема применялась для оценки вероятности некоторого системного состояния или ситуации при условии, что произошло иное событие – свидетельство, имеющее с ним

статистическую связь.

Если в системе случайным образом с априорно известными вероятностями $P(S_i)$ могут реализовываться одиночные гипотетические и взаимно несовместимые состояния S_i из множества $\{S_i\}$, $i = 1, 2, \ldots, n$, то при полном наборе гипотез имеет место аксиоматическое равенство

$$P(S_1) + P(S_2) + \ldots + P(S_{n-1}) + P(S_n) = 1.$$

При реализации гипотез о нахождении системы в состояниях S_i с априорными известными вероятностями $P(R_k/S_i)$ проявляются события – свидетельства R_k. Тогда апостериорная (так называемая маргинальная) вероятность $P(S_m/R_k)$ реализации любого состояния S_m из множества $\{S_i\}$, определяется центральным соотношением теоремы Т. Байеса:

$$P(S_m/R_k) = P(S_m) \cdot P(R_k/S_m) \cdot [P(S_1) \cdot P(R_k/S_1) +$$
$$+ P(S_2) \cdot P(R_k/S_2) + \ldots + P(S_n) \cdot P(R_k/S_n)]^{-1}.$$

Указанная теорема является объектом процедурных знаний, с ее помощью выполняются целенаправленные действия над декларативными знаниями о некоторой конкретной системе в виде ее структурных параметров $\{S_i\}$, событий – свидетельств R_k, и вероятностных параметров $\{P(S_i)\}$, $\{P(R_k/S_i)\}$. Общая вероятностная технология решения подобных задач предполагает предварительное построение байесовых оценок для множества возможных решений и выбор наиболее предпочтительного из них по (min/max)-значению расчетной апостериорной вероятности реализации гипотетических состояний.

Имеются различные интерпретации и формы представления соотношения Байеса, а также вероятностные технологии формирования системных рекомендаций, выводов и заключений (технологии байесовых решений) с использованием реального статистического материала и экспертных оценок уровней доверия к возможным состояниям, событиям и условиям жизнедеятельности.

Логические модели представления знаний. Логические модели

представления знаний основываются на применении синтаксически правильных формул какой-либо формальной логической системы. В самом общем виде логическая модель – это четырехместный кортеж

$$S = \langle B, F, A, R \rangle,$$

в котором S – формальная логическая система; B – счетное множество базовых символов (алфавит); F – множество формул; A – множество аксиом; R – множество отношений между формулами, называемыми правилами выводов. Для представления знаний используются предикаты первого порядка. Предполагается возможность выполнения логических операций в виде логических связок $\vee$, $\wedge$, $\neg$, $\rightarrow$, квантора общности $\forall$ и квантора существования $\exists$. Байесовы выводы и заключения, как набор знаний, вписываются в рассматриваемую логическую модель и представляют ее наиболее простое воплощение.

Логические модели этого типа предоставляют единое средство описания как знаний о предметной области, так и способов решения задач, что позволяет любую задачу свести к поиску логического вывода некоторой формулы. Облегчается верификация базы знаний, а также оценка независимости и полноты системы аксиом. Высокий уровень формализма обеспечивает возможность реализации точных определений и непосредственного программирования механизмов вывода. Логические модели направлены на построение логических выводов и в принципе предполагают работу с четкими знаниями. Кроме того, исключается возможность применения в качестве параметров предикатов других предикатов и формулирование знаний о знаниях.

Продукционные модели представления знаний Э. Поста. Продукционная модель была предложена Э. Постом в 1943 году. В этой модели отдельные знания представляются совокупностью продукционных правил вида «ЕСЛИ – ТО», которые могут быть дополнены логическими операторами. На данной системе продукций строится информационная технология автоматического выполнения

логических выводов и формирования заключений, которая применяется в целом ряде интеллектуальных систем [2, 8]. В качестве ее логической основы использованы концепция и идея построения правил выводов и заключений, которые обозначены обобщающим термином «продукции». Из сетевых технологий выбраны элементы описания знаний в виде семантических сетей.

Правила вывода продукционной модели формируются как цепь рассуждений, оперирующих фрагментами семантических описаний, в результате чего реализуется вывод на знаниях. В общем виде под продукцией понимается пятиместный кортеж

$$\langle I, Q, P, A \rightarrow D, N \rangle,$$

где I – идентификатор продукции; Q – идентификатор области применения продукции; P – предикат предусловия применения ядра продукции; $A \rightarrow B$ – ядро продукции с предикатом антецедента A и предикатом консеквента B; N – процедуры постусловия выполнения продукции.

Продукционная модель представляет собой набор правил вида «условие – правило». Условия представляют собой утверждения о содержимом некоторой базы данных. Действия – это процедуры, которые могут изменять содержимое базы данных. Первая часть продукции – антецедент. Он определяет условия, которые должны быть выполнены в базе данных для разрешения проведения требуемых действий над определенной информацией базы согласно указаниям консеквента этой продукции. Вторая часть продукции – консеквент. Он задает действия, которые должны быть совершены в базе данных над определенной информацией при выполнении условий антецедента. Результаты действий целесообразно размещать в базе данных и тем самым выполнять самообучение системы.

Преимущества продукционной модели, естественность и наглядность выводов делает систему привлекательной для системных аналитиков, при этом подавляющая часть человеческих знаний может

быть приведена к продукционной структуре. Имеет место также гибкость родовидовой иерархии понятий. Системы продукций могут агрегатироваться для обеспечения решения сложных задач, а их объединение с сетевыми представлениями позволяет создавать мощные интеллектуальные системы. Параллельность и асинхронность работы систем продукций обусловливает эффективность их применения на многопроцессорных серверах и майнфреймах.

Нечеткие выводы и заключения. В практику управления внедряются методы и приемы выработки системотехнических решений на основе технологии нечетких выводов и заключений [7–10]. Понятие нечетких выводов связано с теоретическими положениями нечеткой логики (fazzy logic) и нечетких множеств (fazzy set). Они порождены объективными потребностями математической формализации для адекватного построения различных алгоритмов и моделей. Большинство предметов реального мира обладают теми или иными свойствами или признаками не в соответствии с простым бинарным правилом «да» или «нет», а в соответствии с более сложными закономерностями, при которых могут рассматриваться различные уровни или степени обладания предметами этими свойствами и признаками.

Основателем теории нечетких множеств является американский математик азербайджанского происхождения Л. Заде. Положения его теории опубликованы в 1965 году, позднее он сформулировал аксиоматические принципы выполнения операций нечеткой логики. Это научное направление получило существенное развитие в 1975 году в работах английского ученого арабского происхождения Э. Мамдани, который разработал алгоритм практического выполнения нечетких выводов. В дальнейшем аналитиками Сугено и Цукамото были предложены модификации алгоритмов нечетких выводов.

Технология нечетких выводов предполагает использование аппарата нечеткой логики и нечетких множеств. В отличие от положений четкой логики, нечеткая логика оперирует объектами, свойствами,

операциями, событиями, процессами, состояниями, функциями некоторой предметной области, которые можно формально определить как неточные или многозначные понятия (высокоскоростная передача данных, малая вычислительная сложность, значительные ресурсные затраты). Очевидно, что при таком подходе к заданию предметов и явлений они могут принадлежать к тому или иному множеству с различной степенью доверия. В этих условиях теряется смысл четкого утверждения, что предмет или явление принадлежит некоторому множеству. Кроме того, для проведения количественных оценок целесообразно на основе экспертных знаний указать, в какой степени предмет или явление обладает тем или иным классифицирующим свойством или признаком.

Простые нечеткие высказывания – это логические конструкции следующего вида:

$$\langle \beta,\ \alpha \rangle = \langle \beta \text{ есть } (\text{is})\ m\alpha \rangle,$$

где β – наименование лингвистической переменной; α – значение переменной, которому соответствует некоторое нечеткое множество; m – факультативный модификатор, усиливающий или ослабляющий нечеткие свойства и признаки (например, существенно, значительно, более или менее).

Составные высказывания – это логические конструкции, образованные из простых высказываний с помощью союзов и связок:

«ИЛИ (or)», «И (and)», «ЕСЛИ …, ТО ... (if …, then …)»,

«ЕСЛИ ..., ТО..., ИНАЧЕ (if …, then …, else …)».

Построение нечетких логико-лингвистических моделей систем базируется на том, что для описания поведения исследуемой системы применяется вербальная форма представления на естественном (или близком к естественному) языке с использованием терминов лингвистических переменных. В роли лингвистических переменных выступают входные и выходные параметры системы. Качественное описание системных процессов задается совокупностью нечетких

продукционных правил:

$$\{I_g: A_g \rightarrow D_g\}, \quad g = 1, 2, \ldots, k,$$

где I_g – уникальный идентификатор нечеткого правила продукции, выделяющий это конкретное правило из множества других правил; $A_g \rightarrow D_g$ – нечеткое ядро продукции. Совокупность правил образует нечеткую базу знаний системы или часть этой базы.

Основным компонентом нечеткого продукционного правила является ядро $A \rightarrow D$. Как и в случае четких правил продукций секвенция $\rightarrow$ устанавливает факт следования заключения или вывода D (консеквента) из условий A (антецедента). Антецедент A может содержать одно простое нечеткое логическое высказывание или несколько логических высказываний (подусловий), которые между собой соединяются операциями конъюнкции и дизъюнкции. Консеквент D может содержать простое утверждение или пару утверждений (подвыводов), соединенных с помощью операций конъюнкций и дизъюнкций. В правилах возможно также наличие связки ИНАЧЕ (ELSE).

Некоторая совокупность нечетких сложных высказываний имеет вид, который чаще всего применяется при создании качественных описаний систем и их нечетких баз знаний:

$$I_k: \text{если } \langle \beta_1, \alpha_{1ki} \rangle \text{ и/или } \langle \beta_2, \alpha_{2kj} \rangle \text{ и/или } \ldots \text{ и/или } \langle \beta_m, \alpha_{mkr} \rangle,$$

$$\text{то } \langle \delta_1, \varepsilon_{1ka} \rangle \text{ и/или } \langle \delta_2, \varepsilon_{2kb} \rangle \text{ и/или } \ldots \text{ и/или } \langle \delta_n, \varepsilon_{nkv} \rangle,$$

где $\langle \beta_1, \alpha_{1ki} \rangle, \langle \beta_2, \alpha_{2kj} \rangle, \ldots, \langle \beta_m, \alpha_{mkr} \rangle$ – простые высказывания подусловий продукционного правила с номером k; $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_m$ – лингвистические переменные подусловий продукционных правил; α_{1ki}, $\alpha 2kj, \ldots, \alpha mkr$ – нечеткие переменные подусловий продукционных правил, при этом любая нечеткая переменная αmkr соответствует некоторому экспертному выбору из множества значений лингвистической переменной βm в области продукционного правила I_k; $\langle \delta_1, \varepsilon_{1ka} \rangle$, $\langle \delta_2, \varepsilon_{2kb} \rangle, \ldots, \langle \delta_n, \varepsilon_{nkv} \rangle$ – простые высказывания подвыводов продукционного правила I_k; $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$ – лингвистические переменные

подвыводов продукционных правил; $\varepsilon_{1ka}, \varepsilon_{2kb}, \ldots, \varepsilon_{nkv}$ – нечеткие переменные подвыводов продукционных правил, при этом любая нечеткая переменная ε_{nkv} соответствует некоторому экспертному выбору значения лингвистической переменной δ_n в области продукционного правила I_k.

Рассмотренная модель достаточно универсальна, но имеет высокую размерность. Поэтому на практике общая модель упрощается и применяется одна из схем выполнения нечетких выводов. Наиболее часто применяются следующие схемы выполнения нечетких выводов: схемы Мамдани, Цукамото, Сугено – Такаги, Ларсена.

Определение трендов миграции параметров интеллектуальной системы

Под трендом понимают основную тенденцию изменения какого-либо явления и характеризующих его параметров, которая может фиксироваться и распознаваться интеллектуальной системой. Тренды могут задаваться вербально, аналитически и таблично. В любом случае это количественный или качественный временной ряд.

Трендовые модели основаны на допущении о том, что реальные системы обладают некоторой инерционностью, и основные факторы и тенденции прошлого периода наблюдения системных параметров сохраняются на период прогноза, который выполняется с помощью операций корреляционного анализа и экстраполяции. Кроме того, считается, что направление и изменение тенденций в рассматриваемой перспективе можно технически обосновать, выразить с помощью количественных характеристик и учесть при выработке управленческого решения. Эти модели могут давать более надежные результаты прогнозирования, чем сложные математические модели, основанные на системах алгебраических и дифференциальных уравнений, особенно при краткосрочном прогнозировании.

Для эффективного решения системных задач требуется использование специального сенсорного оборудования, алгоритмов высокоскоростной переработки сенсорной информации и процедур контроля над размещением значений критических параметров внутри разрешенных допусковых диапазонов. При этом важнейшее значение имеют интеллектуальные методы оперативного выявления опасных тенденций в возможной миграции значений контролируемых параметров к допусковым границам. Для определения негативной направленности трендов с целью принятия адекватных управленческих решений может быть использован циклический процесс динамического отслеживания временных рядов сенсорных параметров и математический аппарат нечеткой логики с кодовой фаззификацией.

Применение указанных трендовых моделей особенно востребовано при построении наиболее ответственных интеллектуальных систем, работающих в экстремальных условиях, а также в условиях возникновения непредсказуемых ситуаций. В большинстве случаев требуется, чтобы такие интеллектуальные системы функционировали в условиях дефицита информации и времени реализации циклов управления при объективном наличии существенных рисков, в том числе из-за возможных ошибок персонала. Системы рассматриваемой категории оснащаются разветвленным сенсорным и исполнительным оборудованием, а также программным обеспечением для организации интеллектуально обоснованных действий в заранее неопределенных условиях с оперативной оценкой окружающей обстановки и выработки решений для предотвращения катастроф.

В традиционной постановке рассматриваемой задачи требуется в реальном масштабе времени реализовать многошаговый циклический процесс построения траектории по ограниченному числу дискретных измерений текущих координат [11–13]. Следует отметить, что при использовании быстродействующих вычислительных средств

с большими объемами оперативной памяти имеются объективные технические предпосылки для оперативного отслеживания траекторий миграции значений критических параметров и контроля их приближения к границам запрещенных областей. Наращивание арсенала разнообразного электронного оборудования цифровой автоматики и коммуникаций, аппаратно-программных средств обработки информации, обладающих свойствами искусственного интеллекта, позволяют заблаговременно выявлять зарождение аварийно-опасных тенденций в возможной миграции значений критических параметров.

Для семантического описания трендовых моделей системы используются следующие уровни представления информации. На макроструктурном уровне эффективно применение деревьев возможных состояний, которым соответствуют их корневые вершины. Ветви деревьев отражают допустимые и разрешенные экспертами изменения параметров каждого состояния, а также фактические изменения параметров состояний в хронологическом порядке развития системных процессов. Дерево возможных состояний, по сути, отображает «активную» часть концептуальной схемы предметной области системы и учитывает суждения экспертов, их опыт и интуицию.

Концептуальная схема на этапе предварительного анализа задачи позволяет выделить макросостояния $\{Z_v(t)\}$, где $v = 1, 2, \ldots, n$; n – количество макросостояний системы; t – текущее время. Отдельные макросостояния подлежат оценке совокупностями текущих значений контролируемых параметров (характеристик) α внутренних микросостояний, которые трактуются как фазовые координаты вектора $Z_v(t)$:

$$Z_v(t) = [\alpha_{v1}(t), \alpha_{v2}(t), \ldots, \alpha_{vR}(t), \ldots, \alpha_{va}(t), \alpha_{vb}(t), \ldots],$$

где v – указатели микросостояний системы; R – количество критических системных параметров, от значений которых зависит безаварийность процессов.

Значения каждой фазовой координаты соответствуют тем или иным аспектам протекания внешних и внутренних процессов и формируются измерительными трактами на основании сигналов сенсоров. Точность представления контролируемых параметров зависит от чувствительности сенсоров, характеристик трактов измерения, достоверности передачи информации по системным каналам, алгоритмов оцифровки и обработки данных. Состав критических параметров определяется шкалированием мнений экспертов и последующим обобщением экспертных оценок.

На стадии системного анализа целесообразно полагать координаты вектора взаимно независимыми, что соответствует наихудшим условиям оценки энтропии возможных состояний. Для оценки возможных микросостояний по каждому из параметров системы необходимо расчетным или экспертным путем задать пределы (границы) допусков функционирования ($\alpha_{vz\,н}$, $\alpha_{vz\,в}$), где $\alpha_{vz\,н}$, $\alpha_{vz\,в}$ – требуемый нижний и верхний пределы допуска параметра $\alpha_{vz}(t)$ для $z = 1, 2, \ldots, R$.

Исходной информацией для выявления тенденций в изменении параметров являются временные ряды в виде последовательности наблюдений координат случайного вектора $X_v(t)$ в дискретные моменты времени:

$$\{\alpha_{vz}(t) \in (\alpha_{vz\,н}, \alpha_{vz\,в})\}; \quad t = t_0 + k\cdot\Delta t; \quad k = 0, 1, 2, \ldots; \quad \Delta t \le 1/2f_{\max},$$

где $f_{\max}$ – частота дискретизации параметров, значение которой принято в качестве граничного для спектральных разложений координат вектора $Z_v(t)$. В системе предусматривается управляемое увеличение частоты дискретизации параметров в условиях экстренного негативного развития процессов. Значения координат в дискретные моменты времени t образуют k-тые уровни их трендов.

Аппроксимация и сглаживание. В системах организационного и оперативного управления, а также в приборах цифровой автоматики возникают задачи выделения функциональных зависимостей, которые

образованы совокупностью отсчетов тренда некоторого сигнала на фоне помеховой обстановки. В результате воздействия помех различной природы на аппаратуру формирования сигналов происходит их «зашумление». Обычно решение этой задачи рассматривают в двух вариантах.

Первый вариант – это постановка задачи сглаживания тренда. Для последовательности дискретных значений аргумента $X = \{X[k \cdot \Delta t]\}$, $k = 0, 1, 2, \ldots N$ получены значения функции $Y = \{Y[k \cdot \Delta t]\}$, при этом функциональная связь $Y = f(X)$ неизвестна. Необходимо построить некоторую функцию

$$\varphi(X) = \alpha_1\varphi_1(X) + \alpha_2\varphi_2(X) + \ldots + \alpha_{N-1}\varphi_{N-1}(X) + \alpha_N\varphi_N(X),$$

обеспечивающую выполнение условий принципа максимального правдоподобия

$$\sum_{k=0}^{N}\{Y[k \cdot \Delta t] - \varphi[k \cdot \Delta t]\} \to \min .$$

Второй вариант – это постановка задачи многомерной фильтрации в смысле Винера. Для последовательности дискретных значений векторного входного сигнала $X = \{X_i[k \cdot \Delta t]\}$, $i = 1, 2, \ldots, m$ получены значения векторной функции реакции системы $Y = \{Y_j[k \cdot \Delta t]\}$, $j = 1, 2, \ldots, n$. Считается, что входной сигнал и шум являются стационарными процессами. Вектор ошибки системы определяется как разность между действительным векторным выходом системы Y и идеальным выходным вектором Y^*:

$$\varepsilon = Y - Y^*.$$

Необходимо построить матрицу весовых функций W_{nm}, при которой математическое ожидание квадрата нормы вектора ошибок было бы минимальным:

$$M\{||\varepsilon||^2\} \to \min.$$

В общем случае для получения «правдоподобных» решений требуется использование всего набора наблюдений или его значительной части.

В основе первой задачи лежит решение систем алгебраических уравнений относительно коэффициентов α. Порядок систем уравнений определяется количеством отсчетов N, фактически используемых в решении задачи. В качестве функций φ(X) технологически удобны полиномы аргумента X, а также сглаживающие тригонометрические зависимости и комбинации показательных функций. Использование полиномиальных аппроксимаций приводит к наиболее простому и в ряде практических случаев к единственно возможному варианту решения – к системе линейных алгебраических уравнений. В основе второй задачи лежит операция обращения корреляционных матриц. Известна технология ускоренного построения обратных матриц, однако вычислительная сложность процесса определяется количеством фактически используемых в решении отсчетов N и оказывается достаточно высокой. В качестве основного математического аппарата при решении рассматриваемых задач используется всесторонне разработанный аппарат линейной алгебры.

Достаточно часто для замены отрезка решетчатой функции некоторым сплайном применяется процедура интерполяции. Она заключается в восстановлении приближенного вида функциональной зависимости по ограниченному табличному представлению функции. Необходимость и допустимость интерполяции определяет системный аналитик. В ряде случаев возникает задача нахождения значений функции вне заданных строк таблицы, в том числе «чтение таблицы между строк» или вне диапазона значений аргумента. Задача получила название «экстраполяции вперед», если необходимо определить значении функции для $t > t_0 + m_x \cdot \Delta t$, или «экстраполяции назад», если необходимо определить значении функции для $t < t_0 - m_x \cdot \Delta t$.

Прогнозирование развития трендов. Классической задачей анализа трендов в интеллектной технологии является прогнозирование развития контролируемого процесса. Для систем с быстропротекающими

процессами при выработке управленческих решений практическое значение имеют краткосрочные тренды. Для их оперативного выявления целесообразно применение специфической схемы анализа изменений координат векторов $X_v(t)$. Она предполагает использование n-шагового процесса динамического отслеживания отдельных временных рядов $\alpha_{vz}(t)$ контролируемых координат векторов $X_v(t)$ и применение аппарата нечеткой логики для принятия оперативных решений о выявлении трендов на каждом из m последовательных интервалов наблюдения – «скользящих окон» по оси времени тренда. Анализ научно-технических источников и практический опыт построения сложных системотехнических комплексов показывает, что для рассматриваемого случая наиболее приемлемы значения n и m не выше, соответственно, 3 и 5, поскольку их увеличение не приводит к существенному повышению точности прогноза из-за эффекта «старения сведений» временного ряда и быстрого ослабления влияния предыстории на актуальные значения параметров.

За основу выработки решений могут быть приняты результаты линейного аналитического сглаживания фактических измерений параметра $\alpha_{vz}(t)$ в четырех смежных отсчетах:

$$\alpha_{vz}(t_i);\ \alpha_{vz}(t_{i+1});\ \alpha_{vz}(t_{i+2});\alpha_{vz}(t_{i+3});$$

$$\alpha_{vz}(t_{i+1});\ \alpha_{vz}(t_{i+2});\ \alpha_{vz}(t_{i+3});\ \alpha_{vz}(t_{i+4});\ \alpha_{vz}(t_{i+2});\ \alpha_{vz}(t_{i+3});\ \alpha_{vz}(t_{i+4});\ \alpha_{vz}(t_{i+5}).$$

Процесс аналитического сглаживания фактических измерений координаты α_{vz} вектора Z_v выполняется при условии, что ошибки измерений распределены по нормальному закону со среднеквадратичным отклонением σ_{vz}. Для сглаживания выбраны четыре смежных отсчета потому, что это минимальное количество отсчетов, которое позволяет достаточно обоснованно выявить локальную тенденцию целенаправленной миграции значений параметра $\alpha_{vz}(t)$. При использовании метода линейного аналитического сглаживания на

интервале времени (t_i, $t_{i+3} = t_i + 3\cdot\Delta t$) сглаживающая зависимость будет иметь следующий вид [14]:

$$A_{vz}(t_i, t) = [K_{t\alpha}/D_t]t + M_\alpha - [K_{t\alpha}/D_t]M_t.$$

Оптимальные коэффициенты данного выражения выводятся на основе метода наименьших квадратов, при этом расчеты среднего значения M_t и дисперсии D_t времени t, дисперсии координаты M_α и коэффициента корреляции $K_{t\alpha}$ могут производиться с помощью простых и коротких по времени операций:

$$M_t = t_i + 1{,}5\cdot\Delta t; \quad D_t = 1{,}25\cdot\Delta t^2;$$

$$M_\alpha = [\alpha_{vz}(t_i) + \alpha_{vz}(t_i + \Delta t) + \alpha_{vz}(t_i + 2\cdot\Delta t) + \alpha_{vz}(t_i + 3\cdot\Delta t)]/4;$$

$$K_{t\alpha} = \Delta t[-0{,}375\alpha_{vz}(t_i) -$$

$$0{,}125\alpha_{vz}(t_i + \Delta t) + 0{,}125\alpha_{vz}(t_i + 2\cdot\Delta t) + 0{,}375\alpha_{vz}(t_i + 3\cdot\Delta t)].$$

Если локальная тенденция действительно имеет место и отражается сглаживающей зависимостью $A_{vz}(t_i, t)$, то при нормальном распределении ошибок измерений каждое из значений $\alpha_{vz}(t_i)$; $\alpha_{vz}(t_{i+1})$; $\alpha_{vz}(t_{i+2})$; $\alpha_{vz}(t_{i+3})$ с вероятностью не ниже $p = 0{,}997$ должно находиться внутри зоны тренда

$$\alpha_{vz}(t) \in A_{vz}(t) = A_{vz}(t_i, t) \pm 3\sigma_{vz}.$$

Этот признак целесообразно использовать в качестве критерия выявления локальной тенденции нарастания ($K_{t\alpha} > 0$), убывания ($K_{t\alpha} < 0$) или слабой изменчивости (флэта). Сглаживающая зависимость $A_{vz}(t_i, t)$ может эффективно использоваться для прогнозирования развития процесса в ближайшем будущем.

Алгоритмы цифровой обработки решетчатых функций

При создании интеллектуальных систем, а также при решении задач с использованием интеллектных технологий возникает проблема табулирования функциональных зависимостей, то есть преобразования на смыслоразличительном уровне различных сведений и данных (в том числе экспериментальных и экспертных) в табличные конструкции, которые допускают последующую цифровую обработку. Кроме того, достаточно часто требуется выполнять обратное воспроизведение

аналитических представлений тех или иных зависимостей по табличным данным.

Опыт практического создания различных систем показывает, что при обеспечении процессов обработки данных с использованием цифровой вычислительной техники явным универсализмом и технологическими преимуществами обладают табличные способы задания функциональных связей и логико-расчетные схемы целенаправленного преобразования информации.

Поскольку в интеллектуальных системах применяется преимущественно дискретная модель развития процессов во времени, то для последовательности дискретных значений аргумента (например, отсчетов времени) $\{t = k\cdot\Delta t\}$, $k = 0, \pm1, \pm2, \ldots$ формируются дискретные последовательности значений функций изменения требуемых системных характеристик и параметров (физических величин): входных, выходных и внутренних. В ряде случаев, по сути дела, задаются или могут использоваться отрезки трендов факторных переменных, реакций системы и внутренних состояний:

$$\{X(_{k\cdot\Delta t})\},\quad \{Y(_{k\cdot\Delta t})\},\quad \{Z(_{k\cdot\Delta t})\},\quad k = 0, \pm1, \pm2, \ldots$$

При $\Delta t = \text{const}$ такие функции называются решетчатыми изображениями соответствующих непрерывных функций $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ или решетчатыми функциями. Переход от непрерывных оригиналов к решетчатым образам требует соблюдения определенных условий, гарантирующих адекватное выполнение обратных преобразований. Кроме того, решетчатые образы обладают рядом специфических особенностей организации их непосредственной цифровой обработки.

Теорема Котельникова. Возможность представления непрерывных функций ее дискретными отсчетами была обоснована В. А. Котельниковым (СССР) в 1933 году. В соответствии с этой теоремой любая непрерывная функция, ограниченная по спектру верхней частотой $f_в$, полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчетов, взятых через промежуток времени $\Delta t_д \le 0{,}5\cdot f_в^{-1}$. В

соответствии с этим частота следования дискретных отсчетов сигнала (частота дискретизации $f_д$) должна удовлетворять условию $f_д = 1/\Delta t_д \geq 2f_в$.

При создании интеллектуальных систем нормативно-технические документы, регламентирующие стадии и этапы их разработки, предусматривают проведение научно-исследовательских работ, в том числе для предварительных исследований источников и процессов поступления в систему всех типов используемой информации, размахов амплитуд изменения физических величин, их частотных свойств с оценкой $f_в$, $f_д$, интервалов времени накопления и обработки данных. На стадии исследования физических величин важнейшее системотехническое значение имеет оценка верхних частот их спектров $f_в$.

Конечной апериодической функции $F(t)$ соответствует бесконечный спектр, а бесконечной периодической функции – конечный спектр. Соответствие между величинами отсчетов функций на некотором интервале времени $T = (2l - 1)\cdot\Delta\tau$ ($2l$ – количество отсчетов; $\Delta\tau$ – шаг по времени при исследовании функции) и средней мощностью Ω в спектре сигнала на этом интервале устанавливает теорема Релея и соотношение Парсеваля. Из этой теоремы вытекает важное практическое следствие: если разложение в ряд Фурье непрерывной функции секвестировано и ограничено ρ членами, то на интервале $[0, (2l - 1)\cdot\Delta\tau]$ суммарная квадратичная ошибка ε_Ω энергетического баланса будет удовлетворять следующему соотношению:

$$\varepsilon_\Omega = \Omega - \frac{a_0^2}{4} - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{\rho} A_i^2, \quad \Omega = [1/(2l-1)]\sum_{k=0}^{2l-1}\left|F_{(k\cdot\Delta\tau)}\right|^2.$$

Таким образом, может быть записано энергетическое соотношение между суммой квадратов уровней значений функции в точках отсчетов $\{F(k\cdot\Delta\tau)\}$, $k = 0, 1, 2, \ldots, 2l - 1$ и суммой квадратов амплитуд

гармонических составляющих A_i разложения дискретизированной по времени функции в ряд Фурье:

$$\frac{a_0^2}{4}+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{i_в}A_i^2=(1-\varepsilon_\Omega)\cdot\left\{[1/(2l-1)]\sum_{k=0}^{2l-1}\left|F_{(k\cdot\Delta\tau)}\right|^2\right\},$$

где ε_Ω – допустимый уровень рассогласования энергетического баланса при анализе конечной апериодической функции (обычно выбирается на уровне 0,005–0,01), $i_в$ – номер гармонической составляющей в разложении Фурье с круговой частотой $i_в\cdot 2\pi/[(2l-1)\cdot\Delta\tau]$, при которой начинает выполняться указанное соотношение. Верхняя частота будет определяться значением $f_в = i_в/[(2l-1)\cdot\Delta\tau]$. Уменьшение допустимого уровня рассогласования энергетического баланса в общем случае повышает точность представления непрерывной функции с помощью ее дискретных отсчетов, но требует соответствующего повышения частоты дискретизации по времени.

Количество используемых уровней квантования определяет точность представления значений непрерывной функции, при этом каждому уровню приписывается определенный двоичный или троичный код. Если применяется двоичное кодирование при длине кодовых комбинаций в r бит, то общее количество уровней квантования будет равно значению 2^r. Предположим, что размах амплитуды изменения физических величин определяется парой значений (F_{min}, F_{max}), а каждому текущему значению функции назначается код ближайшего к нему уровня квантования. При этих условиях цена младшего разряда кодового представления будет соответствовать некоторому значению

$$\Delta F = (F_{max} - F_{min})/2^r.$$

Код уровня любой амплитуды непрерывной функции после ее квантования является целым двоичным числом. Кодирование по уровням требует принятия соглашения по шкале отсчетов. Достаточно удобно в качестве нуля шкалы отсчетов использовать значение F_{min}. Тогда кодовое представление любого значения F будет соответствовать значению

$$K_F = \text{Ant}[(F - F_{min})/\Delta F],$$

где Ant – целочисленная функция Антье. Возможен также иной выбор нуля шкалы. При необходимости введения знака кода используется его старший (крайний слева) бит.

Имеются объективные ограничения в увеличении количества разрядов. Физически в аналого-цифровых и дискретно-цифровых преобразователях можно установить любое количество разрядов, но достоверность представляемой информации будет допустимой лишь в том случае, если суммарные инструментальные погрешности преобразования не превышают 30–50% цены младшего разряда. Поэтому не все разряды имеют одинаковую информативность, и некоторая их часть оказывается «лишней». Реальные преобразователи имеют нелинейности, гармонические искажения, зоны нечувствительности, «дрожание» фронтов и уровней эталонных сигналов (так называемый «джиттер»), нестабильность.

Цифровые интегральные преобразования информации в интеллектуальной системе

Цифровые интегральные преобразования дискретной информации образуют самостоятельный раздел процедурных знаний интеллектуальных систем обработки сигналов различной природы. Основной принцип перехода от аналитических действий к определенным последовательностям арифметических операций заключается в применении методов и приемов численного интегрирования и дифференцирования. В связи с этим результаты цифровых преобразований исходно несут методическую погрешность. К ней добавляется инструментальная погрешность, обусловленная округлениями при использовании процессоров и средств цифровой автоматики с ограниченной длиной разрядной сетки.

Вычисление сверток. В процессе функционирования систем оперативного управления и приборов цифровой автоматики входные данные поступают в аппаратуру в виде m-мерных векторов $X = \{X_{i(t)}\}$,

$i = 1, 2, \ldots, m$. Отдельные координаты $X_{i(t)}$ являются системными информационными аналогами реальных сигналов и представляют собой непрерывные функции времени. Для линейных систем, в которых непосредственно выполняется принцип суперпозиции, а также для областей искусственной линеаризации нелинейных систем, требуемые функциональные преобразования $\{w_{i(t)}\}$, $i = 1, 2, \ldots, m$ координат m-мерных векторов обеспечиваются путем реализации сверток

$$Y_i[X_i(t), w_i(t), t] = X_i(t) \cdot w_i(t) = \int_0^t X_i(t-u) \cdot w_i(u) du,$$

где $Y_i[X_i(t), w_i(t), t]$ – функция локальной реакции системы на сигнал $X_i(t)$, то есть результат интегрального преобразования этой координаты вектора сигналов в соответствии с уникальной импульсной характеристикой (весовой функцией) $w_i(t)$ системы.

Если $X_i(p)$, $W_i(p)$, $Y_i(p)$ – изображения по Лапласу соответствующих функций $X_i(t)$, $w_i(t)$, $Y_i[X_i(t), w_i(t), t]$, то из закона построения изображения свертки вытекает операторное уравнение

$$Y_i(p) = X_i(p) \cdot W_i(p).$$

Требуется, чтобы каузальная и физически реализуемая система обладала причинной взаимообусловленностью событий во времени и была устойчивой. Последнее означает, что все ее импульсные характеристика по всем каналам поступления и функционального преобразования координат сигнального вектора должны удовлетворять условию абсолютной интегрируемости

$$\left\{ \int_{-\infty}^{\infty} |w_i(t)| dt < \infty \right\}.$$

Это так называемые системы с конечными импульсными характеристиками (КИХ). В ряде случаев применяют искусственное секвестирование импульсных характеристик путем отсечения их малозначащих «хвостовых» частей. Секвестированные импульсные характеристики всегда конечны.

Введение в системы цифровых аппаратных и программных средств функционального преобразования информации предполагает организацию дискретизированной по времени обработки результатов наблюдений текущих объемно-временных параметров вещества, энергии и информации, параметров состояний объекта управления и системы, а также параметров воздействия внешней среды $X = \{X_i(k, \Delta t), k = 0, 1, 2, 3, \ldots\}$, где k – номер текущего наблюдения или отсчета параметров, Δt – шаг поступления по времени значений отсчетов в систему.

Допустим, что рассматривается процесс дискретизированного по времени функционального преобразования данных одной из векторных координат:

$$X(k, \Delta t) \in \{X_i(k, \Delta t)\},$$

при этом используются отсчеты импульсной характеристики

$$w(k, \Delta t) \in \{w_i(k, \Delta t)\}.$$

Дискретизированный по времени процесс численного интегрирования обеспечивает интегральное функциональное преобразование и реализуется с помощью так называемой дискретной свертки:

$$Y(k, \Delta t) = \Delta t \sum_{q=-\infty}^{\infty} X(q-k, \Delta t)\, w(q, \Delta t).$$

Для физически реализуемых систем и сигналов с постоянным шагом поступления по времени значений отсчетов в систему $\Delta t = \text{const}$ в аргументах системных функций шаг Δt обычно опускают, приводя их к решетчатой форме с целочисленным аргументом в виде номера отсчета: $X_i[k]$, $w_i[k]$, $G_i[k]$, $Y_j[k]$. В области отрицательных значений времени величины сигналов и значения импульсных характеристик не определены, что позволяет полагать для $k < 0$: $X[k] = 0$, $w[k] = 0$, а также $w[q - k] = 0$ при $q > k$. Таким образом, с учетом свойства коммутативности свертки выражения для вычисления дискретных сверток принимают следующий вид:

$$Y[k] = \sum_{q=0}^{k} X[q-k]\, w[q] = \sum_{q=0}^{k} X[q]\, w[q-k].$$

Такие свертки называют линейными. Если сигнал $X[k]$ представляется решетчатой функцией с N_X отсчетами, а секвестированная импульсная характеристика системы – решетчатой функцией $w[k]$ с M_w отсчетами, то их линейная свертка будет представлена решетчатой функцией $Y[k]$ с $N_X + M_w - 1$ отсчетами [15].

При решении ряда задач, например, при периодической фильтрации сигнальных последовательностей, применяют специальный вид так называемых круговых сверток.

Корреляция. Корреляция занимает существенное место в технологиях обеспечения работы интеллектуальных систем. Вычисление корреляции позволяет определять наличие некоторой последовательности дискретных значений $\{X[k]\}$, $k = 0, 1, 2, \ldots, N_X - 1$ в составе другой последовательности $\{Y[k]\}$, $k = 0, 1, 2, \ldots, M_Y - 1$. Для этого используется «временное окно» протяженностью $\Delta t \cdot N_X$, которое «скользит» по контролируемой последовательности $\{Y[k]\}$. При каждом наложении последовательностей вычисляется и оценивается скалярное произведение вектора $\{X[k]\}$ и соответствующего вектора – вырезки из последовательности $\{Y[k]\}$. Корреляция может выступать в качестве меры сходства двух последовательностей.

Корреляция является математическим инструментом для выполнения ряда процедур системного анализа, в том числе:

- детектирования и идентификации сигналов в шумах;
- анализа случайных процессов, выявления неслучайных составляющих и оценки неслучайных параметров;
- расчета спектральной плотности энергии и энергетического содержимого сигналов;
- обработки изображений и результатов дистанционного зондирования пространства;

- обращение сверток с целью восстановления отсчетов сигналов по отсчетам реакций системы и решетчатым импульсным характеристикам.

Анализ показывает, что вычисление сверток – это, по сути, вычисление корреляции двух дискретных последовательностей, одна из которых обращена по времени. Процедуры вычисления сверток и корреляций имеют единое алгоритмическое ядро. В общем случае

$$K_{X,Y}[q] = (1/N)\sum_{k=0}^{N} X[k]\cdot Y[k-q].$$

где N – количество отсчетов во «временном окне» оценки корреляции; q – шаг смещения последовательностей относительно друг друга (в частном случае $q = 0$).

Автокорреляционная функция позволяет исследовать внутреннюю корреляцию сигналов, представленных в виде решетчатых функций, при этом

$$K_{X,X}[q] = (1/N)\sum_{k=0}^{N} X[k]\cdot X[k-q].$$

При $q = 0$ полученное выражение

$$K_{X,X}[0] = (1/N)\sum_{k=0}^{N^2}\{X[k]\}.$$

определяет нормированную энергию сигнала и позволяет производить расчет энергии сигнала по результатам его дискретных наблюдений.

Разложение в ряд Фурье дискретизированного по времени сигнала с использованием схемы Бесселя. Рассмотрим известное разложение функции $f(t)$ в ряд Фурье

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty}\left(a_i \cos\frac{2\pi i}{T}t + b_i \sin\frac{2\pi i}{T}t\right).$$

Предположим, что в систему в виде отсчетов с интервалами Δt поступает входной сигнал

$$\{X[k]\},\quad k = 0, 1, 2, \ldots, N_X,$$

где N_X – четное число; $N_X = 2l$. Для выполнения гармонического анализа численными методами может быть использовано разложение в ряд Фурье дискретизированного по времени сигнала по схеме Бесселя.

Априорно будем полагать, что исходная решетчатая функция удовлетворяет условиям Дирихле и указанное разложение относится только к интервалу времени $T = 2l \cdot \Delta t$. Количество интервалов четное. В соответствии со схемой Бесселя для численного нахождения значений определенных интегралов, задающих коэффициенты разложения, применяется интегрирование по методу правосторонних прямоугольников, при этом

$$a_0 = \frac{1}{l}\sum_{k=1}^{2l-1} X[k]; \quad a_i = \frac{1}{l}\sum_{k=1}^{2l-1} X[k]\cos\frac{\pi ki}{l}; \quad b_i = \frac{1}{l}\sum_{k=1}^{2l-1} X[k]\sin\frac{\pi ki}{l}.$$

Формулы Бесселя непосредственно вытекают из исходных интегральных форм. Аргументы в тригонометрических функциях преобразуется в дискретное представление с учетом $T = 2l \cdot \Delta t$, $t = k \cdot \Delta t$.

Выражения для коэффициентов преобразуем следующим образом:

$$A_i = (a_i^2 + b_i^2)^{1/2}; \quad a_i/A_i = \cos\gamma; \quad b_i/A_i = \sin\gamma; \quad \omega_0 = 2\pi/T,$$

$$X(t) \approx a_0/2 + \sum_{i=1}^{r} A_i[\cos(i\,\omega_0 t)\cdot\cos\gamma_i + \sin(i\,\omega_0 t)\cdot\sin\gamma_i].$$

Так как $\cos\alpha\cdot\cos\beta + \sin\alpha\cdot\sin\beta = \cos(\alpha - \beta)$, то

$$X(t) \approx a_0/2 + \sum_{i=1}^{r} A_i\cos[(i\,\omega_0 t) - \gamma_i], \quad \gamma_i = \operatorname{arctg}(b_i/a_i).$$

Данное выражение содержит постоянную составляющую и набор гармонических составляющих, амплитуды которых образуют амплитудно-частотный линейчатый спектр

$$\{A_i(i\omega_0)\}, \quad i = 1, 2, \ldots, r.$$

Теорема Парсеваля и ее следствие. Теорема Парсеваля устанавливает соответствие между величинами отсчетов сигнала на определенном интервале времени и средней мощностью в спектре сигнала на этом интервале времени. Мощностью периодического сигнала Ω называется среднее (за период) значение квадрата модуля сигнала:

$$\Omega = (1/T)\int_0^T |X(t)|^2 dt = a_0^2/4 + (1/2)\sum_{i=1}^{\infty}(a_i^2 + b_i^2) = a_0^2/4 + (1/2)\sum_{i=1}^{\infty} A_i^2 .$$

Из указанной теоремы вытекает важное практическое следствие. Если разложение Фурье секвестировано и ограничено r членами, то на интервале $(0, T)$ суммарная квадратичная ошибка ε будет удовлетворять следующему соотношению:

$$\Omega = [1/(2l-1)\cdot\Delta t]\sum_{k=0}^{2l-1}|X(k\cdot\Delta t)|^2 \cdot\Delta t = a_0^2/4 + (1/2)\sum_{i=1}^{r} A_i^2 + \varepsilon;$$

$$\varepsilon = [1/(2l-1)]\sum_{k=0}^{2l-1}|X(k\cdot\Delta t)|^2 - a_0^2/4 - (1/2)\sum_{i=1}^{r} A_i^2 .$$

Таким образом, значение ε можно считать мерой среднеквадратичной ошибки, допускаемой при замене ряда Фурье его секвестированной частью.

Дискретное преобразование Фурье. Прямое и обратное преобразования Фурье задаются следующими интегральными соотношениями:

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t)e^{-j\omega t}dt; \quad X(t) = (1/2\pi)\int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega)e^{j\omega t}d\omega .$$

Функция комплексного аргумента $S(j\omega)$ может быть интерпретирована как спектральная плотность, с которой комплексные амплитуды гармонических составляющих функции $X(t)$ непрерывно распределены по оси частот ω. Между коэффициентами разложения в ряд Фурье функции $X(t)$ и ее спектральной плотностью $S(j\omega)$ существует определенная связь: модуль $|S(j\omega)|$ спектральной плотности $S(j\omega)$, отображая непрерывный спектр функции $X(t)$, является огибающей линейчатого спектра.

Рассмотрим представление сигнала во временной области в виде решетчатой функции $\{X[k]\}$, $k = 0, 1, 2, \ldots, N_X$. Прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ) на интервале времени $T = N_X\cdot\Delta t$ переводит представление сигнала в частотную область. Известны различные схемы доказательных рассуждений и математических технологий, которые

приводят к соотношениям для прямого и обратного преобразований Фурье [16]. Применение метода численного интегрирования – замена первого интеграла на интервале $(0, T)$ суммой право-сторонних прямоугольников при $2\pi/T = 2\pi/(N_x \cdot \Delta t) = \omega_0 = \Delta\omega$. Результат интегрирования при вычислении плотности $S[j(n\omega_0)]$ с общей длиной интервала времени T имеет вид:

$$S[j \cdot (n \cdot \omega_0)] = [(\Delta t / N_x \cdot \Delta t)] \sum_{k=0}^{N_X - 1} X[k \cdot \Delta t] \cdot \Delta t \cdot e^{-[j \cdot n \cdot (2\pi / N_X \cdot \Delta t) \cdot k \cdot \Delta t]} =$$

$$= (1/N_x) \sum_{k=0}^{N_X - 1} X[k \cdot \Delta t] \cdot e^{-j \cdot (2\pi \cdot n \cdot k / N_X)}.$$

Аналогичным образом выполним замену второго интеграла суммой правосторонних прямоугольников при тех же условиях и учтем общую длину интервала времени T:

$$X(k \cdot \Delta t) = [1/(2\pi)] \sum_{n=0}^{N_X - 1} S[j \cdot (n \cdot \omega_0)] \cdot \Delta\omega \cdot e^{j \cdot (2\pi \cdot n \cdot k)/N_X)} =$$

$$= [1/(N_X \cdot \Delta t)] \sum_{n=0}^{N_X - 1} S[j \cdot (n \cdot \omega_0)] \cdot e^{j \cdot (2\pi \cdot n \cdot k)/N_X)}.$$

В ряде случаев применяются иные формы представления прямого и обратного преобразований Фурье, которые сохраняют формульное ядро под знаком суммы, но имеют различные коэффициенты масштабирования этой суммы [17].

Спектральная плотность $S[n]$ представляет собой частотный выход ДПФ в n-ой точке спектра, при этом n находится в диапазоне от 0 до $N_X - 1$. Значение N_X соответствует числу отсчетов входного сигнала при вычислении ДПФ. Решетчатая функция $X[k]$ отображает k-тые отсчеты сигнала во временной области, а k также находится в диапазоне от 0 до $N_X - 1$. В приведенных соотношениях величина $X[k]$ может быть вещественной или комплексной.

Выходной спектр ДПФ является результатом вычисления свертки между выборкой, состоящей из входных отсчетов сигнала во временной области, и набором из N пар гармонических базисных функций (синусов

и косинусов).

Существует два основных типа дискретного преобразования Фурье: вещественное и комплексное. Приведенные соотношения в общем случае описывают комплексное ДПФ, в котором входные и выходные величины являются комплексными числами. Вещественное преобразование Фурье является частным случаем комплексного ДПФ; как в формульном представлении, так и в отношении объемов вычислений, оно значительно проще комплексного ДПФ.

ДПФ находит широкое практическое применение в цифровом спектральном анализе при построении анализаторов спектров и обеспечении обработки сложных сигналов, а также в технике автоматического анализа и обработки изображений и распознавания образов. Особое научно-техническое направление образуют методы проектирования фильтров, технологии вычисления импульсных характеристик по частотным параметрам и построения частотных характеристик по импульсным параметрам.

Решение многих задач основывается на быстром преобразовании Фурье, которое представляется определенными совокупностями алгоритмов для эффективного вычисления дискретного преобразования Фурье.

Быстрое преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье (БПФ) является алгоритмом для ускоренного вычисления ДПФ путем сокращения требуемого числа операций умножения и сложения. Рассматриваемое преобразование предложено Кули и Таки (J. W. Cooley и J. W. Tukey) в 60-х годах XX века и фактически является открытием заново идеи Гаусса. Именно в его работах содержится первое упоминание идеи ускорения вычислительного процесса [17].

Введем следующее обозначение:

$$W_N = e^{-j2\pi/N_X}.$$

Это позволяет определить так называемые коэффициенты поворота

(или поворачивающие множители):

$$W_{N_X}^{nk} = e^{-j2\pi nk/N_X}.$$

Коэффициенты поворота представляют собой базисные гармонические функции, записанные в экспоненциальной форме. Они обладают свойствами симметричности и периодичности, которые проверяются прямой подстановкой значений $N_X/2$ и N_X в выражение для $W_{N_X}^{nk}$:

$$W_{N_X}^{r+N_X/2} = -W_{N_X}^{r}; \quad W_{N_X}^{r+N_X} = W_{N_X}^{r}.$$

Это позволяет построить соотношения для четных N_X, которые отражают динамику поворотов. Например, при $N_X = 8$ имеем:

$W_8^0 = 1$; $W_8^2 = [2^{1/2}/2]\cdot(1-j)$; $W_8^3 = [2^{1/2}/2]\cdot(-1-j)$; $W_8^4 = W_8^{0+4} = -W_8^0 = -1$;
$W_8^5 = W_8^{1+4} = -W_8^1$; $W_8^6 = W_8^{2+4} = -W_8^2$; $W_8^7 = W_8^{3+4} = -W_8^3$; $W_8^8 = W_8^{0+8} = +W_8^0 = +1$;
$W_8^9 = W_8^{1+8} = +W_8^1$; $W_8^{10} = W_8^{2+8} = +W_8^2$; $W_8^{11} = W_8^{3+8} = +W_8^3$ и так далее.

Схемы вычисления ДПФ с прореживанием по частоте и по времени для $N_x = 8$ приведены в таблицах, соответственно, 1 и 2. Они составлены из конечных выражений для расчета комплексных значений спектральных составляющих.

Таблица 1

Схема вычисления ДПФ с прореживанием по частоте

$S[0] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^0 + X[2]W_8^0 + X[3]W_8^0 + X[4]W_8^0 + X[5]W_8^0 + X[6]W_8^0 + X[7]W_8^0$
$S[1] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^1 + X[2]W_8^2 + X[3]W_8^3 + X[4]W_8^4 + X[5]W_8^5 + X[6]W_8^6 + X[7]W_8^7$
$S[2] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^2 + X[2]W_8^4 + X[3]W_8^6 + X[4]W_8^8 + X[5]W_8^{10} + X[6]W_8^{12} + X[7]W_8^{14}$
$S[3] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^3 + X[2]W_8^6 + X[3]W_8^9 + X[4]W_8^{12} + X[5]W_8^{15} + X[6]W_8^{18} + X[7]W_8^{21}$
$S[4] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^4 + X[2]W_8^8 + X[3]W_8^{12} + X[4]W_8^{16} + X[5]W_8^{20} + X[6]W_8^{24} + X[7]W_8^{28}$
$S[5] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^5 + X[2]W_8^{10} + X[3]W_8^{15} + X[4]W_8^{20} + X[5]W_8^{25} + X[6]W_8^{30} + X[7]W_8^{35}$
$S[6] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^6 + X[2]W_8^{12} + X[3]W_8^{18} + X[4]W_8^{24} + X[5]W_8^{30} + X[6]W_8^{36} + X[7]W_8^{42}$
$S[7] = X[0]W_8^0 + X[1]W_8^7 + X[2]W_8^{14} + X[3]W_8^{21} + X[4]W_8^{28} + X[5]W_8^{35} + X[6]W_8^{42} + X[7]W_8^{49}$

Таблица 2

Схема вычисления ДПФ с прореживанием по времени

$S[0] = X[0] + X[4]W_8^0 + \{X[2] + X[6]W_8^0\}W_8^0 + X[1] + X[5]W_8^0 + \{\{X[3] + X[7]\}W_8^0\}W_8^0$
$S[1] = X[0] - X[4]W_8^0 + \{X[2] - X[6]W_8^0\}W_8^0 + X[1] - X[5]W_8^0 + \{\{X[3] - X[7]\}W_8^0\}W_8^2$
$S[2] = X[0] + X[4]W_8^0 - \{X[2] + X[6]W_8^0\}W_8^0 + X[1] + X[5]W_8^0 - \{\{X[3] + X[7]\}W_8^0\}W_8^0$
$S[3] = X[0] - X[4]W_8^0 - \{X[2] + X[6]W_8^0\}W_8^2 + X[1] - X[5]W_8^0 - \{\{X[3] - X[7]\}W_8^0\}W_8^2$
$S[4] = X[0] + X[4]W_8^0 + \{X[2] + X[6]W_8^0\}W_8^0 - \{X[1] + X[5]W_8^0 + \{X[3] + X[7]\}W_8^0\}W_8^0$
$S[5] = X[0] - X[4]W_8^0 + \{X[2] - X[6]W_8^0\}W_8^0 - \{X[1] - X[5]W_8^0 + \{X[3] - X[7]W_8^0]\}W_8^2\}W_8^1$
$S[6] = X[0] + X[4]W_8^0 - \{X[2] + X[6]W_8^0\}W_8^0 - \{X[1] + X[5]W_8^0 - \{X[3] + X[7]W_8^0]\}W_8^0\}W_8^2$
$S[7] = X[0] - X[4]W_8^0 - \{X[2] - X[6]W_8^0\}W_8^0 - \{X[1] - X[5]W_8^0 - \{X[3] - X[7]W_8^0]\}W_8^2\}W_8^3$

Примечания:

- в схемах вычисления ДПФ не отражено умножение на масштабный коэффициент $1/N_X$;
- указанные схемы предусматривают N_X^2 операций умножения / сложения с комплексными числами.

Помехоустойчивое кодирование транзакций в интеллектуальных технических системах

При построении интеллектуальных систем различного функционального назначения, систем административного и оперативного управления, а также приборов цифровой автоматики с интеллектуальными компонентами достаточно часто возникает необходимость дистанционного получения фактографических данных от источников информации и последующего доведения сформированных приказов и команд управления до исполнительных органов. С этой целью разработчикам систем приходится использовать разнообразные

физические системы передачи данных, в том числе проводные воздушные линии, кабельные и волоконно-оптические линии, наземные и спутниковые радиоканалы. Полноценная интеллектуальная поддержка процессов обмена достоверной информацией может быть реализована только с помощью многофункциональных программных средств. Методы и алгоритмы преобразования данных на передающей и принимающей сторонах линии передачи зависят от значений определенных технических показателей качества используемых каналов. К ним относятся амплитудно-частотные характеристики, полосы пропускания, канальные затухания, перекрестные наводки на ближних (передающих) сторонах линий, помехоустойчивость, пропускная способность, достоверность.

Дискретная информация при ее передаче по реальным каналам, в той или иной мере подвергается искажениям и сопровождается появлением битовых ошибок. Без применения специальных информационно-технических методов и приемов всякая ошибка, приводящая к инвертированию значения любого бита или группы битов, превращает одно разрешенное двоичное слово в другое разрешенное двоичное слово. Из теоремы К. Шеннона следует, что для придания кодам свойств обнаружения и, тем более, исправления возможных ошибок необходимо создание определенных условий, при которых не все возможные двоичные комбинации будут считаться разрешенными. Естественным путем решения этой задачи является введение в коды избыточных битов, значения которых определяются в зависимости от характеристик используемого канала передачи данных, от требований к обнаружению и исправлению ошибок определенной кратности, а также от принятых правил построения кода. Такой код называется избыточным или корректирующим.

Теоретическим фундаментом создания ряда математических и прикладных моделей, построения систем помехоустойчивого

кодирования дискретной информации и систем шифрования служит абстрактная алгебра. Основным предметом изучения абстрактной алгебры являются алгебраические операции, структурные образования и их свойства. Выявляемые в связи с этим абстрактные алгебраические закономерности достаточно универсальны и могут быть использованы как в различных областях фундаментальной и прикладной математики, так и в теории создания интеллектуальных систем технического назначения. Особую роль в вопросах построения систем помехоустойчивого кодирования играют конечные поля (поля Галуа) и векторные пространства над скалярными полями.

В теории и практике помехоустойчивого кодирования известно множество корректирующих кодов, которые могут быть классифицированы по наборам определенных признаков (рис. 3). Принципиальное значение имеет разделение кодов по способу формирования контрольных позиций на блочные (блоковые) и непрерывные.

Для описания процессов кодирования и декодирования как блочных, так и непрерывных кодов применяются определенные математические приемы и алгоритмы. Коды, задание которых основывается на аппарате линейной алгебры, прежде всего теории матриц и методах их преобразований, относят к категории линейных. Формирование нелинейных кодов производится с применением нелинейных процедур, что в ряде случаев позволяет синтезировать указанные коды с рядом специальных свойств.

Рис. 3. Схема классификации корректирующих кодов

Во всех случаях помехоустойчивое кодирование и декодирование связано с аппаратно-программной реализацией взаимных и однозначных отображений исходных кодовых векторов в векторы помехоустойчивого кода и последующих обратных отображений. Именно при прямом отображении на передающей стороне закладываются информационные механизмы, которые обеспечивают условия для выявления и корректировки ошибок, возникающих при передаче данных по каналу. Фактическое использование этих информационных механизмов осуществляется на приемной стороне при декодировании данных.

Важнейшей проблемой является обеспечение высокоскоростного кодирования и декодирования дискретной информации при заданном уровне достоверности. Коды Хемминга, Боуза–Чоудхури–Хоквингема, Рида–Соломона, Файра и другие были разработаны совместно с алгоритмами декодирования. Многие из них вошли в научно-технические источники под именами авторов, которые изучали структурные свойства соответствующих кодов.

Коды могут относиться к категориям систематических и несистематических. Блочные систематические коды всегда имеют постоянную длину блока n и постоянное количество избыточных контрольных битов r. Избыточные контрольные биты занимают фиксированные, одни и те же позиции во всех кодовых комбинациях.

В интеллектуальных системах возможны следующие варианты организации процессов передачи и приема данных:

- использование для представления данных двоичных кодовых блоков (кодовых комбинаций) длиною (объемом) в k бит:

$$\leftarrow \textit{направление возрастания двоичных весов}$$
$$b_{k-1} \quad b_{k-2} \quad \ldots \quad b_2 \quad b_1 \quad b_0;$$

- использование для представления данных двоичных кодовых комбинаций длиною (объемом) в k бит, которые являются «вырезками» из теоретически непрерывного потока бит:

$$\leftarrow \textit{направление возрастания двоичных весов}$$
$$\ldots \quad b_{j,k-1} \quad b_{j,k-2} \quad \ldots \quad b_{j,2} \quad b_{j,1} \quad b_{j,0};$$

где b_0, b_1, b_2, …, b_{k-2}, b_{k-1} – биты двоичных кодовых блоков, расположенные в порядке возрастания их двоичных весов.

Двоичный кодовый блок и двоичная кодовая комбинация – «вырезка» из непрерывного потока бит символически могут быть представлены с помощью изображающих полиномов степени $k-1$ [18–20]:

$$A_{k-1}(x) = b_{A,k-1} \cdot x^{k-1} + b_{A,k-2} \cdot x^{k-2} + \ldots + b_{A,2} \cdot x^2 + b_{A,1} \cdot x + b_{A,0};$$
$$A_{j,k-1}(x) = b_{A,j,k-1} \cdot x^{k-1} + b_{A,j,k-2} \cdot x^{k-2} + \ldots + b_{A,j,2} \cdot x^2 + b_{A,j,1} \cdot x + b_{A,j,0}.$$

Отдельные биты $b_{A,i}$ $b_{A,j,i}$, являющиеся коэффициентами полиномов, интерпретируются как координаты k-мерных векторов A_{k-1}, заданных в k-мерном пространстве $A^{(k)}$. Эти коды называют исходными простыми кодами длиной в k бит.

Для придания кодам свойств обнаружения и, тем более, исправления возможных ошибок, необходимо создание определенных условий, при которых не все возможные двоичные комбинации будут

считаться разрешенными. Естественным путем решения этой задачи является введение в коды r избыточных битов, при этом изображающие полиномы приводятся к виду:

$$B_{n-1}(x) = b_{B,\,n-1} \cdot x^{n-1} + b_{B,\,n-2} \cdot x^{n-2} + \ldots + b_{B,\,2} \cdot x^2 + b_{B,\,1} \cdot x + b_{B,\,0},$$

где $n = k + r$. Это не произвольные избыточные биты, а те биты, значения которых определяются в зависимости от характеристик используемого канала передачи данных, от требований к обнаружению и исправлению ошибок определенной кратности, а также от принятых правил построения кода. Такой код называется избыточным или корректирующим кодом длиной (объемом) n бит, а значение r – его абсолютной избыточностью. Отдельные биты b_B, являющиеся коэффициентами полинома, могут интерпретироваться как координаты n-мерных векторов B_{n-1}, заданных в n-мерном пространстве $B^{(n)}$. При определенном уровне избыточности код не только позволяет обнаруживать ошибки, но и создает информационные условия для исправления ошибок, возникающих из-за воздействия помех и искажений. Подобные коды относятся к категории помехоустойчивых кодов.

Формирование блочных кодов предполагает предварительное разбиение передаваемых данных на отдельные блоки (кадры). На передающей стороне они подвергаются помехоустойчивому кодированию и физически передаются по каналу независимо друг от друга. На приемной стороне они декодируются с выявлением и корректировкой ошибочных позиций, после чего подвергаются сборке.

Формирование непрерывных кодов осуществляется без физического разделения во времени передаваемого потока битов на отдельные блоки, что и определяет наименование кодов этой категории. Для этих кодов характерно образование логических «вырезок» битового потока. Значительную часть непрерывных кодов составляют так называемые сверточные коды, применение которых доминирует в

системах цифровой связи.

Для описания процессов кодирования и декодирования как блочных, так и сверточных кодов применяются определенные математические приемы и алгоритмы. Задание линейных кодов основывается на аппарате линейной алгебры, прежде всего теории матриц и методах их преобразований. Формирование нелинейных кодов производится с применением нелинейных процедур, что в некоторых случаях позволяет получать нелинейные коды с рядом специальных свойств.

Во всех случаях помехоустойчивое кодирование и декодирование связано с аппаратно-программной реализацией отображений

$$\text{РС}: A_{k-1} \rightarrow B_{n-1}, \quad \text{РС}^{-1}: B_{n-1} \rightarrow A_{k-1},$$

где РС – процедура кодирования исходных векторов A_{k-1} и их преобразования в векторы B_{n-1} в соответствии с выбранной технологией обеспечения помехоустойчивости; РС^{-1} – процедура декодирования векторов B_{n-1} и их обратного преобразования в вектора A_{k-1}.

Важнейшей проблемой является обеспечение высокоскоростного кодирования и декодирования дискретной информации. Коды Хемминга, Боуза-Чоудхури-Хоквингема, Рида-Соломона, Файра, Витерби и другие были разработаны совместно с алгоритмами декодирования. Достаточно эффективными являются сигнально-кодовые конструкции, турбокоды и пространственно-временные коды.

Блочные коды могут относиться к категориям систематических и несистематических. Систематические коды всегда имеют постоянную длину блока n и постоянное количество избыточных контрольных битов r. Избыточные контрольные биты занимают фиксированные, одни и те же позиции во всех кодовых комбинациях.

Блочные помехоустойчивые коды принято отображать триплетами (n, k, d). Каждому допустимому значению n триплета соответствует определенное количество информационных k и контрольных r бит.

Соотношение битов в паре k, r триплета определяется так называемым минимальным расстоянием Хэмминга d_{min}, при этом $r(d_{min})$ является возрастающей дискретной нелинейной функцией.

В корректирующих кодах лишь часть из всех возможных кодовых комбинаций является разрешенной. Остальные комбинации запрещаются для использования и их возникновение в трактах системы, фиксируемое аппаратно-программными средствами передачи и приема, свидетельствует о наличии ошибок.

Отношение вида $E = k/n$ называют относительной скоростью корректирующего кода, которая характеризует относительное число разрешенных кодовых комбинаций этого кода. Отношение $U = r/n$ – это относительная избыточность кода, характеризующая относительное число запрещенных кодовых комбинаций. Очевидно, что $E + U = 1$. Чем выше относительная избыточность кода, тем выше его способность к обнаружению и корректировке ошибок, но тем ниже эффективная скорость передачи данных по каналу при фиксированной номинальной скорости.

Корректирующая способность связана с понятием минимального кодового, или хэммингова, расстояния. Под минимальным кодовым расстоянием d_{min} понимают минимальное количество позиций в кодовых комбинациях, на которые различаются две любые разрешенные кодовые комбинации в кодовом блоке. Очевидно, что для простого кода $d_{min} = 1$. Для $d_{min} = 2$ любая одиночная ошибка обязательно приводит к возникновению запрещенной кодовой комбинации, которая может быть обнаружена интеллектуальными аппаратно-программными средствами.

В кодовых комбинациях могут возникать как одиночные, так и групповые, или кратные, ошибки, которые проявляются в одновременных искажениях некоторого количества позиций t кода. Для

обнаружения подобных искажений минимальное кодовое расстояние должно удовлетворять условию [18]

$$d_{\min} \geq t + 1,$$

а для исправления этих ошибок – условию

$$d_{\min} \geq 2t + 1.$$

Рассмотрим вероятности отсутствия в кодовом блоке объемом в n бит каких-либо ошибок после его передачи по симметричному каналу с некоторым значением вероятности искажения одного бита P_{BER} (здесь BER – Bit Error Rate), а также вероятности наличия одиночных и многократных ошибок P:

$$P(t = 0) = (1 - P_{\text{BER}})^n;$$

$$P(t = 1) = nP_{\text{BER}}(1 - P_{\text{BER}})^{n-1};$$

$$P(t = 2) = n(n-1)P_{\text{BER}}^2 (1 - P_{\text{BER}})^{n-2} / 2!;$$

$$P(t = 3) = n(n-1)(n-2)P_{\text{BER}}^3 (1 - P_{\text{BER}})^{n-3} / 3!;$$

$$P(t = 4) = n(n-1)(n-2)(n-3)P_{\text{BER}}^4 (1 - P_{\text{BER}})^{n-4} / 4!;$$

$$P(t = 5) = n(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)P_{\text{BER}}^5 (1 - P_{\text{BER}})^{n-5} / 5!.$$

Если зафиксировать некоторую граничную кратность возможных ошибок $t_{\text{гр}}$, которые предполагается с помощью интеллектуальных компонентов исправлять в кодовых комбинациях после их передачи по каналу, имеющему скорость ошибок P_{BER}, то суммарная вероятность полного отсутствия в любой кодовой комбинации каких-либо ошибок или наличия исправляемых ошибок кратности не выше граничной $t_{\text{гр}}$ будет определяться выражением:

$$P(t \leq t_{\text{гр}}) = P(t = 0) + P(t = 1) + P(t = 2) + \ldots P(t = t_{\text{гр}}) =$$

$$= (1 - P_{\text{BER}})^n + nP_{\text{BER}}(1 - P_{\text{BER}})^{n-1} + n(n-1)P_{\text{BER}}^2 (1 - P_{\text{BER}})^{n-2}/2! +$$

$$+ \ldots + n(n-1)(n-2)\ldots(n - t_{\text{гр}} + 1)\ P_{\text{BER}}^{t_{\text{гр}}} (1 - P_{\text{BER}})^{n - t_{\text{гр}}}/t_{\text{гр}}!.$$

Вероятность наличия в кодовом блоке остаточных ошибок с кратностью выше $t_{\text{гр}}$ соответствует значению

$$P(t > t_{\text{гр}}) = 1 - P(t \leq t_{\text{гр}}).$$

В интеллектуальных системах, как правило, задаются нижние и верхние границы требуемой вероятности достоверной передачи блоков данных Inf$P_{дб}$ и Sup$P_{дб}$. Эти значения должны удовлетворять очевидным условиям

$$1 - \text{Inf}\, P_{дб} > 1 - \text{Sup}\, P_{дб} > P(t > t_{гр}) = 1 - P(t \le t_{гр}).$$

Решение приведенного неравенства дает критериальное соотношение для определения требуемого значения вероятности $P(t \le t_{гр})$ и последующего выбора $t_{гр}$.

Схема выбора необходимого количества избыточных разрядов r при заданных значениях n и $t_{гр}$ включает следующие соотношения [18]:

$$d_{min} = 2t_{гр} + 1; \quad r_{min} \ge (d_{min} - 1)\cdot G/2;$$

$2^{G-1} < k \le 2^{G}$; G – целочисленная граница расположения в двоичной весовой сетке информационной части кода;

$$n = k + r.$$

Из приведенных соотношений вытекает, что

$$r_{min} \ge t_{гр}G; \quad k = n - r_{min} < n - t_{гр}G; \quad 2^{G-1} < n - t_{гр}G \le 2^{G},$$

откуда следует система неравенств

$$2^{G-1} < n - t\text{гр}G,$$

$$n - t\text{гр}G \le 2^{G}.$$

Решение системы неравенств выполняется относительно G – целочисленной границы расположения в двоичной весовой сетке информационной части кода, что позволяет найти r_{min}.

Общая схема помехоустойчивого кодирования / декодирования данных

Рассмотрим кодовый блок, заданный изображающим полиномом $B_{n-1}(x)$. Множество комбинаций $B_{n-1} = (b_{n-1}, b_{n-2}, ..., b_0)$ длины n образует n-мерное векторное пространство. Для векторов этого пространства определены операции сложения и умножения, операция умножения вектора на элемент поля, а также скалярное произведение векторов. Совокупность линейно независимых векторов образует

базис, который порождает n-мерное векторное пространство $B^{(n)}$, причем каждый из векторов этого пространства может быть получен в виде линейной комбинации базисных векторов. Некоторое подмножество векторов пространства $B^{(n)}$, удовлетворяющее аксиомам векторного пространства, образует подпространство $A^{(k)}$.

Двоичный блочный код значности n с 2^k разрешенными кодовыми комбинациями называется линейным (n, k) кодом, если его кодовые комбинации образуют k-мерное подпространство $A^{(k)}$ векторного n-мерного пространства $B^{(n)}$.

Общая схема помехоустойчивого кодирования – декодирования данных при их передаче по каналу изображена на рис. 4.

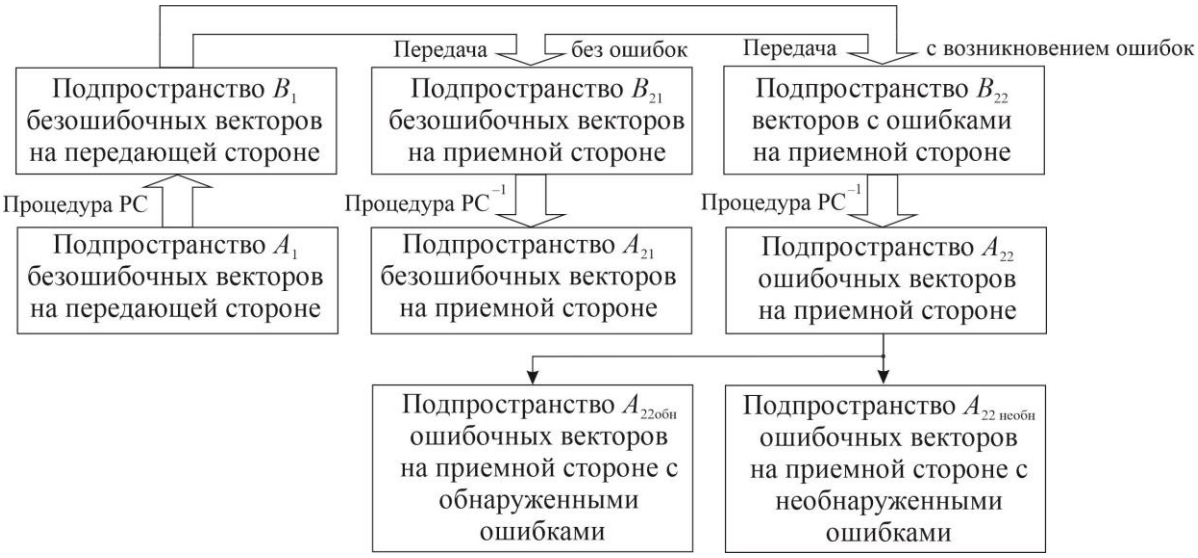


Рис. 4. Общая схема помехоустойчивого кодирования – декодирования данных при их передаче по каналу

Подпространство B_1 размерности n состоит из безошибочных векторов на передающей стороне, которые являются результатом помехоустойчивого кодирования векторов подпространства A_1 с помощью процедуры РС.

Подпространство B_{21} размерности n содержит безошибочные векторы на приемной стороне, являющиеся результатом безошибочной передачи части векторов подпространства B_1 по каналу. Подпространство B_{22} размерности n включает ошибочные векторы на приемной стороне, являющиеся результатом передачи части векторов подпространства B_1 по каналу с возникновением ошибок различной кратности t.

Подпространство A_{21} размерности k состоит из безошибочных векторов на приемной стороне, являющихся результатом помехоустойчивого декодирования безошибочных векторов подпространства B_{21} с помощью процедуры РС^{-1} и декодирования части ошибочных векторов подпространства B_{22} с корректировкой ошибок, кратность которых не превышает установленного значения $t \le t_{\text{гр кор}}$. Подпространство A_{22} размерности k включает ошибочные векторы на приемной стороне, являющиеся результатом помехоустойчивого декодирования части ошибочных векторов подпространства B_{22} с помощью процедуры РС^{-1} без корректировки ошибок, кратность которых больше установленного значения $t > t_{\text{гр кор}}$.

Подпространство $A_{22\,\text{обн}}$ размерности k объединяет ошибочные векторы на приемной стороне, которые являются результатом помехоустойчивого декодирования части ошибочных векторов подпространства B_{22} с помощью процедуры РС^{-1} без корректировки ошибок, кратность которых превышает установленное значение $t > t_{\text{гр кор}}$. Однако при этом происходит обнаружение ошибок, кратность которых оказывается не выше порога обнаружения $t \le t_{\text{гр обн}}$. Подпространство $A_{22\,\text{необн}}$ размерности k содержит ошибочные векторы на приемной стороне, являющиеся результатом помехоустойчивого декодирования части ошибочных векторов подпространства B_{22} с помощью процедуры РС^{-1} без корректировки ошибок, кратность которых больше установленных значений $t > t_{\text{гр кор}}$ и $t > t_{\text{гр обн}}$.

Таким образом, если процедуры РС и РС$^{-1}$ разработаны с учетом корректировки ошибок кратности $t_{\text{гр кор}}$ и обнаружения ошибок кратности $t_{\text{гр обн}}$, то на приемной стороне всегда возможно образование и существование подпространства A_{22} векторов с остаточными ошибками, как обнаруженными (векторное подпространство $A_{22\,\text{обн}}$), так и не обнаруженными (векторное подпространство $A_{22\,\text{необн}}$).

Код Хэмминга относится к классу корректирующих блочных линейных кодов. Процедура кодирования РС по Хэммингу обеспечивает простое логическое преобразование каждого кодового блока путем расширения его состава контрольными разрядами в количестве r, при этом, как и ранее, $n = k + r$. Этот код рассчитан на корректировку одиночных ошибок ($t_{\text{гр кор}} = 1$) и обнаружение двукратных ошибок ($t_{\text{гр обн}} = 2$). Его минимальное кодовое расстояние $d_{\min}$ равно 3, а минимальное количество контрольных битов выбирается с учетом соотношения

$$2^r \geq k + r + 1 \text{ или } r \geq \log_2(k + r + 1).$$

Следует отметить, что все процессы возникновения ошибок при передаче информации по каналам, их распределения по позициям блочного кода, а также операции обнаружения и корректировки ошибок имеют статистическую природу. Именно поэтому допустимо говорить только о предположительных ситуациях искажения кодовых блоков и о достоверности корректировки ошибок, а также оценивать их соответствующими вероятностными показателями. Более качественные результаты помехоустойчивого кодирования код Хэмминга дать не может. Тем не менее, из-за простоты реализации этот код находит широкое применение при работе на каналах с низкими значениями скорости битовых ошибок P_{BER} (кабельные каналы на основе витой пары при отсутствии сильных внешних электромагнитных полей, кабельные каналы коаксиального типа, волоконно-оптические каналы при условии $P_{\text{BER}} = 10^{-5} – 10^{-9}$).

Циклические коды являются эффективным средством обеспечения достоверности передачи информации по каналам с широким диапазоном интенсивности битовых ошибок $P_{\text{BER}} = 10^{-2}$–10^{-9}. Это корректирующие блочные линейные коды, для которых характерно следующее: если кодовая комбинация $b_{n-1}\ b_{n-2}\ b_{n-3}\ \ldots\ b_1\ b_0$ принадлежит некоторому циклическому коду, то любая комбинация, полученная циклической перестановкой знаков $b_{r-3}\ b_{r-4}\ b_{r-5}\ \ldots\ b_1\ b_0\ b_{n-1}\ b_{n-2}$, также принадлежит этому коду.

Циклические коды относятся к категории систематических и состоят из k информационных и r контрольных знаков. Общая длина кодовых блоков составляет $n = k + r$ знаков, при этом контрольные знаки занимают младшие по весу позиции. Кодовые блоки $B_{n-1} = (b_{B,\,n-1},\ b_{B,\,n-2},\ \ldots,\ b_{B,\,0})$ интерпретируются как векторы, координатные символы которых в общем случае выбираются из простого поля Галуа $GF(p)$.

Основой циклического кода является так называемый порождающий полином $G_r(x)$, который определяет избыточность r и все корректирующие свойства циклического кода. В соответствии с положениями абстрактной алгебры многочлен $G_r(x)$ должен быть неприводимым полиномом над полем Галуа $GF(2)$ и делителем многочлена $x^n - 1$. Неприводимые полиномы в полиномиальной алгебре, по сути, являются «аналогами» простых чисел арифметики.

Центральное положение теории циклического кодирования заключается в том, что если полином $B_v(x)$ является изображающим полиномом степени $v < k + r$ циклического кода с длиной информационной части в k символов, то он должен делиться без остатка на порождающий полином $G_r(x)$ степени r.

Алгоритм процедуры РС помехоустойчивого кодирования с помощью циклического кода. Он предполагает выполнение следующих действий на передающей стороне.

А. Изображающий полином $A_{k-1}(x)$ исходного кодового блока умножается на x^r, при этом полином $x^r A_{k-1}(x)$ соответствует формальному сдвигу изображающего полинома $A_{k-1}(x)$ на r позиций влево.

Б. Выполняется деление полинома $x^r A_{k-1}(x)$ на порождающий полином $G_r(x)$ степени r с получением остатка $S_\mu(x)$ степени не выше $r-1$:

$$S_\mu(x) = \text{Residuum}\{x^r A_{k-1}(x) / G_r(x)\}, \quad \mu \le r-1;$$

при этом образуется полином частного $Q_{k-1}(x)$. Полином – остаток $S_\mu(x)$ называют синдромом.

В. Проводится формирование изображающего полинома циклического кода $B_v(x)$ путем сложения по модулю 2 полинома $x^r A_{k-1}(x)$ и остатка $S_\mu(x)$:

$$B_v(x) = x^r A_{k-1}(x) \oplus S_\mu(x).$$

Если коэффициенты полинома $B_v(x)$ не искажены, то он будет делиться на порождающий полином $G_r(x)$ без остатка. Действительно, операции, обратные операциям деления и получения остатка, будут иметь вид

$x^r A_{k-1}(x) = H_{k-1}(x)G_r(x) + S_\mu(x)$, тогда $B_v(x) = H_{k-1}(x)G_r(x) + S_\mu(x) \oplus S_\mu(x)$.

В алгебре полиномов доказывается, что

$S_\mu(x) \oplus S_\mu(x) = 0$, из чего следует $B_v(x) = H_{k-1}(x)G_r(x) + 0$.

Необходимо отметить, что полином частного $H_{k-1}(x)$ имеет в основном теоретическое значение и в практике кодирования не применяется.

Нахождение порождающих полиномов является самостоятельной достаточно сложной задачей. В настоящее время построены таблицы для упрощения процесса выбора порождающих полиномов. Имеются таблицы для ограниченного набора значений n и представлены возможные разложения многочлена x_{n-1} на множители в виде неприводимых полиномов, которые могут быть использованы в качестве

порождающих при построении циклических кодов с теми или иными параметрами.

Алгоритм процедуры проверки корректности циклического кода. Он предполагает выполнение следующих действий на приемной стороне канала.

А. Формирование изображающего полинома кодового блока (кодового полинома) $C_v(x)$.

Б. Деление кодового полинома $C_v(x)$ на порождающий полином $G_r(x)$ с получением синдрома $S_\mu(x)$:

$$S_\mu(x) = \text{Residuum}\{C_v(x) / G_r(x)\}, \quad \mu \le r - 1.$$

В. Если при передаче данных по каналу битовые ошибки не возникли, то коэффициенты полинома $C_v(x)$ оказываются не искаженными, полином $C_v(x)$ будет делиться на порождающий полином $G_r(x)$ без остатка ($S_\mu(x) = 0$) и может быть принято решение, что $C_v(x) = B_v(x)$.

Алгоритм процедуры PC^{-1} помехоустойчивого декодирования циклического кода. Если при передаче данных по каналу битовые ошибки возникли и могут быть обнаружены с помощью циклического кода, то коэффициенты полинома $C_v(x)$ оказываются искаженными, полином $C_v(x)$ будет делиться на порождающий полином $G_r(x)$ с образованием синдрома $S_\mu(x) \neq 0$ и может быть принято решение, что $C_v(x) \neq B_v(x)$. Данный алгоритм предполагает на приемной стороне использование модели ошибок $E(x)$, в качестве которой выступает полином, имеющий ненулевые коэффициенты в каждой ошибочной позиции, при этом

$$C_v(x) = B_v(x) \oplus E(x).$$

Очевидно, что модель ошибок будет адекватна задаче их корректировки, если

$$B_v(x) = C_v(x) \oplus E(x).$$

Теоретически наиболее надежным способом корректировки ошибок является построение таблиц $E(x)[S_\mu(x)]$, в которых синдром

выполняет функции аргумента. Однако на практике это крайне ресурсоемкое решение, особенно при высоких значениях r, поскольку объем таблицы соответствует значению 2^r. Указанное техническое решение обычно применяют для ограниченных наборов синдромов.

В процедуре кодирования эффективным приемом использования ресурсов памяти является учет внутренней математической структуры циклических кодов и следствия теоремы Меггитта: если $S(x)$ – синдром вектора $C_v(x)$, то синдром циклически сдвинутого вектора $C_v(x)\cdot x$ совпадает с синдромом вектора, соответствующего полиному $S(x)\cdot x$.

Коды Боуза–Чоудхури–Хоквингема (БЧХ) являются циклическими кодами и обладают всеми их свойствами. Отличительной особенностью БЧХ-кодов является возможность построения кодовых блоков с заранее определенными корректирующими свойствами и организации более эффективных процедур исправления ошибок.

В теории кодирования доказывается, что для любых целых чисел m и t существует циклический БЧХ-код длиной $n = 2^m - 1$, который гарантированно исправляет ошибки кратности t, при этом число проверочных разрядов r не должно превышать mt.

Теорема БЧХ позволяет определить порождающий полином для кода с заданными параметрами. Она была доказана Хоквингемом в 195 году и независимо от него Боузом и Чоудхури в 1960 году. По указанной теореме кодовое расстояние $d_{\min} \geq (2t + 1)$ кода, исправляющего ошибки кратности t, достигается при количестве контрольных разрядов $r \leq mt$.

Коды Голея, Файра, Рида – Соломона и турбокод. Указанные коды являются разновидностями циклических кодов, которые благодаря их определенным индивидуальным свойствам находят широкое применение в технологиях обеспечения помехозащищенности каналов передачи данных [21], в том числе при группировании ошибок в пачки и при возникновении ошибок очень высокой кратности. Применение турбокодов предполагает построение систем ступенчатого

помехоустойчивого кодирования и обеспечение практического получения характеристик, близких к теоретически достижимым.

Непрерывные помехоустойчивые коды. Наиболее применяемыми в практическом отношении являются рекуррентные или сверточные коды [22, 23]. Первый вариант построения рекуррентного кода был разработан в Ленинградской академии связи и предложен Л.М. Финком в 1955 году. Параллельно выполняемые аналогичные разработки в 1959 году были завершены в США, их результаты опубликованы Д.В. Хагельбергером.

В сверточном коде в каждом преобразовании текущего символа или бита $b_{j,i}$ участвуют k предшествующих символов или битов $b_{j,i-1}\, b_{j,i-2}\, b_{j,i-3} \ldots b_{j,i-k}$. В этом коде блочное разделение не производится. Информационные и контрольные элементы образуют объединенный поток

$$\ldots r_{j,i+2}\, b_{j,i+2}\, r_{j,i+1}\, b_{j,i+1}\, r_{j,i}\, b_{j,i}\, r_{j,i-1}\, b_{j,i-1} \ldots$$

Формирование контрольных элементов осуществляется в соответствии с соотношением:

$$r_{j,i} = b_{j,g,s} \oplus r\, b_{j,g+s+1},$$

где $s = 0, 1, 2, \ldots$ – произвольное целое число, называемое шагом кода [24].

При возникновении ошибки в канале в контрольном элементе $r_{j,i}$ соотношение не будет выполняться для $g = i$. При возникновении ошибки в канале в информационном элементе $b_{j,i}$ соотношение не будет выполняться для $g = i - s - 1$ и для $g = i + s$. Это позволяет исправлять ошибки в принятых битах. Если соотношение не выполняется для двух значений $g_1 = i - s - 1$ и $g_2 = i + s$, то элемент $b_{g,1+s+1}$ должен заменяться на противоположный.

Список литературы

1. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта / Ж.-Л. Лорьер. – М.: Мир, 1991. – 570 с.

2. Рыбина Г. В. Основы построения интеллектуальных систем / Г. В. Рыбина. – М.: Финансы и статистика, Инфра–М, 2010. – 432 с.

3. Гулай А. В. Архитектура интеллектуальных систем / А. В. Гулай, В. М. Зайцев. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 367 с.

4. Гулай А. В. Построение интеллектуальных систем / А. В. Гулай, В. М. Зайцев. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 368 с.

5. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 382 с.

6. Мински М. Фреймы для представления данных / М. Мински. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.

7. Батыршин И. З. Основные операции нечеткой логики / И. З. Батыршин // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 4. – С. 18–22.

8. Осуга С. Обработка знаний / С. Осуга. – М.: Мир, 1989. – 293 с.

9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – Л.–М.: Мир, 1976. – 165 с.

10. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия, 2007. – 288 с.

11. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств / В. И Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.

12. Фомин В. Н. Рекуррентное оценивание и адаптивные фильтры / В. Н. Фомин. – М.: Наука, 1984. – 288 с.

13. Willski A. S. A survey of design methods for dynamical systems / A. S. Willski // Automatic Journal of IFAC. – 1976. – Vol. 12. – №6. – P. 601–611.

14. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: КноРус, 2010. – 191 с.

15. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. – М.: Бином–Пресс, 2009. – 256 с.

16. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

17. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1989. – 448 с.

18. Кларк Д. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Д. Кларк, Дж. Кейн. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.

19. Зубарев Ю. Б. Обзор методов помехоустойчивого кодирования. Методы и алгоритмы / Ю. Б. Зубарев, Г. В. Овечкин. – М.: Грячая линия–Телеком, 2004. – 126 с.

20. Зубарев Ю. Б. Помехоустойчивое кодирование с использованием многопортовых алгоритмов / Ю. Б. Зубарев, В. В. Золотарев, Г. В. Овечкин // Цифровая обработка сигналов. – 2008. – № 1. – С. 2–11.

21. Тутевич В. Н. Телемеханика / В. Н. Тутевич. – М.: Высшая школа, 1985. – 423 с.

22. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.

23. Смит С. Цифровая обработка информации / С. Смит. – М.: Издательский дом «ДодЭка–XXI», 2008. – 718 с.

24. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1986. – 576 с.

© Гулай А.В., Богданова Е.А.

УДК 004.725,004.418

Глава 9.
РОЛЬ И МЕСТО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Морозова Ольга Николаевна
к.п.н., доцент, доцент кафедры «ИЯПК»
Дупляк Владислав Васильевич
ИАиИТ
ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Аннотация: В современных системах связи широко применяются оптические сигналы, для поддержания мощности которых при передаче на существенные расстояния используются оптические усилители, ориентированные на различные диапазоны длин волн. Понимание особенностей работы этих устройств, а также границ их приложения является необходимым для построения эффективной в рамках поставленной задачи системы передачи данных. Цель исследования заключалась в изучении особенностей и характеристик волоконных празеодимовых оптических усилителей. Для достижения этой цели были рассмотрены основные понятия, касающиеся оптических усилителей; изучены физические принципы функционирования и конструктивные особенности волоконных празеодимовых оптических усилителей; исследованы параметры данных устройств и составлена их сравнительная характеристика с другими классами оптических усилителей.

Ключевые слова: система передачи данных, волоконно-оптическая система, оптический сигнал, длина волны, оптический усилитель.

THE ROLE AND PLACE OF FIBER-OPTIC SYSTEMS IN MODERN DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES

Morozova Olga Nikolaevna
Duplyak Vladislav Vasilievich

Abstract: Optical signals are widely used in modern communication systems, and optical amplifiers are applied to maintain their power when transmitting over long distances. These amplifiers are designed for different wavelength ranges, and understanding their features and limitations is essential for designing an effective data transmission system. The purpose of this study was to investigate the characteristics and performance of fiber-based praseodymium optical amplifiers. To achieve this goal, the basic concepts related to optical amplifiers were reviewed; the physical principles of operation and design features of fiber-based praseodymium optical amplifiers were studied; the parameters of these devices were investigated, and their comparative characteristics with other classes of optical amplifiers were compiled.

Key words: data transmission system, fiber-optic system, optical signal, wavelength, optical amplifier.

Применение современных технологий передачи данных немыслимо без формирования сигналов того или иного рода. Они обладают различной физической природой, а также широким спектром назначений: от информационных сигналов до управляющих, от электромагнитных до оптических. Однако их фундаментальной особенностью, независимо от происхождения или цели, является возможность передачи на существенные расстояния для воздействия на принятие тех или иных решений. При текущем состоянии развития информационного общества вопросом исключительной важности

становится создание, налаживание и поддержание инфраструктуры, обеспечивающей формирование, передачу и приём сигналов, несущих максимально объёмные массивы данных за минимальное время. Одним из ключевых направлений в этой сфере является использование волоконно-оптических систем.

1. Понятие и классификация оптических усилителей

Оптические усилители (*optical amplifiers, OA*) – это компоненты волоконно-оптической линии связи, обеспечивающие передачу сигнала на значительные расстояния за счёт непосредственного усиления его мощности без преобразования в электрическую форму [1].

По способу размещения в линии связи оптические усилители подразделяются на следующие виды [2]:

– предусилители (*preamplifiers*), устанавливаемые непосредственно перед приёмником;

– усилители мощности (*boosters*), устанавливаемые непосредственно после лазерного передатчика или перед оптическим разветвителем (устройством, предназначенным для разделения поступающего оптического сигнала на несколько направлений);

– линейные усилители (*inline amplifiers*), устанавливаемые в тех точках тракта волоконно-оптической системы передачи, где необходимо компенсировать ослабление сигнала для соответствия его мощности чувствительности приёмника.

Наглядно способы размещения в линии связи оптических усилителей продемонстрированы на рисунке 1.

Основными конструктивными элементами оптических усилителей являются активная среда, представляющая собой некоторое физическое вещество, способное копить энергию и отдавать её сигналу, а также лазер накачки, воздействующий на эту среду с целью передачи ей необходимой энергии. Помимо данных элементов, усилители содержат и вспомогательные, такие как селективный разветвитель, необходимый

для перенаправления сигналов в необходимую линию передачи на основе некоторого критерия, и оптические изоляторы, снижающие уровень отражённого обратно света для стабильной работы системы передачи.

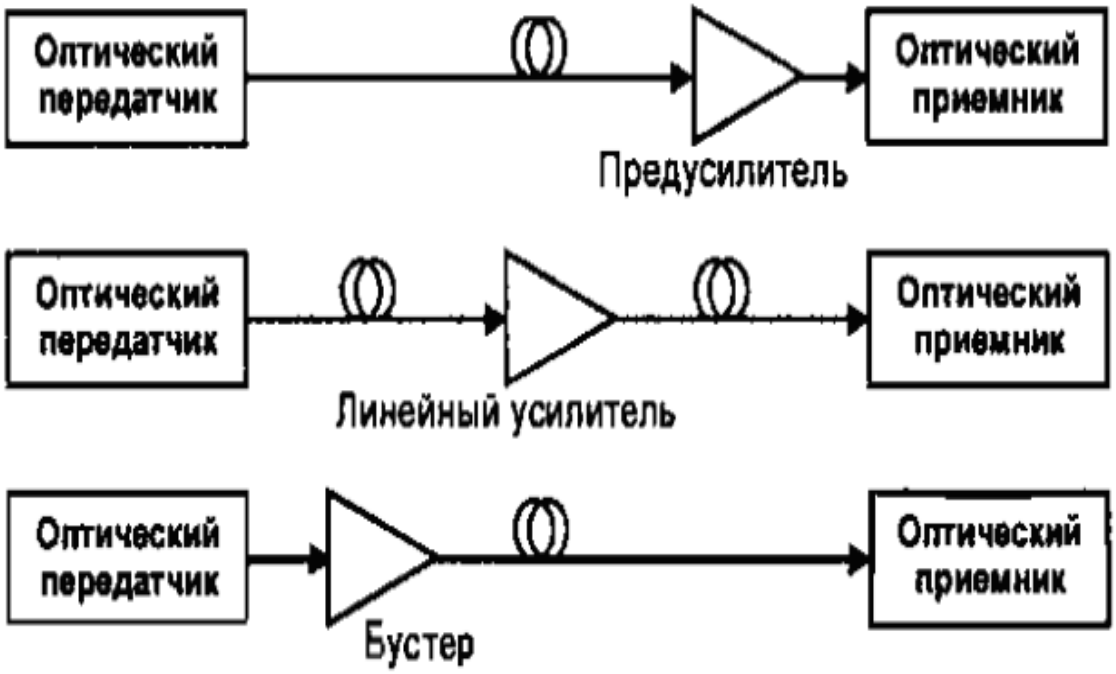


Рис. 1. Применение в линии связи разных типов оптических усилителей

Активная среда также служит классификационным признаком, разделяющим оптические усилители на полупроводниковые, волоконные и нелинейные [3].

Полупроводниковые оптические усилители (*semiconductor optical amplifiers, SOA*) имеют в своей основе некоторый полупроводниковый материал, например, арсенид галлия-индия (*InGaAs*) или фосфид арсенида галлия-индия (*InGaAsP*), представляющий собой кристалл с *p*-*n*-переходом. Проходя через переднюю его грань, сигнал усиливается благодаря запуску рекомбинации носителей заряда (электронов и дырок)

и получению новых фотонов. *SOA* подразделяются на резонансные и бегущей волны:

– резонансные усилители, называемые также усилителями с резонатором Фабри-Перо (*Fabry-Perot amplifier, FPA*), основаны на применении соответствующего устройства, представляющего из себя пару параллельных полупрозрачных зеркал, между которыми в результате многократного отражения происходит усиление интенсивности оптического сигнала до значения, достаточного для выхода за пределы резонатора;

– усилители бегущей волны (*travelling wave amplifiers, TWA*) осуществляют равномерное усиление уровня сигнала по мере его прохождения через всю длину полупроводникового кристалла.

Волоконные усилители (*doped fiber amplifiers, DFA*) используют в качестве активной среды волокно, легированное ионами редкоземельных металлов. Расстояния между их энергетическими уровнями совпадают с энергиями применяемых в линиях связи фотонов, что обуславливает применение различных элементов для определённых диапазонов длин волн. Например, эрбий предназначен для использования с *C*-диапазоном (1530-1565 нм) и *L*-диапазоном (1565-1625 нм).

Нелинейные усилители (*non-linear optical amplifiers, NLOA*) – это устройства, в которых усиление сигнала происходит за счёт нелинейных эффектов, возникающие в оптическом волокне при распространении мощного излучения. К основным типам таких усилителей относятся рамановские, основанные на эффекте вынужденного комбинационного рассеяния, и брюллиэновские усилители, использующие вынужденное рассеяние Мандельштама-Брюллиэна. Данные эффекты называются нелинейными, поскольку в результате воздействия излучения высокой интенсивности на материал активной среды её свойства меняются, вызывая нелинейную поляризацию.

Независимо от разновидности, в основе каждого оптического усилителя лежит явление вынужденного излучения, при котором фотоны сигнала, проходя через активную среду, стимулируют переход заряженных частиц составляющего её вещества на более низкий энергетический уровень с испусканием идентичного фотона, что усиливает уровень сигнала.

Таким образом, оптические усилители представляют собой ключевые компоненты волоконно-оптических линий связи, обеспечивающие передачу сигналов на большие расстояния без необходимости их преобразования в иную форму. Выбор необходимого типа *ОА* определяется такими параметрами, как рабочий диапазон длин волн и требования системы передачи.

2. Физические принципы работы и конструктивные особенности волоконных празеодимовых усилителей

Волоконные празеодимовые усилители (*praseodymium-doped fiber amplifiers, PDFA*) – это разновидность оптических усилителей, в которых увеличение мощности сигнала за счёт вынужденного излучения происходит в активной среде, представляющей собой легированное ионами редкоземельного металла празеодима волокно. Данный класс оптических усилителей предназначен для работы в *O*-диапазоне, покрывающем длины волн от 1260 до 1360 нм [4].

Целесообразность применения *O*-диапазона в волоконно-оптических линиях связи обусловлена тем, что в кварцевом волокне на этих длинах волн хроматическая дисперсия принимает минимальное значение.

Хроматическая дисперсия – это зависимость групповой скорости распространения светового импульса в некоторой среде от длины волны. В связи с данным явлением спектральные компоненты сигнала (коротковолновые и длинноволновые) распространяются с разными скоростями, в результате чего происходит уширение импульса во

времени, приводящее к межсимвольной интерференции – наложении друг на друга несущих различную информацию сигналов (рисунок 2).

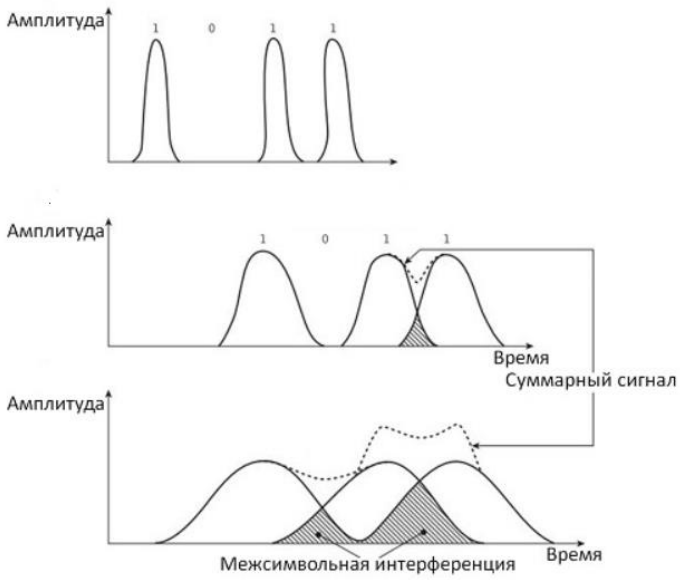


Рис. 2. Перекрывание символов, вызванное хроматической дисперсией при прохождении импульсами всё большего расстояния по линии связи

В оптических волокнах хроматическая дисперсия имеет две составляющие: материальную и волноводную дисперсии [5].

Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны, то есть определяется физическими свойствами материала волокна. Для одномодового (передающего световой сигнал строго единственным способом распространения) волокна длиной L материальная дисперсия определяется по формуле (1).

$$\tau_{\text{мат}} = L \cdot D_{\text{м}} \cdot \Delta\lambda, \quad (1)$$

где $D_{\text{м}}$ – удельная материальная дисперсия, пс/нм·км;

$\Delta\lambda$ – спектральная ширина полосы светового излучения, нм.

Для нахождения значения $D_м$ применяется формула (2), получаемая с помощью уравнения Зельмейера (3), аппроксимирующего коэффициент преломления.

$$D_м = -\frac{\lambda}{c} \cdot \frac{1}{n(\lambda)} \cdot \left[\sum_{i=1}^{N} B_i C_i \frac{3\lambda^2 + C_i}{(\lambda^2 - C_i)^3} - \left(\frac{dn(\lambda)}{d\lambda}\right)^2\right], \quad (2)$$

где $n(\lambda)$ – коэффициент преломления;

λ – длина волны, м;

c – скорость света в вакууме, м/с;

B_i, C_i – коэффициенты Зельмейера, определяемые экспериментально.

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{i=1}^{N} \frac{B_i \lambda^2}{\lambda^2 - C_i} \quad (3)$$

Дополнительный член в формуле (2) выводится из уравнения (3):

а) $\frac{d(n^2)}{d\lambda} = \sum_{i=1}^{3} B_i \frac{2\lambda(\lambda^2 - C_i) - \lambda^2 \cdot 2\lambda}{(\lambda^2 - C_i)^2} = \sum_{i=1}^{3} \frac{-2\lambda \cdot B_i C_i}{(\lambda^2 - C_i)^2}$;

б) $\frac{d(n^2)}{d\lambda} = \frac{2ndn}{d\lambda} => \frac{dn}{d\lambda} = \frac{1}{2n} \cdot \frac{d(n^2)}{d\lambda}$;

в) $\left(\frac{dn}{d\lambda}\right)^2 = \frac{1}{4n^2} \cdot (-2\lambda)^2 \left(\sum_{i=1}^{3} \frac{B_i C_i}{(\lambda^2 - C_i)^2}\right)^2 = \frac{\lambda^2}{n^2} \left(\sum_{i=1}^{3} \frac{B_i C_i}{(\lambda^2 - C_i)^2}\right)^2$.

Таким образом, полностью формула для расчёта значения удельной материальной дисперсии принимает вид, представленный уравнением (4).

$$D_м = -\frac{\lambda}{c} \cdot \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^{N} B_i C_i \frac{3\lambda^2 + C_i}{(\lambda^2 - C_i)^3} - \frac{\lambda^2}{n^2} \left(\sum_{i=1}^{3} \frac{B_i C_i}{(\lambda^2 - C_i)^2}\right)^2\right] \quad (4)$$

Физический смысл данной величины заключается в увеличении на рассчитанное число пикосекунд длительности сигнала определённой ширины спектра при прохождении некоторой длины волокна.

Волноводная дисперсия определяется распределением показателя преломления и геометрическими параметрами волокна, влияющими на структуру мод – отдельных маршрутов распространения световых волн внутри волокна. Её значение рассчитывается по формуле (5).

$$\tau_в = L \cdot D_в \cdot \Delta\lambda, \quad (5)$$

где $D_в$ – удельная волноводная дисперсия, пс/нм·км.

Данный параметр в свою очередь определяется соотношением (6).

$$D_в = -\frac{n_1 - n_2}{\lambda \cdot c} \cdot V \frac{d^2(Vb)}{dV^2}, \quad (6)$$

где n_1, n_2 – показатели преломления сердцевины и оболочки соответственно;

V – нормированная частота;

b – нормированная постоянная распространения.

Нормированная частота, называемая также V-параметр, находится по формуле 7. Она является безразмерной характеристикой, определяющей количество мод, способных распространяться в волокне.

$$V = \frac{2\pi \cdot a}{\lambda} \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (7)$$

где a – радиус сердцевины волокна, м.

Стандарт G.652, разработанный Сектором стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-Т), устанавливает величину длины волны нулевой дисперсии равной 1310 нм. Если выбрать для расчётов более удобное значение λ = 1300 нм, длину волокна L = 1 км, а также спектральную ширину полосы светового излучения $\Delta\lambda$ = 1 нм, то, предварительно воспользовавшись формулой (3) для нахождения необходимых показателей преломления волокна на основе диоксида кремния (SiO_2), можно получить значения материальной и волноводной дисперсий для кварцевого оптического волокна: $\tau_{мат}$ = 2,66 пс; $\tau_в$ = –2,24 пс.

Хроматическая дисперсия определяется суммой материальной и волноводной, которые в данном случае практически компенсируют друг друга, за счёт чего общая дисперсия принимает значение, близкое к нулю (8).

$$\tau_{хр} = \tau_{мат} + \tau_в = (2{,}66 - 2{,}24)\ \text{пс} = 0{,}42\ \text{пс} \quad (8)$$

Использование именно празеодима в описываемом диапазоне обусловлено особенностями структуры его электронной оболочки. В ионах Pr^{3+} существует переход с уровня $^1G_4$ на $^3H_5$. Длина волны излучения, происходящего в результате такого перехода, определяется разностью энергий между уровнями (9).

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}, \tag{9}$$

где h – постоянная Планка, Дж · с.

Празеодим единственный среди редкоземельных металлов, используемых для легирования оптического волокна, чьи ионы способны испускать фотоны с длиной волны из *O*-диапазона. Само явление, при котором в результате перехода электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий происходит испускание фотона, идентичного тому, что спровоцировал сброс атомом энергии, называется вынужденным излучением (рисунок 3). За счёт дублирования фотонов и осуществляется подпитка оптических сигналов усилителями.

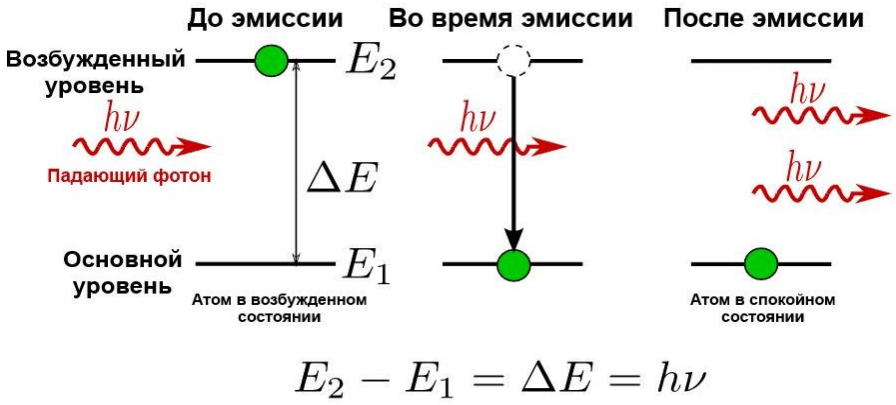


Рис. 3. Эмиссия фотона в результате перехода электрона между энергетическими уровнями

Переход на высокий энергетический уровень заряженных частиц атомов празеодима, распределённых по сердцевине волокна, происходит за счёт применения лазера накачки. Он обладает более низкой длиной

волны, чем передаваемые источником сигналы, для передачи большего количества энергии активной среде, что определяется формулой (9). Наиболее эффективной длиной волны накачки для празеодима считается 1017 нм.

При попадании фотона накачки в примесное волокно, атомы становятся возбуждёнными, и начинает наблюдаться сильный дисбаланс между числом электронов на верхних и нижних энергетических уровнях. Благодаря этому состоянию, называемому инверсией электронных населённостей, создаётся запас энергии для проходящего по волокну сигнала. Однако данная конфигурация электронов не является стабильной, и через некоторое время, называемое временем релаксации, может возникать спонтанное излучение и проявляться явление многофононной релаксации, при котором происходят безызлучательные переходы между энергетическими уровнями с испусканием фононов – квантов колебательной энергии решётки стекла, уходящих на тепло.

Общая структурная схема оптического волоконного усилителя представлена на рисунке 4.

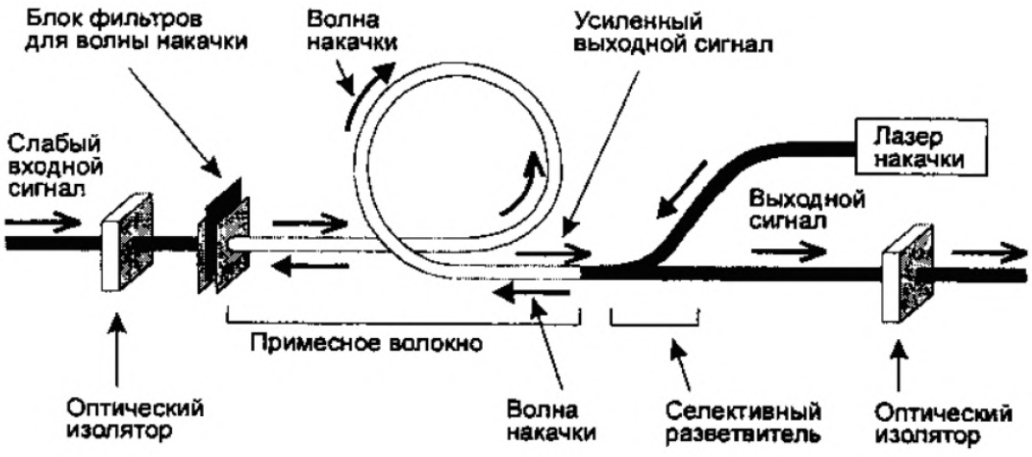


Рис. 4. Оптический усилитель на основе примесного волокна

На входе в усилитель слабый входной сигнал сперва проходит через оптический изолятор, пропускающий световой импульс в прямом

направлении и блокирующий рассеянный свет в обратном, а также через блок фильтров, которые прозрачны к длине волны сигнала, однако не пропускают световой поток лазера накачки. Затем сигнал входит в активную среду длиной несколько метров, подвергающуюся непрерывному облучению лазером, который возбуждает атомы примесей. Этот участок волокна закручен для увеличения длины взаимодействия в рамках компактной конструкции и обеспечения перекрытия мод сигнала и накачки. Возбуждённые состояния обладают большим временем релаксации. При прохождении по активной среде светового импульса, происходит индуцированный переход с излучением фотона аналогичной ему длины волны и фазы. После этого селективный разветвитель, часто представляющий собой *WDM*-мультиплексор (*Wavelength Division Multiplexer*), направляет усиленный сигнал на выходное волокно, где он в очередной раз проходит через оптический изолятор.

В волоконных усилителях часто используется оптическое волокно с двойными покрытием, имеющее трёхслойную структуру: непосредственно сердцевину, а также внутреннюю и внешнюю оболочки. Применение данного типа среды позволяет решить проблему масштабирования выходной мощности. Световой импульс распространяется внутри сердцевины, в то время как накачка распространяется через внутреннюю и внешнюю оболочки, заметно увеличивая количество энергии, которое возможно передать полезному сигналу по сравнению с подачей через сердцевину.

Празеодимовые усилители изготавливаются на основе фторидного стекла группы *ZBLAN*, обладающего следующим составом: ZrF_4-BaF_2-LaF_3-AlF_3-NaF. Оно используются вместо кварцевых стёкол ввиду более низкого значения фононной энергии, что увеличивает длительность времени релаксации, не позволяя происходить безызлучательным и спонтанным переходам с метастабильного уровня $^1G_4$ и поддерживая

инверсию электронных населённостей [6]. Данный параметр имеет особую важность, поскольку зависимость вероятности многофононной релаксации от фононной энергии материала волокна имеет экспоненциальный характер (10).

$$W_{\text{мп}} = W_0 \cdot e^{-\frac{\alpha \Delta E}{\hbar\omega}}, \quad (10)$$

где W_0 – предэкспоненциальный множитель, $с^{-1}$;

α – эмпирически определяемая константа материала;

ΔE – энергетический зазор между уровнями, эВ;

$\hbar\omega$ – максимальная фононная энергия материала, эВ.

Итак, празеодимовые волоконные оптические усилители применяются в *O*-диапазоне, основной особенностью которого является близкая к нулевой хроматическая дисперсия в волокне на основе диоксида кремния. Среди прочих элементов, используемых для легирования, празеодим является единственным применимым в данном диапазоне ввиду особого строения электронной оболочки, позволяющего испускать фотоны с необходимыми длинами волн и продолжительное время поддерживать метастабильное состояние для эффективной накачки сигнала.

3. Характеристики волоконных празеодимовых усилителей

К основным характеристикам волоконных усилителей относятся [7]:

– диапазон усиливаемых длин волн, нм;

– коэффициент усиления, дБ;

– уровень входной мощности, при которой наступает насыщение, дБм;

– максимальный уровень входной мощности, дБм;

– коэффициент шума, дБ;

– уровень мощности остаточного излучения накачки, дБм;

– уровень отражённой мощности на входе и выходе, дБм;

– неравномерность коэффициента усиления в пределах рабочего диапазона длин волн.

Характеристика диапазона усиливаемых длин волн $\Delta\lambda$ зависит от энергетических переходов выбранных ионов для легирования сердечника и для Pr^{3+} определяется границами от 1260 до 1360 нм, где находится значение нулевой дисперсии для кварцевого стекла.

Коэффициентом усиления G называется отношение выходной мощности полезного сигнала ко входной. В линейной шкале данный коэффициент определяется как безразмерная величина (11), однако на практике наиболее применимым является логарифмический эквивалент G, измеряемый в децибелах, ввиду удобства сложения получаемых значений (12).

$$G = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \tag{11}$$

$$G_{dB} = 10 \lg\left(\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}\right) \tag{12}$$

Коэффициент усиления напрямую зависит от длины волны сигнала и его мощности. При использовании лазеров накачки с длиной λ = 1017 нм значение G равно от 20 до 30 дБ для празеодимовых усилителей. Если принять, что значение мощности входного сигнала $P_{\text{вх}}$ = –20 дБм, а выходного – $P_{\text{вых}}$ = 0 дБм, то расчёты с приведением величин из логарифмической шкалы в линейную дадут коэффициент усиления равный 100, что совпадает с 20 дБ:

а) $P_{\text{мВт}} = 10^{\frac{P_{dB}}{10}}$;

б) $G = \frac{10^{\frac{0}{10}}\ \text{мВт}}{10^{\frac{-20}{10}}\ \text{мВт}} = \frac{1}{10^{-2}} = 100$;

в) $G_{dB} = 10 \lg 100 = 20$ дБ.

Уровень входной мощности насыщения $P_{\text{нас}}$ и максимальный уровень входной мощности P_{max} являются тесно связанными величинами, поскольку они определяют границы, в которых усилитель может принять сигнал без повреждений или сильных искажений. При

превышении значения P_{max} могут наблюдаться нелинейные явления, что может серьёзно нарушить работу линии связи. Для празеодимовых усилителей типовыми значениями являются $P_{\text{нас}}$ = –30 дБ и P_{max} = 10 дБ.

Коэффициент шума измеряется в децибелах и характеризует ухудшение отношения сигнал/шум (*signal-to-noise ratio*, *SNR*) между входом и выходов усилителя (13).

$$NF = 10 \lg \left(\frac{SNR_{\text{вх}}}{SNR_{\text{вых}}} \right) \quad (13)$$

Теоретический минимум значения *NF* составляет 3 дБ, однако для волоконных празеодимовых усилителей коэффициент шума находится в пределах 5–7 дБ. Указанные значения превышают диапазон шума в эрбиевых усилителях, обычно равный от 4 до 6 дБ (минимальная величина *NF* достигается при использовании предусилителей). Это связано с более длительным времени релаксации у ионов эрбия, чем у ионов празеодима, а также с использованием в данных усилителях лазера накачки с более короткой длиной волны (980 нм), что дополнительно усиливает инверсию электронных населённостей. Как следствие, происходит меньше случайных переходов электронов с одного энергетического уровня на другой и ослабляется роль в формировании шумов усиленного спонтанного излучения (УСИ) – процесса, при котором самопроизвольно испущенные возбуждёнными атомами фотоны усиливаются, проходя через активную среду [7].

Мощность остаточного излучения накачки P_{pump_out} характеризует количество накачки, которая не была поглощена ионами в легированной сердцевине и вышла за границы усилителя. Её величина определяется экспоненциальным законом (14).

$$P_{pump_out} = P_{pump_in} \cdot e^{-\alpha_p L}, \quad (14)$$

где P_{pump_in} – входная мощность накачки, мВт;

α_p – коэффициент поглощения накачки на единицу длины, м$^{-1}$;

L – длина активного волокна, м.

В логарифмической шкале данная формула принимает вид, представленный уравнением (15).

$$P_{out}(dBm) = P_{in}(dBm) - \alpha_p(dB) \cdot L \quad (15)$$

Формула демонстрирует, что значение мощности остаточного излучения накачки уменьшается с увеличением длины активной среды и коэффициента поглощения. Поскольку величина P_{pump_out} в *PDFA* достаточно велика, для исключения её влияния на линию связи используются *WDM*-мультиплексоры, называемые также фильтрами, предназначением которых является разделение оптических сигналов по длинам волн, что позволяет отсеять остаточную мощность накачки на выходе усилителя [7].

Уровень отражённой мощности на входе и выходе P_{ref} служит мерой количества полезного сигнала, отражённого обратно в линейный тракт системы передачи. Данное явление, называемое паразитной обратной связью, может привести к возникновению помех и нарушению работы лазера накачки. Величина P_{ref} в децибелах определяется формулой (16).

$$P_{ref}(dBm) = P_{in}(dBm) + R(dB), \quad (16)$$

где P_{in} – мощность сигнала, приходящего на отражающий элемент, дБм;

R – коэффициент отражения, дБ.

Для минимизации данного значения прибегают к использованию оптических изоляторов на входе в усилитель и на выходе из него. В технических спецификациях вместо этой характеристики используют значение оптических обратных потерь (*return loss*, *RL*) в децибелах, полученное посредством вычисления отношения мощностей падающего и отражённого сигналов (17).

$$RL = 10 \lg\left(\frac{P_{in}}{P_{ref}}\right) \quad (17)$$

Для празеодимовых усилителей это значение обычно превышает 50 дБ, означая, что падающая мощность примерно в сто тысяч раз превышает отражённую.

Максимальная неравномерность усиления по длинам волн ΔG определяется разностью между максимальным и минимальным значениями коэффициента усиления (18).

$$\Delta G = G_{max} - G_{min} \quad (18)$$

Небольшое отклонение возникает вследствие того, что энергетические уровни ионов не являются одинаково эффективными для всех длин волн в данном диапазоне. Например, если в диапазоне 1270-1330 нм коэффициент усиления меняется от 20 до 21 дБ, то $\Delta G = 1$. Для *PDFA* это значение составляет примерно 1–2 дБ, что больше, чем у эрбиевых усилителей **(**±0,75 дБ).

Конкретные значения всех рассмотренных характеристик для волоконных празеодимовых оптических усилителей сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения характеристик для празеодимовых усилителей

Характеристика	Значение
диапазон усиливаемых длин волн, нм	1260-1360 (*O*-диапазон)
коэффициент усиления, дБ	20-30
Уровень входной мощности насыщения, дБм	–30
Максимальный уровень входной мощности, дБм	10
Коэффициент шума, дБ	5-7
Обратные потери, дБ	>50
Неравномерность коэффициента усиления в пределах рабочего диапазона длин волн	±1-2 дБ

Таким образом, исследование характеристик празеодимовых волоконных оптических усилителей помогает выявить их пригодность для применения в рамках конкретной задачи. При их сравнении с прочими волоконными усилителями ключевыми факторами являются рабочий диапазон длин волн и коэффициент шума, которые в большей степени зависят не от конструкции устройства, а от свойств, выбранных для легирования сердцевины атомов.

Подводя итоги рассмотрения физических принципов функционирования и характеристик волоконных празеодимовых оптических усилителей, можно заключить, что применение данного типа *ОА* наиболее целесообразно в чётко обозначенной области – обеспечении усиления сигнала в высокоскоростных линиях связи. Несмотря на то что отдельные характеристики *PDFA* уступают параметрам других волоконных усилителей (например, коэффициенты шума и усиления), они работают в диапазоне длин волн, включающем в себя значение нулевой дисперсии для кварцевого стекла, являющегося основным материалом для оптического волокна, и исключают необходимость модифицировать структуру среды (профиль показателя преломления сердцевины) для смещения этого значения в сторону диапазона, в котором работают более распространённые эрбиевые усилители. Перед нелинейными усилителями празеодимовые имеют преимущество в более высоком значении коэффициента усиления и устойчивости к искажениям при работе с высокоскоростными форматами модуляции. Данные особенности обуславливают использование *PDFA* в центрах обработки данных и пассивных оптических сетях, где критична передача сверхбыстрых импульсов без искажений.

Список литературы

1. Варданян В. А. Полупроводниковая фотоника в телекоммуникациях: учебное пособие / В. А. Варданян. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 284 с. – ISBN 978-5-507-52344-3.

2. Шарангович С. Н. Многоволновые оптические системы связи: учебное пособие / С. Н. Шарангович. – Томск: ТУСУР, 2016. – 156 с.

3. Дюбов А. С. Фотонно-электронные компоненты и устройства в инфокоммуникациях: учебное пособие / А. С. Дюбов; под ред. А. К. Канаева. – Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М. А. Бонч-Бруевича, 2021. – 74 с. – ISBN 978-5-89160-218-2.

4. Agrawal G.P. Fiber-optic communication systems: учебное пособие / G. P. Agrawal. – 5-е изд. – Хобокен: John Wiley & Sons, 2021. – 544 с. – ISBN 978-1-119-73736-0.

5. Варданян В. А. Основы волноводной фотоники: учебное пособие / В. А. Варданян. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 204 с. – ISBN 978-5-507-46859-1.

6. Agrawal G.P. Applications of nonlinear fiber optics: монография / G. P. Agrawal. – 3-е изд. – Амстердам: Academic Press, 2020. – 564 с. – ISBN 978-0-12-817040-3.

7. Скляров О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи: учебное пособие / О. К. Скляров – 7-е изд. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 268 с. – ISBN 978-5-507-47011-2.

© Морозова О.Н., Дупляк В.В., 2026

Глава 10.
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ И ВНЕДРЕНИЮ НАНОЧАСТИЦ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Соков Сергей Александрович
к.х.н., м.н.с. молодежной научной лаборатории
Раскильдина Гульнара Зинуровна
д.х.н., профессор, заведующий
молодежной научной лабораторией
профессор кафедры
«Общая, аналитическая и прикладная химия»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»

Аннотация: В статье представлен всесторонний обзор современных подходов к синтезу, внедрению и оценке жизненного цикла наночастиц в нефтехимической отрасли. Рассмотрены фундаментальные причины эффективности наноматериалов, заключающиеся в резком увеличении удельной поверхности и избыточной поверхностной энергии, что позволяет целенаправленно регулировать смачиваемость пород, вязкость тяжелой нефти и активность катализаторов. Систематизированы нисходящие и восходящие методы получения наночастиц. Особое внимание уделено микроэмульсионному синтезу и формированию катализаторов *in situ* непосредственно в реакционной среде из солей переходных металлов, что позволяет достигать 90–95% конверсии тяжелого сырья при пониженном давлении. Для процессов добычи описаны механизмы снижения вязкости нефти с помощью суспензий наночастиц натрия, генерирующих водород, а также методы изменения смачиваемости коллектора посредством коллоидных растворов. Затронуты вопросы применения углеродных нанотрубок и

магнетита для снижения межфазного натяжения и управляемой сепарации. Показано, что, несмотря на более высокую первоначальную стоимость нанокатализаторов, экономический эффект достигается за счет снижения металлоемкости оборудования, энергозатрат и увеличения межремонтного пробега.

Ключевые слова: наночастицы, нефтехимия, синтез *in situ*, гидроконверсия, тяжелая нефть, микроэмульсии, смачиваемость, акватермолиз, каталитическая активность, коллоидная устойчивость, регенерация катализаторов.

MODERN APPROACHES TO THE SYNTHESIS AND IMPLEMENTATION OF NANOPARTICLES IN THE PETROCHEMICAL INDUSTRY

Sokov Sergey Alexandrovich
Raskildina Gulnara Zinurovna

Abstract: This article presents a comprehensive review of modern approaches to the synthesis, implementation, and life cycle assessment of nanoparticles in the petrochemical industry. The fundamental reasons for the effectiveness of nanomaterials are considered, including a sharp increase in specific surface area and excess surface energy, which enables targeted control of rock wettability, heavy oil viscosity, and catalyst activity. Top-down and bottom-up methods for nanoparticle production are systematized. Particular attention is paid to microemulsion synthesis and in situ catalyst formation directly in the reaction medium from transition metal salts, which enables achieving 90–95% conversion of heavy feedstock at reduced pressure. For production processes, mechanisms for reducing oil viscosity using sodium nanoparticle suspensions that generate active hydrogen, as well as methods for modifying reservoir wettability using colloidal solutions, are described. The use of carbon nanotubes and magnetite to reduce interfacial tension and

achieve controlled separation are discussed. It has been shown that, despite the higher initial cost of nanocatalysts, the economic effect is achieved by reducing the metal consumption of equipment, energy costs and increasing the time between repairs.

Key words: nanoparticles, petrochemistry, in situ synthesis, hydroconversion, heavy oil, microemulsions, wettability, aquathermolysis, catalytic activity, colloidal stability, catalyst regeneration.

Нефтяная индустрия переживает период, когда традиционные приёмы интенсификации добычи и углубления переработки всё чаще упираются в физико-химические ограничения, вызванные утяжелением сырьевой базы и увеличением доли трудноизвлекаемых запасов [1, 2]. Переход к наночастицам может предоставить иные механизмы воздействия на пластовые флюиды, каталитические процессы и свойства конструкционных материалов. Причина высокой результативности наночастиц кроется в резком возрастании удельной поверхности и энергетической избыточности на межфазных границах: именно эти факторы позволяют целенаправленно менять смачиваемость породы, снижать вязкость тяжёлой нефти, формировать высокоактивные катализаторы непосредственно в реакционной среде и придавать покрытиям повышенную стойкость к износу и коррозии. В выполненном обзоре систематизированы данные лабораторных, стендовых и опытно-промышленных испытаний.

Они базируются на фундаментальном изменении свойств вещества при уменьшении его структурных элементов до нанометрового диапазона. Решающую роль здесь играет резкое увеличение удельной поверхности и, как следствие, доли атомов, находящихся в энергетически избыточном состоянии на границе раздела фаз. Именно эти атомы формируют активные центры, определяющие поведение дисперсных систем в пластовых условиях или в ходе каталитической переработки углеводородного сырья. Производство наноразмерных

материалов для задач нефтяной индустрии развивается по двум генеральным направлениям – нисходящему (сверху вниз), предполагающему измельчение объёмного сырья, и восходящему (снизу вверх), основанному на контролируемой сборке частиц из молекулярных предшественников. Вместе с тем практическая реализация этих методов неизбежно сталкивается с комплексом технологических и экономических проблем, требующих глубокой проработки: от стабилизации дисперсий при транспортировке до оценки срока службы и стоимости создаваемых материалов в реальных условиях эксплуатации.

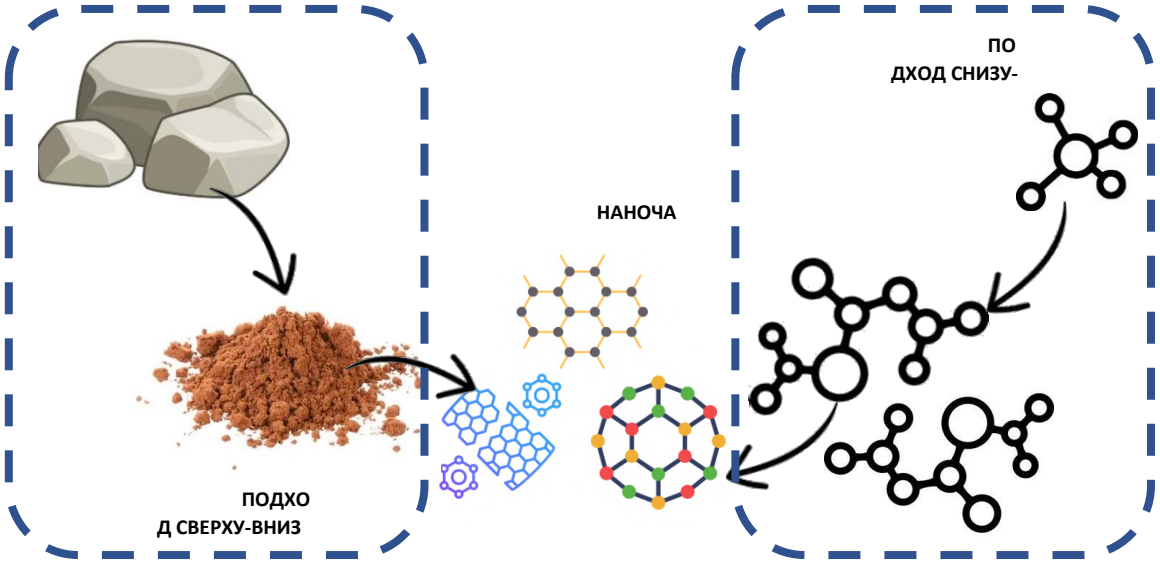


Рис. 1. Принципиальные подходы в синтезе наноразмерных частиц и кластеров

Нисходящие процессы реализованы, в частности, в методе высокотемпературного сдвигового измельчения, позволившем превращать вторичные эластомеры в порошки «Унирем» с размером частиц от нескольких десятков до сотен микрометров. При смешении с горячим битумом такие порошки распадаются на микроблоки, структурируя вяжущее вплоть до наноуровня, что повышает морозостойкость асфальтобетона и на 25–100% снижает шумность

дорожного покрытия [3]. Однако для тонкого управления составом и морфологией каталитически активных фаз более востребован восходящий химический синтез. В микроэмульсионном методе капли водного раствора солей металлов, стабилизированные поверхностно-активным веществом в углеводородной среде, служат нанореакторами. Таким способом удаётся получать наночастицы железа, никеля, кадмия, палладия и платины с контролируемым диаметром [4, 5]. Принципиально важно, что конечная микроэмульсия уже представляет собой готовую дисперсию для закачки в пласт: транспортным агентом служит сама углеводородная фаза, а стабильность в процессе закачки обеспечивается адсорбционным слоем эмульгатора, предотвращающим коагуляцию. Дополнительную коллоидную устойчивость при движении по стволу скважины и в призабойной зоне придают ультразвуковая обработка суспензии непосредственно перед закачкой и оптимизация концентрации дисперсной фазы. Ориентиром здесь служат результаты численного моделирования, согласно которым в трёхмерной призматической геометрии неоднородного коллектора максимальная нефтеотдача наблюдается при объёмной доле наночастиц TiO_2–SiO_2 0,05% и пористости 0,3, а повышение температуры выше 100°C постепенно снижает эффективность вытеснения именно из-за дестабилизации суспензии [5].

Ещё более эффективным применительно к переработке тяжёлых остатков оказался метод формирования катализатора *in situ*, то есть непосредственно в реакционной среде. В гудрон или вакуумный остаток вводят раствор солей металлов VI–VIII групп (молибдена, никеля, кобальта). При температурах 440–460°C и давлении водорода 6–10 МПа происходит образование наноразмерных сульфидных частиц, диаметр которых соизмерим с размером ассоциатов асфальтенов [6–8]. Синтезированные таким образом катализаторы позволяют достигать 90–95% конверсии сырья в дистиллятные фракции при значительно более мягком давлении, чем классические технологии гидрокрекинга

(15–30 МПа) [6]. Параллельно с синтезом решается проблема агломерации, поскольку частицы генерируются равномерно во всём объёме сырья и сразу покрываются слоем адсорбированных асфальтенов и смол, выполняющих роль стерического стабилизатора. Тем не менее агрегация не исключена полностью. При превышении конверсии остатка выше 50% масс зафиксировано образование агрегатов и их участие в коксообразовании, ухудшающее процесс облагораживания [9]. Для подавления этого эффекта в реакционную смесь вводят дополнительные доноры водорода, в частности циклогексан, одновременное присутствие которого с ультрадисперсным Ni-Mo/Al_2O_3 катализатором (средний размер частиц 2,4 мкм) снижает выход кокса на 6–45% и повышает долю средних дистиллятов (200–343°C) [10].

Долговременное сохранение каталитической активности возможно лишь при условии эффективной регенерации отработанных наночастиц. Исследования адсорбции асфальтенов на оксидах железа(III), кобальта(II,III) и никеля(II) показали, что сродство убывает в ряду NiO > Co_3O_4 > Fe_2O_3, а удаление адсорбированных компонентов достигается паровой газификацией при относительно низкой температуре начала процесса. Расчётная степень конверсии асфальтенов для NiO, Co_3O_4 и Fe_2O_3 составила 37, 32 и 21% соответственно, что открывает путь к созданию замкнутых циклов «катализ – регенерация» непосредственно на промысле [11]. Помимо водяного пара изучается возможность использования в качестве регенерирующего агента диоксида углерода, что одновременно способствовало бы утилизации парниковых газов.

Что касается долгосрочной стабильности свойств наночастиц в реальных условиях эксплуатации, соответствующие данные накапливаются в ходе стендовых испытаний и опытно-промышленных пробегов. Так, борированные сукцинимидные присадки в моторных маслах показали способность сохранять антиокислительную активность в течение 90 часов непрерывного окисления при 200°C, тогда как неборированный аналог терял работоспособность уже через 50 часов

[12]. Одновременно борированные сукцинимиды предотвращают агломерацию сажевых частиц в системах с рециркуляцией выхлопных газов, поддерживая их в виде наносуспензии, свободно проходящей через масляный фильтр и снижающей количество отложений на деталях двигателя [12–13]. Испытания на усталость материалов, модифицированных наночастицами, проводились преимущественно для дорожных покрытий. Асфальтобетон с добавкой высокодисперсной резины демонстрирует значительно более высокую упругую стойкость к колееобразованию при циклических транспортных нагрузках и сохраняет пластичность при температурах до –30°C, в то время как немодифицированное покрытие в тех же условиях растрескивается [1]. Для нефтепромыслового оборудования разработаны покрытия с наночастицами карбидов и оксидов, прошедшие ускоренные испытания на износ в агрессивных средах, содержащих сероводород и углекислый газ. Полученные результаты свидетельствуют, что введение в состав покрытия наночастиц диоксида титана или церия повышает коррозионную стойкость в 1,5–2 раза, однако количественные данные по усталостной прочности при циклических нагрузках в скважинных условиях пока ограничены.

Экономическая сторона вопроса является одним из главных препятствий на пути масштабного внедрения. Проведённые оценки показывают, что затраты на производство нанокатализаторов химическими методами могут превышать стоимость традиционных катализаторов в 3–5 раз в пересчёте на килограмм активного металла. Однако эта разница компенсируется снижением эксплуатационных расходов. Так, применение наноразмерных катализаторов гидроконверсии позволяет вести процесс при 6–10 МПа вместо 15–30 МПа, что резко уменьшает металлоёмкость реакторного оборудования, расход водорода и энергозатраты на компримирование [6]. Кроме того, повышение выхода дистиллятов и глубины переработки даёт дополнительную маржинальную прибыль. Ориентировочный срок

окупаемости при строительстве нового блока гидроконверсии с нанокатализаторами оценивается в 4–6 лет при текущем уровне цен на нефтепродукты, однако точный расчёт требует привязки к конкретному составу сырья и мощности установки. Расходы на специальное оборудование (ультразвуковые диспергаторы, гомогенизаторы высокого давления для приготовления суспензий, системы контроля размера частиц в потоке) добавляют к капитальным затратам порядка 10–15% от стоимости основных аппаратов. Вместе с тем, производители, такие как QuantumSphere Inc., уже демонстрируют возможность получения никель-кобальтовых нанопорошков, которые способны заменить до половины платины в топливных элементах и катализаторах окисления при снижении затрат до 43–50%, что подтверждает общую тенденцию к удешевлению наноматериалов по мере совершенствования технологии [14]. В нефтехимическом секторе аналогичные расчёты для цеолитсодержащих катализаторов крекинга, промотированных наночастицами никеля или меди, показывают, что увеличение срока службы катализатора всего на 20% уже делает процесс экономически оправданным [15].

Также одной из современных проблем является необходимость повышения эффективности разработки месторождений с высоким содержанием тяжелых компонентов – битуминозных пород [16, 17], запасы которых по разным оценкам составляет до 10 млрд тонн [18]. Значительная доля запасов нефти в РФ относится к трудноизвлекаемым: тяжелые и сверхтяжелые нефти составляют около 34% (6,3 млрд тонн) от текущих разбуренных промышленных извлекаемых запасов нефти РФ. Классические подходы (карьерные, холодные и тепловые методы) к добыче тяжелых, битумных нефтей, имеют множество технических ограничений, низкую скорость или неудовлетворительный коэффициент извлечения нефти. Множество работ содержат информацию о применении металлических наночастиц в разработке месторождений с тяжелой, сверхвязкой нефтью [19]. При этом наночастицы могут иметь

различный механизм воздействия и способ увеличения эффективности нефтеотдачи: снижение вязкости нефти; очистка от примесей; увеличение проникающей способности.

Так, была показана эффективность применения наноразмерных частиц металлического натрия до 10 нм для снижения вязкости нефти [20, 21]. Обычно для снижения вязкости в продуктивный пласт подается горячий водяной пар, однако генерация оного бывает довольно проблематично с экономической точки зрения, а также может приводить к коррозии оборудования. В случае же использования наночастиц натрия в пласт вводится суспензия натрия в углеводородах (рисунок 2).

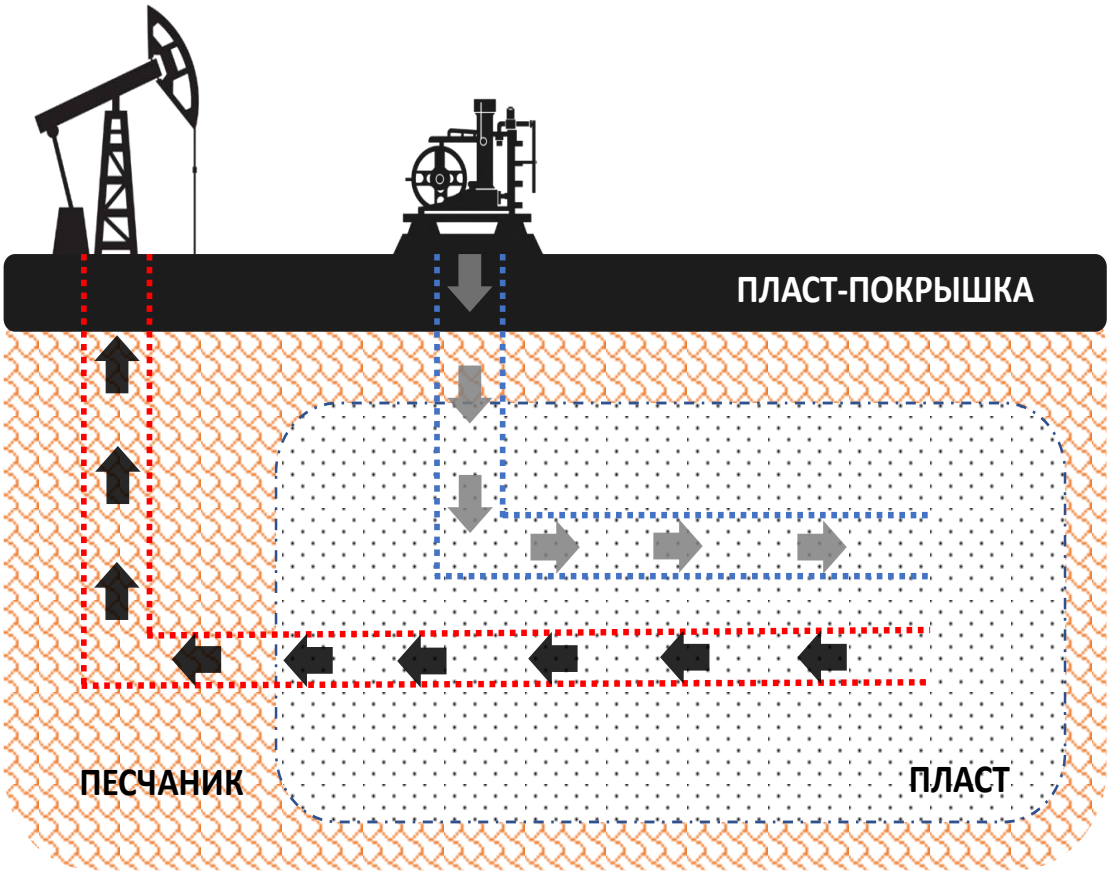


Рис. 2. Схема введения в пласт суспензии наночастиц натрия (выделены серым). Нагреваемая при этом нефть подается на добычу (выделено черным)

Физико-химическая сущность процесса основана на реакции наночастиц натрия с пластовой водой, в результате которой генерируется молекулярный водород и образуется щёлочь; водород обеспечивает каталитическое гидрирование высокомолекулярных компонентов нефти (по сообщению авторов [21, 22]), разрывая связи углерод-гетероатом (прежде всего связи C-S), насыщая ароматические структуры и способствуя переходу смол и асфальтенов в более лёгкие насыщенные углеводороды, что ведёт к снижению вязкости (до 26% при 250°C и до 59% при 300°C), а образующаяся щёлочь участвует в нейтрализации кислых газов H_2S и CO_2, переводя серу в водорастворимые сульфиды и частично устраняя коррозионные проблемы, характерные для добычи высокосернистой нефти. Суммарно протекающие процессы могут быть записаны как:

$$Na + H_2O = NaOH + H_2 \quad (1)$$

$$H_2 + C\text{-}S = C\text{-}H + H_2S \quad (2)$$

$$H_2S + NaOH = Na_2S + H_2O \quad (3)$$

Данная технология в 2024-2025 гг. прошла серию промысловых испытаний на объектах компании ПАО «Татнефть», доказавшая высокую эффективность технологии. На 2026 г. уже утверждена программа по ее масштабированию на новые объекты в юго-восточной части Татарстана.

Снижение вязкости нефти может достигаться и путем повышения её гидрофильности, растворимости для облегчения транспорта водяным паром. С точки зрения физико-химических основ процесс базируется на изменении смачиваемости породы коллектора и реологии межфазных границ [22]. Ключевая задача — перевести поверхность поровых каналов из нефтесмачиваемого или смешанного состояния в гидрофильное, чтобы десорбировать пленочную нефть и капиллярно-защемленные глобулы. Здесь работают несколько классов наночастиц. Наиболее изучены коллоидные растворы диоксида кремния (SiO_2) [23, 24] и оксида алюминия (Al_2O_3) [24] с размерами частиц в узком диапазоне от 5 до 20

нанометров, что критически важно для проникновения в субмикронные поровые горла низкопроницаемых коллекторов без кольматации. Механизм их действия, предположительно, заключается в создании структурно-дислокационного клина: обладая огромной удельной поверхностью и избыточной свободной энергией, наночастицы способны самопроизвольно адсорбироваться на отрицательно заряженных участках карбонатной или глинистой породы, формируя сплошную гидрофильную нанопленку с краевым углом смачивания, стремящимся к нулю. В результате капиллярное давление меняет «знак», проталкивая нефть к добывающим скважинам. Важно отметить, что такой механизм носит предположительный характер и требует уточнений исходя из условий конкретного нефтяного коллектора.

Отдельно стоит выделить углеродные нанотрубки и графеноподобные наночастицы, которые работают как агенты снижения трения. Благодаря эффекту Марангони и быстрой термодиффузии, эти частицы концентрируются на межфазной границе «нефть-пластовая вода», разрушая оболочки из асфальтенов и смол [25, 26]. Происходит «чешуйчатое» расслоение вязкой эмульсии: наночастицы оксида графена (с поперечным размером 1–3 нм) действуют, снижая межфазное натяжение до низких значений (менее 10^{-1} мН/м). Наконец, активно внедряются частицы и материалы на основе магнетита (Fe_3O_4), чей средний диаметр регулируется в пределах 10–30 нм, а наночастицы позволяют управлять процессом транспортировки и сепарации [27, 28].

Эффект Марангони также находит применения в случае наноэмульсий. Они, в отличие от термодинамически стабильных микроэмульсий, являются кинетически стабильной системой с размером капель от десятков до сотен нанометров.

Одним из примеров, описанных в литературе, является система, которая готовилась методом низкоэнергетической эмульсификации на основе двух неионогенных поверхностно-активных веществ с использованием смеси бутанола и ксилола в качестве растворителей,

без добавления щелочи и солей для устранения влияния межфазной активности асфальтенов и диффузионных градиентов. Средний диаметр частиц при этом варьировался от 83 нм до 151 нм, при этом разбавление приводило к увеличению размера капель из-за переконденсации и последующему росту полидисперсности [29, 30].

Анализ взаимодействия наноэмульсии с тяжелой нефтью и нефтенасыщенным песком при этом демонстрирует такое явление как спонтанную межфазную турбулентность. Адсорбция наночастиц эмульсии на границе раздела создает локальный градиент межфазного натяжения: низковязкая зона самопроизвольно перемещается в сторону высоковязкой, конвертируя анизотропию межфазной энергии в кинетическую энергию потока. Это обеспечивает отрыв нефтяной пленки с поверхности кварцевого песка, ее накопление в капли и последующее эмульгирование (рисунок 3). Такой подход позволяет увеличить эффективность извлечения нефти до 24% в керне. Во многом это объясняется большей площадью поверхности наноразмерных эмульсий по сравнению с обычно применяемыми экстрагентами или микроразмерными эмульсиями.

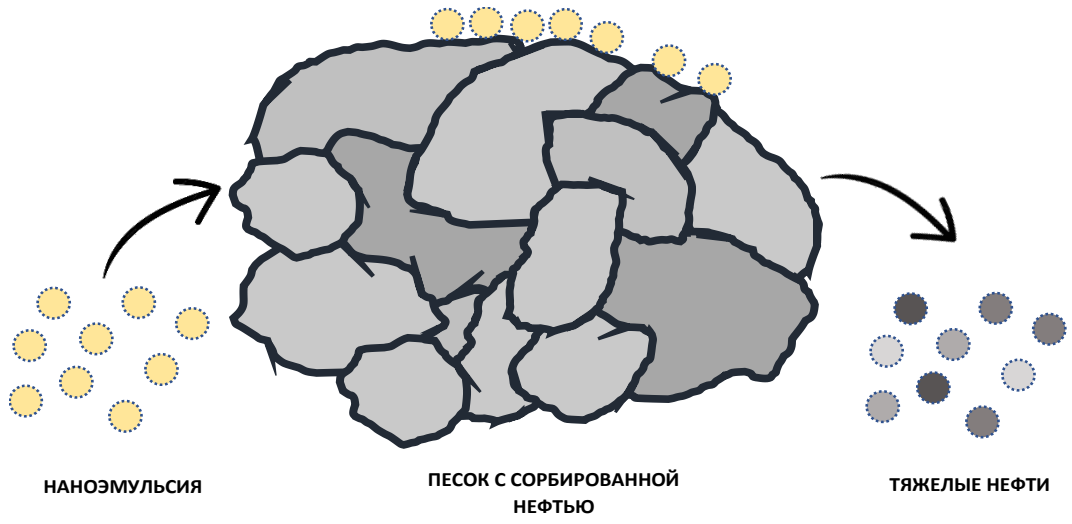


Рис. 3. Действие наноразмерных эмульсий на песок, пропитанный нефтью

Таким образом, дополнение физико-химических исследований оценкой стабильности, регенерационной способности и экономических показателей создаёт целостную картину жизненного цикла нанотехнологических решений в нефтяной отрасли. Накопленные данные позволяют утверждать, что большинство выявленных проблем носят преодолимый инженерный характер и активно прорабатываются научными группами. По мере получения результатов длительных опытно-промышленных испытаний и уточнения экономических моделей следует ожидать перехода наночастиц из категории лабораторных экспериментов в разряд стандартных инструментов нефтедобычи и нефтепереработки.

Примечания

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности, номер для публикаций FEUR — 2025-0001 «Нефтехимические реагенты, добавки и материалы».

Список литературы

1. Gomaa S., Salem K. G., El-Hoshoudy A. N. Enhanced heavy and extra heavy oil recovery: Current status and new trends // Petroleum. – 2024. – Т. 10. – № 3. – С. 399-410. (doi.org/10.1016/j.petlm.2023.10.001).

2. Yatimi Y. et al. Advancement in heavy oil upgrading and sustainable exploration emerging technologies //Arabian Journal of Chemistry. – 2024. – Т. 17. – № 3. – С. 105610 (doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105610).

3. Иванов С. А., Шабаев С. Н., Тюрюханов К. Ю. Утилизация резиновой крошки путем производства модифицированного битума //Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9 (93). – С. 143-160. (cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-rezinovoy-kroshki-putem-proizvodstva-modifitsirovannogo-bituma).

4. Capek I. Preparation of metal nanoparticles in water-in-oil (w/o)

microemulsions //Advances in colloid and interface science. – 2004. – Т. 110. – № 1-2. – С. 49-74. (doi.org/10.1016/j.cis.2004.02.003).

5. Hashemi R., Nassar N. N., Pereira Almao P. Enhanced heavy oil recovery by in situ prepared ultradispersed multimetallic nanoparticles: A study of hot fluid flooding for Athabasca bitumen recovery //Energy & Fuels. – 2013. – Т. 27. – № 4. – С. 2194-2201. (doi.org/10.1021/ef3020537).

6. Окунев А. Г. и др. Каталитическая гидропереработка тяжелого нефтяного сырья //Успехи химии. – 2015. – Т. 84. – № 9. – С. 981-999. (doi.org/10.1070/RCR4486).

7. Кадиева М. Х. и др. Синтез наноразмерных катализаторов гидроконверсии тяжелого нефтяного сырья //Научная конференция ИНХС РАН, посвященная 80-летию со дня рождения академика Николая Альфредовича Платэ. – 2014. – С. 111-111. (https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22717812).

8. Мустафин И. А. и др. Гидрокаталитические процессы переработки тяжелых нефтяных фракций с использованием перспективных наноразмерных катализаторов // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 7. – С. 22-28. (https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35559323).

9. Galarraga C. E., Pereira-Almao P. Hydrocracking of Athabasca bitumen using submicronic multimetallic catalysts at near in-reservoir conditions //Energy & Fuels. – 2010. – Т. 24. – № 4. – С. 2383-2389. (doi.org/10.1021/ef9013407).

10. Hart A. et al. Effect of cyclohexane as hydrogen-donor in ultradispersed catalytic upgrading of heavy oil //Fuel Processing Technology. – 2015. – Т. 138. – С. 724-733. (doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.07.016).

11. Nassar N. N., Hassan A., Pereira-Almao P. Application of nanotechnology for heavy oil upgrading: Catalytic steam gasification/cracking of asphaltenes // Energy & Fuels. – 2011. – Т. 25. – № 4. – С. 1566-1570. (doi.org/10.1021/ef2001772).

12. Газизов Р. С., Солодова Н. Л., Терентьева Н. А. Сланцевый газ //Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 3. – С. 28-34. (cyberleninka.ru/article/n/slantsevyy-gaz).

13. Болотов А. Н., Новикова О. О. Магнитные нанодисперсные смазочные материалы на основе кремнийорганических жидкостей //Перспективные материалы. – 2018. – № 11. – С. 17-32. (https://www.elibrary.ru/ item.asp?id=36499559).

14. Wang J. et al. The processes for fabricating nanopowders //Advanced nanomaterials and coatings by thermal spray. – Elsevier, 2019. – С. 13-25. (doi.org/10.1016/B978-0-12-813870-0.00002-4).

15. Уржумова Е. В. и др. Усовершенствование катализаторов облагораживания прямогонных бензиновых фракций нефти //Катализ в промышленности. – 2011. – № 2. – С. 28-32. (https://www.catalysis-kalvis.ru/jour/article/view/904).

16. Яртиев А. Высоковязкие нефти и природные битумы: государственное участие в повышении эффективности разработки месторождений //Деловой журнал Neftegaz. RU. – 2012. – № 10. – С. 40-44. (https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23270022).

17. Башкирцева Н. Ю. Высоковязкие нефти и природные нефти // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 19. – С. 296-299. (https://cyberleninka.ru/article/n/vysokovyazkie-nefti-i-prirodnye-nefti).

18. Парамзин А. Р. и др. Современное состояние мировых запасов высоковязкой нефти и природного битума //Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16. – № 2. – С. 85. (https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-mirovyh-zapasov-vysokovyazkoy-nefti-i-prirodnogo-bituma).

19. Гадельшин Р. М. и др. Применение наночастиц в нефтедобыче тяжелой и битуминозной нефти //Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 17. – С. 60-63. (https://cyberleninka.

ru/article/n/primenenie-nanochastits-v-neftedobyche-tyazheloy-i-bituminoz noy-nefti).

20. Katnov V. et al. In-situ upgrading of heavy oil via aquathermolysis using metallic sodium nanosuspension: Thermal treatment optimization and mechanistic investigation // Fuel. – 2026. – Т. 404. – С. 136344. (doi.org/10.1016/j.fuel.2025.136344).

21. Zhao Q. et al. Sub-and supercritical water upgrading of heavy oil: A review of laboratory-scale research on upgrading performance and physicochemical mechanism // Chemical Engineering Journal. – 2024. – Т. 500. – С. 157376. (doi.org/10.1016/j.cej.2024.157376).

22. Ушакова А. С., Аникеев Д. П., Аникеева Э. С. Применение наночастиц в нефтяной промышленности для повышения нефтеотдачи и увеличения продуктивности нагнетательных и добывающих скважин //Актуальные проблемы нефти и газа. – 2026. – Т. 17. – № 1. – С. 108-133. (https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-nanochastits-v-neftyanoy-promys hlennosti-dlya-povysheniya-nefteotdachi-i-uvelicheniya-produktivnosti-nagne tatelnyh-i).

23. Rezaei A. et al. Insights into the effects of pore size distribution on the flowing behavior of carbonate rocks: Linking a nano-based enhanced oil recovery method to rock typing //Nanomaterials. – 2020. – Т. 10. – № 5. – С. 972. (doi.org/10.3390/nano10050972)

24. Zabala R. et al. Nano-technology for asphaltenes inhibition in Cupiagua South Wells //IPTC 2014: International Petroleum Technology Conference. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2014. – С. cp-395-00130. (https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.395.IPTC-17344-MS).

25. Abdullah T. A. et al. Functionalized multi-walled carbon nanotubes for oil spill cleanup from water //Clean Technologies & Environmental Policy. – 2022. – Т. 24. – №. 2. – С. 519-541. (doi.org/10.1007/s10098-021-02104-0).

26. Shen M., Resasco D. E. Emulsions stabilized by carbon nanotube–

silica nanohybrids //Langmuir. – 2009. – Т. 25. – №. 18. – С. 10843-10851. (doi.org/10.1021/la901380b).

27. Liang J. et al. Magnetic demulsification of diluted crude oil-in-water nanoemulsions using oleic acid-coated magnetite nanoparticles //Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2015. – Т. 466. – С. 197-202. (doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.11.050).

28. Elmobarak W. F., Almomani F. Application of Fe3O4 magnetite nanoparticles grafted in silica (SiO2) for oil recovery from oil in water emulsions // Chemosphere. – 2021. – Т. 265. – С. 129054. (doi.org/ 10.1016/j.chemosphere.2020.129054).

29. Zhang D. et al. Application of the marangoni effect in nanoemulsion on improving waterflooding technology for heavy-oil reservoirs // SPE Journal. – 2018. – Т. 23. – № 03. – С. 831-840. (doi.org/10.2118/187953-PA).

30. Андреева Е. С., Маринина О. А., Туровская Л. Г. Наножидкостное заводнение как метод повышения нефтеотдачи: механизм, преимущества // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 189–202. (https://cyberleninka.ru/article/n/nanozhidkostnoe-zavodnenie-kak-metod-povysheniya-nefteotdachi-mehanizm-preimuschestva).

© Соков С.А., Раскильдина Г.З.

Глава 11.
МЕТРИЧЕСКАЯ ТАКСОНОМИЯ БИОЭЛЕМЕНТОВ В БИОТЕХНОЛОГИИ: ОТ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННЫХ ОЗЁР К УПРАВЛЕНИЮ БИОРЕАКТОРОМ

Полянская Ирина Сергеевна
к.т.н., доцент, преподаватель
ФГБОУ ВО «Вологодская молочнохозяйственная академия»

Аннотация: Показан потенциал предложенной ранее классификации биоэлементов, основанной на действительных значениях латинских дольных приставок (метрической таксономии биоэлементов), как эффективного инструмента выявления и прогнозирования критической вариабельности элементного состава природных вод и крупномасштабных водных биореакторов. На основе анализа данных о химическом составе озёр различных регионов, включая российские водоёмы, продемонстрировано, что метрическая таксономия позволяет количественно ранжировать отклонения концентраций биоэлементов (Fe, Mn, P, N, Cu, Zn и др.) от средних значений по гидросфере, выявляя переход элементов из одного метрического класса в другой и связанные с этим биотехнологические риски. Предложены практические подходы к использованию классификации: (1) для экспресс-аудита источника воды и прогноза его пригодности для биотехнологических процессов; (2) для построения алгоритмов управления химическим составом среды в биореакторах при культивировании гидробионтов, целевых непатогенных микроорганизмов или фагов. Обоснована перспективность применения метрической таксономии как унифицированного инструмента управления качеством водных сред в экологической биотехнологии.

Ключевые слова: биоэлементы, метрическая классификация, бактериофаг, биореактор, экологический мониторинг.

METRIC TAXONOMY OF BIOELEMENTS IN BIOTECHNOLOGY: FROM NATURAL LAKE ANALYSIS TO BIOREACTOR CONTROL

Polyanskaya Irina Sergeevna

Abstract: The potential of the previously proposed classification of bioelements based on the actual values of Latin fractional prefixes (metric taxonomy of bioelements) is demonstrated as an effective tool for identifying and predicting critical variability in the elemental composition of natural waters and large-scale aquatic bioreactors. Based on the analysis of monitoring data from lakes in various regions worldwide, it is shown that metric taxonomy enables quantitative ranking of deviations in bioelement concentrations (Fe, Mn, P, N, Cu, Zn, etc.) from average hydrosphere values and reveals transitions of elements between metric classes along with associated biotechnological risks. Practical approaches to applying this classification are proposed, including express audit of water sources and management of the chemical composition of growth media in bioreactors for cultivating aquatic organisms, target non-pathogenic microorganisms, or phages. The prospects of using metric taxonomy as a unified tool for water quality management in environmental biotechnology are substantiated.

Key words: bioelements, metric taxonomy, bacteriophage, bioreactor, environmental monitoring.

В работе теоретический концепт новой классификации биоэлементов с учетом действительного значения латинских приставок [1, с. 37] впервые осмыслен как прикладной инструмент экологической биотехнологии, практическое приложение в задачах экологической гидрохимии и биотехнологии в трёх частях:

1. Анализ естественных озёр: обоснование проблемы и классификации

Данные многолетнего мониторинга озёр различных регионов показывают, что концентрации биоэлементов (Fe, Mn, Cu, Zn, P, N и др.) способны отличаться от средних по гидросфере на один-три порядка, переходя из одного метрического класса в другой. Например, железо, в среднем являющееся «микроэлементом I порядка» ($2 \cdot 10^{-6}$ г/л), в водах дельты Селенги стабильно достигает концентраций «миллиэлемента III порядка» ($\geq 10^{-4}$ г/л) [2, с. 189]. Традиционное деление на макро- и микроэлементы этот масштаб отклонений не улавливает; метрическая таксономия биоэлементов (милли-, микро-, нано- и т.д.), основанная на действительных значениях латинских дольных приставок, превращает такую вариабельность в количественно измеримый и классифицируемый параметр.

2. Связующее звено: от теории к практике.

Переход от геохимических данных к потребностям разных объектов культивирования. Для оценки рисков в биореакторе при разведении гидробионов особенно важны нормативы для рыбохозяйственных водоёмов (ПДКрыбхоз), поскольку они наиболее консервативны и направлены на защиту водных экосистем на всех уровнях. При сопоставлении этих нормативов с метрической таксономией каждый нормативный порог получает свой «метрический класс», что позволяет не просто констатировать превышение, а количественно выразить его в числе порядков. Региональные геохимические особенности, отражаемые в региональных ПДК, также естественно вписываются в эту схему, задавая локально адаптированные метрические диапазоны.

3. Управление биореактором: практические выводы и рекомендации результаты и рекомендации на примере масштабирования получения фаголизатов

На примере получения фаголизатов и фаголитических белков на озерной воде показано, что метрическая таксономия не самоцельная классификация, а инструмент оперативного управления составом среды в крупномасштабном биореакторе.

4. Исследование возможности практических алгоритмов управления в экологической кормовой и пищевой комбинаторике с использованием метрической таксономии биоэлементов. Данный раздел очерчивает контуры будущего исследования, в котором методы метрической таксономии становятся ядром алгоритмов поддержки принятия решений.

1. Анализ естественных озёр: обоснование проблемы и классификации

Сравнительный анализ теоретических средних значений состава гидросферы планеты Земля и реальный разброс в природе (табл. 1) констатирует факт существенной изменчивости состава вод, а также выявляет три основных направления того, как метрическая таксономия способна помочь в практическом управлении экологическими и биотехнологическими процессами.

С целью выявления и категоризации «активных зон» составлена таблица 1, которая наглядно показывает, что элементы с «милли-» или «микро-» статусом (Fe, Mn, Cu, Zn) могут вести себя совершенно по-разному. Например, железо, которое в среднем является «микроэлементом I порядка», в конкретном озере может достигать концентраций «миллиэлемента I порядка» — разница в 1000 раз! Это означает, что если мы возьмём воду из такого озера для биореактора, мы рискуем получить сильнейший окислительный стресс для биотехнологических целевых продуктов. Метрическая таксономия позволяет моментально оценить масштаб этого отклонения от «нормы».

Особую ценность представляют данные по озёрам, табл. 1, с чёткой сезонной стратификацией, в которых Fe, Mn, P и As тесно связаны

в единый биогеохимический цикл. Летом, в бескислородных придонных слоях, Fe^{2+} и Mn^{2+} переходят в раствор, «вытягивая» за собой фосфор и мышьяк [3, с. 246]. Их концентрации могут скачкообразно возрастать на порядки. Наш метод позволяет не просто фиксировать эти скачки, а классифицировать их, относя эти элементы в разряд потенциально токсичных на основании их временного перехода в другой «метрический класс».

Таблица 1

Распределение данных по химическому составу воды озёр в соответствии с метрической классификацией [3–5]

Элемент	Класс в гидросфере (из табл. 1)	Реальный диапазон в природных водах	Возможный метрический класс в конкретном озере
Фосфор (P)	Миллиэлемент III порядка	< 0.005 мг/л (олиготрофные) — > 1.0 мг/л (эвтрофные/сточные воды)	От Микроэлемента I порядка до **Миллиэлемента II порядка**
Азот (N)	Миллиэлемент II порядка	< 0.1 мг/л (олиготрофные) — > 10 мг/л (загрязнённые/сточные воды)	От Миллиэлемента III порядка до **Миллиэлемента I порядка**
Железо (Fe)	Микроэлемент I порядка	0.09 мг/л (оз. Виктория) — 61 мг/л (оз. в сухой сезон)	От Миллиэлемента III порядка до **Миллиэлемента I порядка**
Марганец (Mn)	Микроэлемент II порядка	0.02 мг/л (оз. Виктория) — 38.3 мг/л	От Микроэлемента II порядка до **Миллиэлемента I порядка**

Продолжение таблицы 1

Мышьяк (As)	Микроэлемент I порядка	0.001 мг/л — 0.064 мг/л	От Микроэлемента III порядка до Микроэлемента I порядка
Медь (Cu)	Микроэлемент II порядка	0.001 мг/л — 0.020 мг/л	От **Наноэлемента** до Микроэлемента II порядка
Цинк (Zn)	Микроэлемент I порядка	0.0001 мг/л — 0.166 мг/л	От **Наноэлемента** до Микроэлемента I порядка
Свинец (Pb)	Микроэлемент III порядка	0.001 мг/л — 0.027 мг/л	От Микроэлемента III порядка до Микроэлемента II порядка

Зная «метрический класс» элемента и сопоставляя его с литературными данными, мы можем создать простой алгоритм. Например, если мы планируем забор воды из нового источника и видим, что содержание марганца там не просто «микроэлемент II порядка» (как в среднем по гидросфере), а находится на уровне «миллиэлемента III порядка» (что характерно для многих эвтрофных озёр), это должно стать немедленным сигналом для более детального анализа и, возможно, предварительной обработки воды.

Таким образом, на практике концентрации ключевых элементов в разных озёрах мира могут кардинально отличаться от некоего «среднего» значения по гидросфере — на 2–3, а иногда и на 4 порядка. Принятая же сейчас классификация «микро-/макро-» скрывает этот гигантский разброс, при использовании метрической классификацию, эти, казалось бы, разрозненные данные могут быть приведены в стройную систему.

2. Связующее звено: от теории к практике

Разные группы культивируемых объектов предъявляют принципиально разные требования к точности поддержания элементного

состава среды, и метрическая таксономия позволяет формализовать эти требования через ширину допустимого метрического класса.

Для рыб, особенно на ранних стадиях развития (икра, личинки), допустимый диапазон концентраций большинства микроэлементов укладывается в пределы одного метрического порядка, а по таким элементам, как медь и цинк, — в доли порядка [6–8]. Приказ Федерального агентства по рыболовству (ПДКрыбхоз) от 26 мая 2025 года № 296, наиболее консервативные из действующих нормативов, устанавливают для железа порог 0,1 мг/л (миллиэлемент III порядка), для марганца — 0,01 мг/л, для цинка — 0,01 мг/л, для меди — 0,001 мг/л (микроэлемент III порядка), для свинца — 0,006 мг/л, для никеля — 0,01 мг/л, для алюминия — 0,04 мг/л, для кадмия — 0,005 мг/л. Для форели, как одного из наиболее чувствительных видов, токсичность меди начинает проявляться уже при концентрациях порядка 0,002–0,01 мг/л в зависимости от жёсткости воды; превышение этих значений на один порядок способно вызвать острую токсическую реакцию и массовую гибель. Для карпа, напротив, показано, что даже при концентрациях ацетата меди 1 мг/л и ацетата цинка 10 мг/л (что на три порядка выше ПДК) в течение 4-часовой экспозиции наблюдаются выраженные, но не летальные повреждения эпителия кишечника; однако хроническое воздействие таких концентраций недопустимо. Приведённые цифры показывают: если для карпа рабочий метрический диапазон может охватывать до полутора-двух порядков выше ПДК, то для форели допустимое отклонение даже на один порядок от норматива уже критично.

Гидробионты (дафнии, артемии, гаммарус) проявляют несколько бóльшую толерантность, однако и для них превышение ПДКрыбхоз на один порядок часто является критическим. Следует отметить, что по ряду элементов существуют две версии нормативов. Базовая версия (Приложение 5 к методике Дмитриева и Фрумина экологического нормирования состава вод [9, с. 74]) устанавливает ПДКвр: железо — 0,1

мг/л, медь — 0,001 мг/л, цинк — 0,01 мг/л, марганец — 0,01 мг/л, свинец — 0,006 мг/л. В этой же работе описаны альтернативные методы экологического нормирования состава природных и техногенных вод. В одной из альтернативных версий [10, эл.] пороги по ряду металлов несколько жёстче: алюминий — 0,08 мг/л, барий — 2,0 мг/л, а железо для морских водоёмов — 0,05 мг/л. Это подчёркивает необходимость не универсального, а локально адаптированного нормирования, которое как раз и обеспечивает метрическая таксономия.

Целевые непатогенные бактерии, напротив, как правило, сохраняют жизнеспособность и продуктивность в диапазоне концентраций, охватывающем один-два метрических порядка для большинства биоэлементов. Для E. coli установлены следующие пороговые концентрации металлов, выше которых начинается удлинение лаг-фазы: Hg^{2+} — 0,005 мкМ, Cd^{2+} — 0,5 мкМ, Cu^{2+} — 5 мкМ, Cr^{3+} — 23 мкМ, Zn^{2+} — 30 мкМ, Pb^{2+} — 45 мкМ [11, с. 57]. По данным другого исследования, значения EC_{50} (концентрация полумаксимального ингибирования) для *E. coli* составляют: Cu^{2+} — 3,04 мг/л, Zn^{2+} — 2,19 мг/л, Cd^{2+} — 16,97 мг/л [12, эл.]. Что касается минимальных ингибирующих концентраций (МИК), для E. coli они равны: Cu^{2+} — 1,57 мМ (около 100 мг/л), Zn^{2+} — 9,17 мМ (около 600 мг/л), Ni^{2+} — 1,7 мМ, Co^{2+} — 2,55 мМ, Cd^{2+} — 4,4 мМ, Pb^{2+} — 3,1 мМ [13, с. 511]. Это на два-три порядка выше ПДКрыбхоз, что подтверждает: рабочий метрический диапазон для бактерий значительно шире, чем для рыб. Однако по отдельным металлам (серебро — МИК около 60 мкМ, ртуть — 0,005 мкМ) [14, с. 7; 11, с.55] зона толерантности резко сужается и становится сопоставимой с таковой для гидробионтов.

Фаги занимают особое положение: их накопление напрямую зависит от жизнеспособности бактерии-хозяина, поэтому требования к среде для них опосредованы состоянием бактериальной культуры. Вместе с тем известны прямые эффекты. Так на модельной системе бактериофаг Т4 — *E. coli B* изучено влияние гетерометаллических

комплексов меди, кадмия и никеля на инфекционные свойства вируса: показано достоверное снижение инфекционного титра фага под действием комплексов [$Cu(En)_2CdCl_4 \cdot$ДМФ] и [$CuNiCl(H_2L)$] [15, с. 36]. Более того, исследования последних лет показывают, что для заражения E. coli фагами T4 и MS2 концентрации многих ионов (щелочноземельные и щелочные металлы) должны превышать определённый порог (EC_{50}), который для большинства пресноводных систем находится выше типичных природных концентраций [16, эл.], иными словами, в условиях низкой ионной силы фаговая инфекция подавляется. Это означает, что в биореакторе с озёрной водой необходимо контролировать не только верхний, но и нижний предел концентраций ряда металлов: дефицит ионов может блокировать литический цикл фага и тем самым снизить эффективность биоконтроля.

Метрическая таксономия позволяет единообразно описать все эти допуски как «рабочий метрический диапазон» для каждой группы объектов. Например, ПДК для меди (0,001 мг/л) относится к классу «микроэлемент III порядка» (10^{-6}–10^{-5} г/л); для форели допустимое отклонение от этого порога — не более одного порядка (т. е. до класса «микроэлемент II порядка»), тогда как *E. coli* сохраняет жизнеспособность вплоть до концентраций порядка 100 мг/л, что соответствует классу «миллиэлемент II порядка» — разница в три-четыре метрических класса. Это особенно важно при проектировании совмещённых процессов — скажем, аквакультуры рыбы, сопряжённой с бактериальной очисткой воды и внесением фаговых препаратов. В такой поликультуре метрический подход даёт возможность найти компромиссный диапазон концентраций, в котором ни один из компонентов системы не выходит за пределы своего допустимого класса.

Для оценки рисков в биореакторе при разведении гидробионов особенно важны нормативы для рыбохозяйственных водоёмов, поскольку они наиболее консервативны и направлены на защиту водных

экосистем на всех уровнях. На основе этих нормативов и данных многолетнего мониторинга российских озёр при сопоставлении их с метрической таксономией можно сделать следующие основные практические выводы: (1) концентрации Fe, Mn, Cu и Zn способны превышать ПДК на один-два метрических порядка, и метрическая таксономия даёт количественную меру такого отклонения; (2) региональные геохимические особенности, отражаемые в региональных ПДК, требуют не универсального, а «метрически» адаптированного нормирования; (3) элементы ранжируются по вероятности выхода за допустимые границы, что задаёт приоритеты для управляющих алгоритмов биореактора (в первую очередь Mn, Cu, Zn, Fe).

Таким образом, сопряжение метрической таксономии с рыбохозяйственными нормативами и данными мониторинга превращает её из теоретической схемы в практический инструмент экологической биотехнологии, позволяющий количественно оценивать риски и выстраивать систему упреждающего управления качеством воды в биореакторе.

Для сравнения эффектов меди на разные биотехнологические объекты, проведём следующий анализ (табл. 2–4). Так, сублетальные эффекты у *E. coli* наблюдаются уже при наноконцентрациях, а полное подавление роста (МИК) наступает при концентрациях порядка 30–60 мг/л [11, с. 56; 14, с. 12], таблица 2.

Дополнительные показатели токсичности меди для радужной форели [18–20]: полулетальная концентрация (LC_{50}) меди за 96 часов составляет 0,02–0,1 мг/л в мягкой воде; 0,5–1,0 мг/л (жёсткая вода). Хроническое отравление отмечается уже при 0,1 от LC_{50} и выше. Нарушение эмбрионального развития наступает при концентрациях 0,02–0,04 мг Cu/л в мягкой воде и 0,08 мг Cu/л в жёсткой. В условиях низкой жёсткости (около 30 мг/л $CaCO_3$) LC_{50} (96 ч) составляет 16 мкг Cu/л.

Таблица 2

Значимость серебра и меди для E. coli
[12, эл.; 13, с. 510; 14, с. 12; 17, с. 12].

Элемент	Классификация в гидросфере (по табл. 1)	Эффект от дефицита	Эффект от избытка
Серебро (Ag)	Микроэлемент III порядка (4,0 × 10^{-8} г/л)	Не является эссенциальным. Снижение концентрации не оказывает негативного влияния.	Один из самых токсичных металлов для *E. coli*: МИК (минимальная ингибирующая концентрация) — **5–7,1 мг/л** (~5–7 мкг/мл), что соответствует классу миллиэлементов III порядка — микроэлементов I порядка. Механизм токсичности: разрушение железо-серных кластеров, окислительный стресс, повреждение мембран.**Разница с ПДКрыбхоз: до 4 порядков.**
Ртуть (Hg)	Микроэлемент III порядка (3,0 × 10^{-8} г/л)	Не является эссенциальным. Снижение концентрации не оказывает негативного влияния.	Чрезвычайно токсична для *E. coli*: МИК — **31,25 мкг/мл** (31,25 мг/л). При концентрациях **0,25–0,5 мг/л** наблюдается почти полное ингибирование. Острая токсичность проявляется уже при **10–50 мкг/л**, что близко к её среднему содержанию в гидросфере.
Медь (Cu)	Микроэлемент II порядка (2,5 × 10^{-7} г/л)	Критический дефицит: медь необходима как кофактор многих ферментов. Недостаток ведёт к метаболическим нарушениям.	Значения EC_{50} для *E. coli* — **3,04 мг/л**. МИК — **1,57 мМ (~100 мг/л)**. Диапазон толерантности *E. coli* по меди соответствует классам микроэлементов I порядка — миллиэлементов II порядка.

Медь для форели: значения в зависимости от жёсткости воды представлены в табл. 3 [18].

Представленные данные наглядно показывают, что рабочий метрический диапазон для бактерий на три-четыре метрических класса шире, чем для рыб, и подтверждает необходимость дифференцированного подхода при совмещённом культивировании.

Таблица 3

Распределение по метрическим классам

Жёсткость воды	ПДК меди для форели	Метрический класс ПДК меди
0,2 мг-экв/л (очень мягкая)	5,0 мкг/л	Микроэлемент I порядка
1,0 мг-экв/л (мягкая)	22,0 мкг/л	Микроэлемент I порядка
2,0 мг-экв/л (средняя)	40,0 мкг/л	Микроэлемент I порядка
6,0 мг-экв/л (жёсткая)	112,0 мкг/л	Миллиэлемент III порядка

Таблица 4

Суммарное сравнение допусков для разных объектов по меди [18–20]:

Объект	Допустимая концентрация Cu	Метрический класс
Форель (очень мягкая вода, ПДК)	5 мкг/л	Микроэлемент I порядка
Карп (мягкая вода, эмбриотоксичность)	> 500 мкг/л	Миллиэлемент III порядка
E. coli (минимальная ингибирующая концентрация)	~100 мг/л	Миллиэлемент II порядка

Основываясь на данных, представленных в таблицах 5 и 6 (группы 1 и 2) и дополнительных сведениях по *E. coli*, фагам и рыбам, можно чётко ранжировать биоэлементы по приоритетности мониторинга при

микробных биотехнологических процессах, особенно в условиях совместного культивирования с гидробионтами.

Таблица 5

Биоэлементы критически важного мониторинга для культивирования *E. coli* [21-24].

Элемент	Причина критичности	Метрический диапазон риска
Железо (Fe)	Эссенциально. Дефицит останавливает дыхание; избыток вызывает окислительный стресс. В озёрах часто превышает ПДК до класса «миллиэлемент III порядка».	Контролировать в диапазоне «микроэлемент I порядка» – «миллиэлемент III порядка»
Марганец (Mn)	Эссенциален (кофактор супероксиддисмутазы). Узкий диапазон толерантности: дефицит повышает чувствительность к стрессу, избыток нарушает гомеостаз железа. В эвтрофных водоёмах легко переходит в класс «миллиэлемент III порядка».	«микроэлемент II порядка» – «миллиэлемент III порядка»
Медь (Cu)	Эссенциальна, но высокотоксична. Для *E. coli* EC_{50} = 3,04 мг/л, МИК ~100 мг/л, но для форели ПДК 0,001–0,112 мг/л в зависимости от жёсткости. В озёрах превышает ПДК в 2–9 раз. Разрыв между потребностями бактерий и рыб достигает 3–4 порядков.	«микроэлемент III порядка» – «миллиэлемент II порядка»
Цинк (Zn)	Эссенциален. Для *E. coli* МИК ~600 мг/л, но для рыб ПДК 0,01 мг/л. Мониторинг важен из-за частых превышений ПДК в природных водах и кумулятивных эффектов.	«микроэлемент I порядка» – «миллиэлемент II порядка»
Селен (Se)	Узкий диапазон безопасности: дефицит ослабляет антиоксидантную защиту, избыток (МИК ~20 мкг/мл) токсичен. Требуется точное поддержание в пределах одного порядка.	«микроэлемент II порядка» – «микроэлемент I порядка»

Продолжение таблицы 5

Серебро (Ag)	Не эссенциально, но чрезвычайно токсично: МИК для *E. coli* 5–7 мг/л, что всего на 2 порядка выше фона и на 4 порядка выше ПДК. Риск при использовании воды, контактирующей с серебросодержащими материалами.	«микроэлемент III порядка» – «миллиэлемент III порядка»
Ртуть (Hg)	Не эссенциальна, сверхтоксична: ингибирование *E. coli* при 0,25–0,5 мг/л, МИК 31,25 мг/л. Опасна даже в нанограммовых концентрациях.	Контролировать на уровне «микроэлемент III порядка» и ниже

При использовании воды озёр в качестве основы питательной среды анализ показывает, что для большинства из них изменение концентрации даже на 1–2 порядка не окажет существенного негативного влияния на эффективность биотехнологического процесса.

Для наглядности все элементы сгруппированы по вероятному воздействию на *E. coli.*

Группа 1. «Стабильные» элементы (низкий приоритет контроля)

Для этих элементов изменение концентрации на 1–2 порядка в любую сторону с высокой вероятностью не окажет заметного влияния на рост и продуктивность *E. coli*.

Критически важный мониторинг (элементы, требующие постоянного контроля)

Эти элементы отличаются одним из двух свойств: либо они эссенциальны для *E. coli* и их дефицит немедленно снижает выход биомассы, либо их токсичность проявляется в концентрациях, всего на 1–2 порядка превышающих фоновые, и они часто превышают ПДК в природных водах, табл. 5.

Группа 2. Умеренно важный мониторинг (периодический контроль)

Эти элементы либо имеют более широкий допустимый диапазон

для E. coli, либо редко выходят за критические пределы в природных водах, но могут представлять опасность при совместном культивировании с рыбами или в условиях техногенного загрязнения. В таблице 6 представлены биоэлементы, требующие усиленного контроля в зонах техногенного риска: элементы в целом не так опасны, но становятся критичными при определённых условиях.

Таблица 6

Биоэлементы умеренно важный мониторинг при культивировании *E. coli*

Элемент	Причина умеренной важности	Когда требуется усиленный контроль
Никель (Ni)	Эссенциален для гидрогеназ *E. coli*, но МИК 1,7 мМ. ПДКрыбхоз 0,01 мг/л. Превышения в озёрах редки, но возможны вблизи промышленных стоков.	При использовании воды из техногенно нагруженных водоёмов
Кобальт (Co)	Для *E. coli* не эссенциален, но токсичен: LC_{50} 3,38 мг/л. В природе редко достигает опасных концентраций.	При подозрении на загрязнение промышленными стоками
Свинец (Pb)	Токсичен, МИК 3,1 мМ, но накапливается в мембранах. ПДК 0,006 мг/л. В озёрах иногда превышает ПДК в 5–7 раз (Северный Байкал).	При водозаборе из urban-территорий
Алюминий (Al)	Для *E. coli* токсичность зависит от pH, значительное ингибирование при 0,8 мг/л. ПДК 0,04 мг/л. Опасен в кислых водах.	При pH < 6 в источнике
Мышьяк (As)	Не эссенциален, высокотоксичен для *E. coli* при >10 ppm. В озёрах с восстановительными условиями может превышать фон в 10–100 раз.	При использовании воды из артезианских скважин или бессточных озёр
Кадмий (Cd)	EC_{50} для *E. coli* 16,97 мг/л, МИК 4,4 мМ, но высокотоксичен для рыб (ПДК 0,005 мг/л). Опасен при совместном культивировании.	При совместной аквакультуре

Продолжение таблицы 6

Бор (B)	Не эссенциален, но токсичен для *E. coli* при высоких концентрациях (класс «миллиэлементы»). В солёных озёрах может достигать десятков мг/л.	При использовании воды из солоноватых или вулканических озёр
Уран (U)	Токсичность для *E. coli* проявляется при 500–1000 мкг/л, что на 2–3 порядка выше среднего фона. ПДК для рыб 0,05 мг/л. Опасен в бессточных щелочных озёрах.	При водозаборе из озёр с высоким pH

3. Низкий приоритет (мониторинг не требуется или эпизодический)

Элементы, для которых даже изменение концентрации на 2–3 порядка не оказывает заметного влияния на рост E. coli и фагов, либо их природные концентрации всегда на много порядков ниже токсических порогов.

Сюда входят: инертные газы (Ar, Kr, Ne, Rn), редкоземельные и рассеянные элементы (Pr, In, Ga, Ge, Hf, Sc, Tb, Y, Zr, Nb, Ta), некоторые радиоактивные элементы (Ra, Po – их опасность радиологическая, а не химическая), барий (умеренная токсичность, но естественные концентрации далеки от опасных), титан, вольфрам, цезий, рубидий, литий, стронций (для них пороги токсичности для E. coli находятся в миллимолярном диапазоне, что на порядки выше природных уровней).

Практические выводы для проектирования системы мониторинга:

— при микробных технологиях на основе E. coli и фагов первоочередному непрерывному контролю подлежат Fe, Mn, Cu, Zn, Se (из-за эссенциальности и узкого окна безопасности), а также Ag и Hg (из-за чрезвычайной токсичности). Для этих семи элементов необходимо поддерживать концентрации в пределах заданного метрического класса, используя алгоритмы автоматической коррекции потоков в биореакторе.

— для элементов второй группы (Ni, Co, Pb, Al, As, Cd, B, U) достаточно периодического мониторинга с частотой, определяемой

вероятностью техногенного загрязнения источника водоснабжения. Остальные элементы могут контролироваться в рамках планового аудита 1–2 раза в сезон.

3. Управление биореактором: результаты и рекомендации на примере масштабирования получения фаголизатов

Рассмотрим ситуацию, в которой успешно реализованный в лабораторном масштабе проект — создание упаковки со встроенными фаголитическими белками, гомологичными непатогенным, технически вредным штаммам E. coli для их биоконтроля, — требует существенного масштабирования для применения на многих пищевых продуктах. В качестве биореактора выбран крупный водоём с несколькими входящими потоками и регулируемыми вытоками (запруда/плотина). Такая конфигурация позволяет контролировать как объём водной среды, так и её химический состав с целью оптимального развития бактерии-хозяина и лизирующих фагов. Поскольку микроорганизмам не требуется столь точное соблюдение концентраций питательных веществ, как высшим растениям и животным, достаточно поддерживать элементный состав в пределах одного-двух порядков, что естественно описывается введённой ранее классификацией биоэлементов, основанной на действительных значениях латинских приставок (метрической таксономией). Так, обнаружение бора в концентрации $5 \cdot 10^{-5}$ г/л (класс «миллиэлемент третьего порядка» при норме «миллиэлемент первого порядка») и молибдена на уровне $3 \cdot 10^{-2}$ г/л (избыток на порядок) немедленно указывает на необходимость коррекции на два и один метрический порядок соответственно, которая осуществляется изменением соотношения входящих и выходящих потоков. В данном контексте традиционное разделение на макро- и микроэлементы не дало бы никакой стратегической информации, тогда как метрическая таксономия напрямую превращает результаты анализа воды в управляющие воздействия.

Проведённый анализ вариабельности элементного состава природных вод и сопоставление нормативных и физиологических данных с метрической таксономией позволяют перейти от пассивного мониторинга к активному управлению крупномасштабными водными биореакторами. Наиболее полно преимущества такого подхода раскрываются при культивировании бактериофагов E. coli — технологии, востребованной сразу в нескольких отраслях: пищевой (биоконтроль патогенных штаммов в продуктах), кормовой (фаговые добавки для сельскохозяйственных животных и аквакультуры) и медицинской (препараты для фаготерапии). Ниже сформулированы основные результаты и вытекающие из них практические рекомендации.

3.1. Метрические диапазоны для культивирования E. coli и фагов

Первым практическим результатом является установление количественных «рабочих метрических диапазонов» для бактерии-хозяина (E. coli) и для фагов, которые могут быть положены в основу алгоритмов управления биореактором. Сводка этих диапазонов представлена в таблицах 7, 8.

Таблица 7

Токсичность элементов для *E. coli* и фагов *E. coli* [25-30]

Элемент	Оптимальный метрический класс для *E. coli*	Допустимый класс для *E. coli*	Критический класс для фаговой инфекции (нижний предел)	Порог токсичности (верхний предел)	Примечания
Fe	Микроэлемент I порядка	Миллиэлемент III порядка	Не лимитирует	Миллиэлемент II порядка (окислительный стресс)	Узкое окно: дефицит снижает выход биомассы, избыток токсичен

Продолжение таблицы 7

Mn	Микроэлемент II порядка	Микроэлемент I порядка – Миллиэлемент III порядка	Не лимитирует	Миллиэлемент II порядка	Кофактор SodA; избыток нарушает гомеостаз железа
Cu	Микроэлемент II порядка	Микроэлемент I порядка – Миллиэлемент III порядка	Не лимитирует	Миллиэлемент II порядка	Для рыб – критична; в поликультуре – компромиссный класс
Zn	Микроэлемент I порядка	Микроэлемент II порядка – Миллиэлемент III порядка	Не лимитирует	Миллиэлемент I порядка	Широкий диапазон для бактерий, узок для рыб
Se	Микроэлемент II порядка	Микроэлемент III порядка – Микроэлемент I порядка	Не лимитирует	Микроэлемент I порядка	Очень узкое окно безопасности
Ca	Миллиэлемент I порядка	Миллиэлемент II порядка – Миллиэлемент I порядка	**Миллиэлемент II порядка (нижний порог для T4)**	Миллиэлемент I порядка	Необходим для адсорбции фага; дефицит блокирует инфекцию
Mg	Миллиэлемент I порядка	Миллиэлемент II порядка – Миллиэлемент I порядка	**Миллиэлемент II порядка (нижний порог для T4)**	Миллиэлемент I порядка	Кофактор адсорбции и литического цикла
Na/K	Миллиэлемент I порядка	Миллиэлемент II порядка – Миллиэлемент I порядка	Не лимитируют в пресной воде	Зависят от осмотической толерантности штамма	Осмотический баланс; для фагов не критичны

Продолжение таблицы 7

Ag, Hg	Не допустимы	Следы (ниже Микроэлемента III порядка)	Не лимитируют	Микроэлемент III порядка и ниже

Эта таблица является практическим инструментом оператора биореактора: зная текущий метрический класс каждого элемента в поступающей озёрной воде, можно немедленно оценить, пригодна ли она для процесса, и принять решение о необходимой коррекции.

3.2. Алгоритм управления потоками в биореакторе

Вторым результатом является предлагаемый алгоритм автоматического управления составом среды на основе метрической таксономии, адаптированный для крупного водоёма-биореактора с несколькими входящими и выходящими потоками. Алгоритм состоит из трёх шагов:

Входной контроль (экспресс-аудит). Для каждого поступающего потока воды определяются текущие концентрации элементов приоритетного мониторинга (Fe, Mn, Cu, Zn, Se, а также Ca и Mg, критичные для фаговой инфекции). Концентрации переводятся в метрические классы и сравниваются с оптимальными диапазонами из табл. 8.

Оценка отклонения и принятие решения. Если концентрация элемента выходит за пределы допустимого класса, вычисляется необходимая степень разбавления или концентрирования (в порядках). Например, если железо в поступающей воде относится к классу «миллиэлемент II порядка», а допустимый верхний предел — «миллиэлемент III порядка», требуется разбавление на один порядок, что достигается изменением соотношения входящих потоков (увеличением доли воды из олиготрофного притока с низким фоном железа) либо сбросом части объёма.

Обратная связь по продуктивности. Контроль выхода биомассы E. coli и титра фага служит интегральным индикатором правильности поддержания метрических диапазонов. Падение титра ниже заданного порога при условии, что концентрации эссенциальных элементов находятся в оптимуме, сигнализирует о возможном накоплении ингибиторов (Ag, Hg, As) и инициирует внеплановый анализ расширенного перечня элементов.

Для этапа получения фаголизатов, на котором мы культивируем бактериофаги на E. coli, ключевое значение приобретают два процесса, напрямую зависящие от ионного состава воды: адсорбция фага на клетке-хозяине и последующая продукция новых вирусных частиц.

Метрическая таксономия и исследование 2023 года [16] позволяют установить для них четкие количественные критерии и сформулировать следующие требования:

Кальций (Ca) и Магний (Mg): Адсорбция и проникновение генетического материала фага в клетку — это ион-зависимый процесс. Для этих элементов концентрация должна быть не ниже класса «миллиэлемента II порядка». Это критически важный нижний предел: в слишком «мягкой» или деионизированной воде эффективность заражения резко упадет, что напрямую снизит выход конечного продукта. Для успешного заражения *E. coli* фагом T4 концентрация ионов должна быть выше порога EC_{50}.

Цинк (Zn) и Железо (Fe): На этапе активного лизиса бактерий и высвобождения фагов необходимо пристально следить за элементами с узким «окном безопасности». Их метрический класс не должен превышать «миллиэлемент III порядка». Превышение этого порога может ингибировать продукцию фагов, что подтверждается экспериментальными данными.

Абсолютные токсиканты (Ag, Hg, Cd, Pb): Даже на этапе производства, а не только в конечном продукте, содержание этих

элементов должно стремиться к «наноэлементам». Они способны неспецифически подавлять метаболизм клетки-хозяина и инактивировать фаговые частицы еще до их выделения, снижая общий выход и качество лизата.

Алюминий (Al): Этот элемент, часто встречающийся в природных водах, требует особого контроля. Его метрический класс необходимо удерживать ниже класса «микроэлемент I порядка», так как превышение этого порога потенциально может нарушать процесс заражения.

На практике в биореакторе эти требования можно преобразовать в четкий алгоритм действий при масштабировании, где метрическая таксономия служит для сопоставления качества исходной воды с потребностями процесса. Технологическая карта управления биореактором на основе метрической классификации биоэлементов представлена в табл. 8.

Таблица 8

Технологическая карта управления биореактором на основе метрической классификации биоэлементов

Цель (Процесс)	**Критерий качества воды (Метрический класс биоэлемента)**	**Технологическое решение для достижения критерия**
Обеспечение эффективной инфекции (адсорбция фага)	**Ca^{2+}, Mg^{2+}**: ≥ Миллиэлемент II порядка	Добавка солей Ca и Mg в виде корректирующего раствора из отдельной емкости.
Предотвращение ингибирования лизиса	**Zn^{2+}**: ≤ Миллиэлемент III порядка **$Fe^{2+/3+}$**: ≤ Миллиэлемент III порядка	Контроль pH для осаждения избытка Fe и Zn или селективное удаление (например, сорбция).

Продолжение таблицы 8

Исключение токсического воздействия	**Ag^{+}, Hg^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}:** ≤ Наноэлемент I порядка	Многоступенчатая очистка: хелатирование (ЭДТА) на этапе предобработки, хелатирующие смолы или обратный осмос на входе в биореактор.
Предотвращение ингибирования инфекции	**Al^{3+}:** ≤ Микроэлемент I порядка	Контроль pH (для осаждения гидроксида алюминия) и/или коагуляция перед подачей в биореактор.

Этот подход позволяет формализовать требования к воде на этапе культивирования, переводя их из категории эмпирических наблюдений в разряд строго контролируемых параметров, при этом такой алгоритм, завязанный на метрические классы, не требует непрерывного высокоточного измерения абсолютных концентраций: для большинства элементов достаточно знать, в каком порядке они находятся, что технически реализуется с помощью менее дорогостоящих методов экспресс-анализа.

3.3. Рекомендации по масштабированию производства фаголизатов

На основе изложенного подхода сформулированы следующие рекомендации для масштабирования производства фаголизатов в интересах различных отраслей.

Для пищевой промышленности: фаголизаты, применяемые для биоконтроля патогенных E. coli на поверхности пищевых продуктов или в упаковке, не должны содержать остаточных концентраций токсичных металлов (Ag, Hg, Cd, Pb) выше гигиенических нормативов. Это означает, что при культивировании в озёрной воде необходим входной контроль именно этих элементов, и их метрический класс должен быть не выше «микроэлемента III порядка» (а для ртути — «наноэлемента»).

Рекомендуется использовать воду из олиготрофных озёр с низким природным фоном либо предусмотреть стадию финишной очистки фаголизата (ультрафильтрация, хелатирующие смолы).

Для кормовой промышленности: фаголизаты, добавляемые в корма для сельскохозяйственных животных и аквакультуры, имеют менее жёсткие ограничения, но требуют контроля эссенциальных микроэлементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Se), поскольку избыток этих элементов в корме может вызвать дисбаланс. Метрическая таксономия здесь позволяет задать коридор: концентрации должны находиться в пределах того же метрического класса, что и в стандартных кормовых премиксах, — как правило, это «микроэлементы I–II порядка» — «миллиэлементы III порядка».

Для медицинской промышленности (фаготерапия): требования к чистоте наиболее строги. Фаголизаты для парентерального или перорального применения должны соответствовать фармакопейным статьям по содержанию тяжёлых металлов. Рекомендуется, чтобы все потенциально токсичные элементы находились не выше класса «микроэлемент III порядка» — «наноэлемент I порядка» в зависимости от элемента. Для этого биореактор должен быть спроектирован как замкнутая система с деминерализованной водой, а озёрная вода может использоваться только после глубокой очистки. Однако и в этом случае метрическая таксономия полезна на этапе выбора источника воды и проектирования системы водоподготовки: она позволяет заранее оценить, сколько стадий очистки потребуется, чтобы понизить метрический класс проблемного элемента на нужное число порядков.

3.4. Перспективы: метрический паспорт водоёма-биореактора

В качестве обобщающей рекомендации предлагается концепция «метрического паспорта» водоёма-биореактора — документа, в котором для каждого элемента указан его природный метрический класс в данном водном источнике, допустимый рабочий диапазон для конкретного биотехнологического процесса и пределы, за которыми требуется

вмешательство. Такой паспорт может быть интегрирован в системы автоматического управления и стать стандартным инструментом промышленной экологической биотехнологии.

Таким образом, метрическая таксономия биоэлементов выходит за рамки академической классификации и превращается в практический инструмент, который сопровождает весь жизненный цикл биотехнологического процесса: от выбора озера-донора до получения целевого продукта — фаголизата — с заданными показателями качества и безопасности.

4. Исследование возможности практических алгоритмов управления в экологической кормовой и пищевой комбинаторике с использованием метрической таксономии биоэлементов

Разработанный метрико-таксономический аппарат, изначально ориентированный на сравнение структур природных микробных сообществ и состояния биореакторов, естественным образом переносится в пространство задач управляемой комбинаторики биоэлементов — прежде всего в области экологичного кормопроизводства и проектирования пищевых систем с заданным микронутриентным профилем. Данный раздел очерчивает контуры будущего исследования, в котором методы метрической таксономии становятся ядром алгоритмов поддержки принятия решений.

Центральная идея состоит в замене традиционного рецептурного подхода (смешивание компонентов «по рецепту» до достижения валовых показателей) на оптимизацию многокомпонентных смесей в пространстве биоэлементных расстояний. Если любой ингредиент — будь то микроводорослевая биомасса, побочный продукт пищевой промышленности, бактериальный гидролизат или местное растительное сырьё — охарактеризован вектором концентраций эссенциальных и технологически значимых элементов (Co, Cu, Zn, Se, I, Mn и др.), то задача получения целевой кормовой или пищевой композиции сводится

к поиску такой линейной комбинации доступных векторов, которая минимально удалена от «эталонного» профиля в выбранной метрике (например, в метрике городских кварталов, устойчивой к выбросам, или в чебышёвской метрике, как максимальной разнице по всем координатам, гарантирующей отсутствие критического дефицита по любому из элементов [31, эл].

Ключевым преимуществом метрической таксономии здесь становится возможность количественно сравнивать не только результирующую смесь с эталоном, но и попарные расстояния между компонентами. Такая информация позволяет строить дендрограммы сырьевой базы, выделять кластеры взаимозаменяемых ингредиентов и, напротив, идентифицировать уникальные источники редких биоэлементов, отсутствие которых не может быть скомпенсировано никакими комбинациями остальных компонентов. В экологической постановке это напрямую поддерживает принцип «комбинаторной экологии»: максимальное вовлечение местных возобновляемых ресурсов при минимальном транспортном углеродном следе.

Практический алгоритм управления видится как итеративная процедура, интегрирующая несколько информационных слоёв:

— граф доступности ингредиентов, размеченный их стоимостью, сезонностью и экологическими индексами;

— целевой биоэлементный паттерн — например, эталонный профиль грудного молока для заменителей, идеальный микроэлементный состав стартового корма для аквакультуры или нормированный профиль для функционального питания;

— метрико-таксономическую карту всего пула компонентов, которая обновляется при изменении сырьевой базы.

Поиск решения ведётся в два этапа. На первом с помощью методов агломеративной иерархической кластеризации с выбранной метрикой определяется минимальный набор ингредиентов, покрывающий все

необходимые кластеры биоэлементного разнообразия. На втором этапе решается задача условной оптимизации — минимизации метрического расстояния до эталона при ограничениях по макрососставу (белок, жир, углеводы), себестоимости и технологической совместимости. В качестве численного инструмента могут использоваться эволюционные алгоритмы или методы выпуклой оптимизации со штрафными функциями, где именно метрика выступает в роли наиболее физиологически осмысленной целевой функции.

Особый интерес представляет перенос опыта управления биореактором на управление кормовыми рационами в реальном времени. Если в биотехнологическом производстве метрико-таксономический анализ позволяет отслеживать дрейф сообщества и своевременно корректировать потоки субстратов, то в интегрированных агроаквасистемах он может стать основой для динамического перераспределения потоков биомассы между звеньями — например, направлять избыток фитопланктона из рыбоводных прудов на приготовление кормов для двустворчатых моллюсков или личинок насекомых, компенсируя дефицит микроэлементов минимальными добавками.

Рассмотрение таких алгоритмов в приложении к экологической кормовой и пищевой комбинаторике формирует предмет отдельной будущей публикации, где предполагается дать формальную постановку задачи, провести вычислительные эксперименты на реальных массивах данных о составе биоресурсов и предложить инженерно реализуемую архитектуру советующей системы. Текущая работа закладывает для этого необходимый фундамент в виде строгой процедуры вычисления биоэлементных расстояний и таксономического анализа, пригодной как для естественных озёр, так и для любых многокомпонентных систем биогенного и антропогенного происхождения.

Заключение

Проведённое исследование демонстрирует, что метрическая таксономия биоэлементов — классификация, основанная на действительных значениях латинских дольных приставок СИ (милли-, микро-, нано- и т.д.), — является не просто терминологическим уточнением, а эффективным инструментом экологической биотехнологии.

В первой части работы на основе анализа данных мониторинга российских и зарубежных озёр показано, что концентрации биоэлементов в природных водах могут отклоняться от средних по гидросфере на один-три метрических порядка, причём традиционное деление на макро- и микроэлементы этот масштаб вариабельности не улавливает. Метрическая таксономия превращает данную изменчивость в количественно измеримый параметр, позволяя выявлять «активные зоны», прогнозировать редокс-зависимые скачки концентраций и проводить экспресс-аудит водоисточников.

Во второй части установлено, что сопоставление метрических классов с рыбохозяйственными ПДК и физиологическими допусками для различных объектов культивирования (рыбы, гидробионты, *E. coli*, фаги) создаёт единый язык, на котором могут взаимодействовать геохимики, технологи и экологи. Определены критические элементы (Fe, Mn, Cu, Zn, Se, Ag, Hg) и их рабочие метрические диапазоны; показано, что разница в допустимых классах для рыб и бактерий достигает трёх-четырёх порядков, что принципиально важно при проектировании совмещённых процессов.

В третьей части разработаны практические алгоритмы управления крупным водоёмом-биореактором с использованием метрической таксономии, включая входной контроль, оценку отклонений и обратную связь по продуктивности. Предложена концепция «метрического паспорта» водоёма-биореактора и сформулированы специфические

требования к водной среде на этапе получения фаголизатов: обеспечение нижнего порога Ca и Mg для адсорбции фага, контроль Zn и Fe для предотвращения ингибирования лизиса, удаление абсолютных токсикантов (Ag, Hg, Cd, Pb) и ограничение Al.

В целом, метрическая таксономия биоэлементов выходит за рамки академической классификации, становясь прикладным инструментом, сопровождающим весь жизненный цикл биотехнологического процесса — от выбора озера-донора до получения целевого продукта с заданными показателями качества и безопасности. Предложенный подход открывает новые перспективы для масштабирования экологически ориентированных производств в пищевой, кормовой и медицинской промышленности.

Список литературы

1. Полянская И.С. Новая классификация биоэлементов в биоэлементологии // Молочнохозяйственный вестник. – 2014. – № 1 (13). – С. 34-42.

2. Хажеева З.И. Микроэлементы в речных водах бассейна Селенги. – 2020. – С. 188–190.

3. Och L.M., Müller B., Voegelin A., Ulrich A., Göttlicher J., Steiniger R. New insights into the formation and burial of Fe/Mn accumulations in Lake Baikal sediments // Chemical Geology. – 2012. – Vol. 330–331. – P. 244-259.

4. Powell B.A., Kaplan D.I., et al. Effect of seasonal anoxia on geochemical cycling in a stratified pond: Comparison to cooler pond conditions 40 years ago // Science of The Total Environment. – 2025. – Vol. 976. – P. 179337.

5. Hartland A., Anderson M.S., Hamilton D.P. Phosphorus and arsenic distributions in a seasonally-stratified, iron- and manganese-rich lake: microbiological and geochemical controls // Environmental Chemistry. – 2015. – Vol. 12, № 6. – P. 708-722.

6. Eisler R. Handbook of Chemical Risk Assessment: Health Hazards to Humans, Plants, and Animals. – Lewis Publishers, 2000. – 1972 p.

7. Литвиненко А.И. и др. Микроэлементный состав горбуши и кеты в период раннего онтогенеза // Рыбное хозяйство. – 2025. https://fisheriesjournal.elpub.ru/jour/article/view/406 (дата обращения 16.05.2026).

8. Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Килякова Ю. В. Влияние фитобиотиков на обмен эссенциальных элементов в организме рыб // Животноводство и кормопроизводство. – 2022. – Т. 105, №. 4. – С. 49–58.

9. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем : учеб. пособие. – СПб. : Наука ; РГГМУ, 2004. – 294 с.

10. Предельно допустимая концентрация в воде водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей // CAWater-Info: Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии. – URL: https://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/norm11.htm (дата обращения 16.05.2026).

11. Morozzi G., Cenci G., Caldini G. The tolerance of an environmental strain of Escherichia coli to some heavy metals // Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene. 1. Abt. Originale B, Hygiene. – 1982. – Vol. 176, № 1. – P. 55-62.

12. Liu MC, Xu Y, Chen YM, et al. The effect of sodium selenite on lead induced cognitive dysfunction. Neurotoxicology. 2013. – Vol. 36. – P. 82-88.

13. Abskharon R.N.N., Hassan S.H.A., Gad El-Rab S.M.F., Shoreit A.A.M. Heavy metal resistant of E. coli isolated from wastewater sites in Assiut City, Egypt // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2008. – Vol. 81, № 3. – P. 309-315.

14. Garza-Cervantes J.A., Chávez-Reyes C.A., Castillo E.C., et al. Synergistic Antimicrobial Effects of Silver/Transition-metal Combinatorial Treatments // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7, Article 903. – P. 1-13.

15. Prydaus N.S., Kharina A.V., Polishchuk V.P. Effect of copper, cadmium and nickel heterometallic complexes on T4 bacteriophage // Magisterium. Issue 16. Natural Sciences. – 2004. – P. 35-38.

16. Carlson H.K., Piya D., Moore M.L., et al. Geochemical constraints on bacteriophage infectivity in terrestrial environments // ISME Communications. – 2023. – Vol. 3, Article 78. – P. 1-14.

17. Проскуренко И.В. Фермерское рыбоводное хозяйство: Пособие для фермера-рыбовода. – СПб. : Гипрорыбфлот, 2000. – 186 с.

18. Howarth R.S., Sprague J.B. Copper lethality to rainbow trout in waters of various hardness and pH // Water Research. – 1978. – Vol. 12, № 7. – P. 455-462.

19. Vosylienė M.Z., Kazlauskienė N., Svecevičius G. Effect of a heavy metal model mixture on biological parameters of rainbow trout oncorhynchus mykiss / Environmental Science and Pollution Research. – 2003. – Vol. 10, № 2. – P. 103-107.

20. Morris J.M., Brinkman S.F., Takeshita R., McMillan A.K., Schmidt K.K., Meyer J.S. Copper toxicity in Bristol Bay headwaters: Part 1—Acute mortality and ambient water quality criteria in low-hardness water // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2019. – Vol. 38, № 1. – P. 190-197. – DOI: 10.1002/etc.4252

21. Nies D.H. Microbial heavy-metal resistance // Applied Microbiology and Biotechnology. – 1999. – Vol. 51. – P. 730-750. – DOI: 10.1007/s002530051457

22. Çöl B. et al. Proteomic profiling of Escherichia coli cytoplasmic proteins under sublethal boric acid stress // Turkish Journal of Biology. – 2025. – Vol. 49, № 3. – DOI: 10.55730/1300-0152.2741

23. Li J. et al. Zinc effects on bacteria: insights from Escherichia coli by multi-omics approach // Science of The Total Environment. – 2023. – Vol. 904, Article 166742. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166742

24. Guzzo J. et al. A Novel Selenite- and Tellurite-Inducible Gene in Escherichia coli // Applied and Environmental Microbiology. – 2000. – Vol. 66, № 11. – P. 4972-4978. – DOI: 10.1128/AEM.66.11.4972-4978.2000

25. Record MT Jr, Courtenay ES, Cayley S, Guttman HJ. Biophysical compensation mechanisms buffering E. coli protein-nucleic acid interactions against changing environments. Trends Biochem Sci. 1998 May;23(5):190-4.

26. Xiu Z.-M., Zhang Q.-B., Puppala H.L., Colvin V.L., Alvarez P.J.J. Negligible Particle-Specific Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles // Nano Letters. – 2012. – Vol. 12, № 8. – P. 4271-4275.

27. Tornabene T.G., Edwards H.W. Microbial uptake of lead // Science. – 1972. – Vol. 176, № 4041. – P. 1334-1335.

28. Guida L., Saidi Z., Hughes M.N., Poole R.K. Aluminium toxicity and binding to Escherichia coli // Archives of Microbiology. – 1991. – Vol. 156, № 6. – P. 507-512.

29. Carlin A., Shi W., Dey S., Rosen B.P. The ars operon of Escherichia coli confers arsenical and antimonial resistance // Journal of Bacteriology. – 1995. – Vol. 177, № 4. – P. 981-986.

30. Carrière M., Thiebault C., Proux O. et al. Influence of uranium speciation on its accumulation and toxicity in Escherichia coli // Applied and Environmental Microbiology. – 2005. – Vol. 71, № 7. – P. 3646-3652.

31. Krivulin N.K. A new algebraic solution to multidimensional minimax location problems with Chebyshev distance // WSEAS Transactions on Mathematics. – 2012. – Vol. 11, № 7. – P. 605-614.

© Полянская И.С., 2026

Глава 12.
УДОВЛЕТВОРЕНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ БЫСТРОРАСТУЩИХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ И НИЛЬСКОЙ ТИЛЯПИИ В РАЗВЕТВЛЁННЫХ АМИНОКИСЛОТАХ И ЭКЗОГЕННЫХ ПРОТЕАЗАХ

Салех Хатем
Хамви Мохамад Навар
аспиранты кафедры кормления животных
Буряков Николай Петрович
д-р биол. наук, профессор
заведующий кафедрой кормления животных
Шаповалов Сергей Олегович
д-р биол. наук, профессор
кафедры кормления животных
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Аннотация: В главе обобщены результаты экспериментальных исследований, направленных на удовлетворение потребностей быстрорастущих цыплят-бройлеров и нильской тиляпии в разветвлённых аминокислотах (BCAA) и экзогенных протеазах. Для нильской тиляпии определены оптимальные дозировки L-изолейцина, L-лейцина и L-валина на разных этапах онтогенеза, позволившие увеличить прирост ихтиомассы до 158%, снизить затраты корма на 13–57% и повысить биологическую ценность белка на 62%. Разработана и валидирована FT-NIR методика экспресс-контроля чистого изолейцина. Для цыплят-бройлеров обоснована синергетическая стратегия низкопротеиновых рационов, балансированных кристаллическими аминокислотами (включая BCAA) и обогащённых комбинированными протеазами.

Показано, что снижение сырого протеина на 1,5–2,0 п.п. с аминокислотной компенсацией повышает продуктивность, а добавление протеаз стимулирует эндогенный протеолиз в тонком кишечнике и дополнительно улучшает конверсию корма, мясные качества и снижает эмиссию азота. Предложены практические рекомендации для устойчивого производства в аквакультуре и птицеводстве.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, нильская тиляпия, разветвлённые аминокислоты, L-изолейцин, L-валин, L-лейцин, экзогенные протеазы, низкопротеиновый рацион, конверсия корма, биологическая ценность белка, эндогенный протеолиз.

MEETING THE REQUIREMENTS OF FAST-GROWING BROILER CHICKENS AND NILE TILAPIA IN BRANCHED-CHAIN AMINO ACIDS AND EXOGENOUS PROTEASES

Saleh Hatem
Hamwi Mohamad Nawar
Buryakov Nikolai Petrovich
Shapovalov Sergei Olegovich

Abstract: The chapter summarizes experimental studies aimed at meeting the requirements of fast-growing broiler chickens and Nile tilapia for branched-chain amino acids (BCAAs) and exogenous proteases. For Nile tilapia, optimal dosages of L-isoleucine, L-leucine and L-valine at different ontogenetic stages were determined, which increased ichthyomass gain by up to 158%, reduced feed costs by 13–57%, and increased the biological value of meat protein by 62%. An FT-NIR method for the rapid control of pure isoleucine was developed and validated. For broiler chickens, a synergistic strategy of low-protein diets balanced with crystalline amino acids (including BCAAs) and enriched with combined proteases is substantiated. It is shown that reducing crude protein by 1.5–2.0 percentage points with amino acid

compensation increases productivity, while the addition of proteases stimulates endogenous proteolysis in the small intestine and further improves feed conversion, meat quality, and reduces nitrogen emissions. Practical recommendations for sustainable production in aquaculture and poultry farming are proposed.

Key words: broiler chickens, Nile tilapia, branched-chain amino acids, L-isoleucine, L-valine, L-leucine, exogenous proteases, low-protein diet, feed conversion, biological value of protein, endogenous proteolysis.

Введение

Интенсивные технологии производства продукции аквакультуры и птицеводства базируются на максимальной реализации генетического потенциала роста. Нильская тиляпия (*Oreochromis niloticus*) и цыплята-бройлеры современных кроссов, такие как «Росс 308», отличаются исключительно высокой скоростью синтеза мышечной ткани, что предъявляет повышенные требования к количеству и качеству аминокислотного питания [7, с. 8; 8, с. 7]. В структуре себестоимости продукции корма занимают до 70%, причём наиболее дорогими являются белковые компоненты. При традиционном подходе, ориентированном на обеспечение высокого уровня сырого протеина (СП), значительная часть азота корма (до 50% и более) не усваивается организмом и выделяется в окружающую среду, создавая экологическую нагрузку и снижая рентабельность [12, с. 2]. Эти обстоятельства стимулируют переход к концепции «идеального протеина», предполагающей точное балансирование рационов по незаменимым аминокислотам (EAA), в частности по аминокислотам с разветвлённой боковой цепью (BCAA): лейцину (Leu), изолейцину (Ile) и валину (Val) [13, с. 6–7].

BCAA не только играют роль пластического материала для построения мышечных белков, но и являются мощными регуляторами метаболизма. Лейцин служит ключевым активатором mTOR-сигнального пути, запускающего трансляцию белка; изолейцин и валин активно

вовлекаются в энергетический обмен, глюконеогенез и поддержание азотистого баланса [4, с. 1]. В то же время эффективность использования аминокислот корма может быть существенно повышена за счёт применения экзогенных протеаз – ферментов, способных гидролизовать трудноусвояемые белки (кератин перьевой муки, коллаген мясокостной муки) и инактивировать антипитательные факторы [6, с. 9]. Однако механизмы синергетического взаимодействия прецизионной аминокислотной балансировки, особенно по BCAA, и экзогенных протеаз в рационах быстрорастущих животных оставались изученными фрагментарно.

Цель настоящей главы – на основе собственных экспериментальных данных, полученных в 2021–2026 гг., систематизировать научно обоснованные подходы к удовлетворению потребностей двух модельных быстрорастущих объектов – нильской тиляпии и цыплят-бройлеров – в разветвлённых аминокислотах и экзогенных протеазах. В задачи исследования входило: установление оптимальных доз и соотношений BCAA для тиляпии на последовательных стадиях онтогенеза; разработка экспресс-метода контроля кристаллического L-изолейцина методом FT-NIR спектроскопии; оценка эффективности стратегии снижения уровня СП на 1,5–2,0 процентных пункта с одновременным балансированием кристаллическими аминокислотами (включая Ile и Val) и дополнительным введением комбинированных протеаз в рационах бройлеров; определение физиологических механизмов, лежащих в основе продуктивных эффектов, и эколого-экономической эффективности предложенных технологий.

1. Оптимизация аминокислотного питания нильской тиляпии с использованием разветвлённых аминокислот

Исследования на тиляпии выполнялись на базе кафедры кормления животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, кафедры ихтиологии и рыбоводства МГУТУ им. К.Г. Разумовского и Волгоградского

государственного аграрного университета. Объектом служила нильская тиляпия *(Oreochromis niloticus*) на разных стадиях продуктивного онтогенеза с начальной живой массой от 7,6 до 377 г. Проведено три научно-хозяйственных опыта: стартовый (21 сутки, молодь средней массой около 12 г), основной (полный цикл выращивания продолжительностью 184 суток, включавший 5 технологических этапов) и производственная апробация (45 суток, товарная рыба). Рыб содержали в аквариумах объёмом 100 л (второй опыт) и 200 л (третий опыт) при контролируемых гидрохимических параметрах: температура 28±1°C была соблюдена; на всех этапах установлено, что данная температура является оптимальной для исследуемого вида рыб, и она оказывает весьма важное влияние на жизнедеятельность организма и темп роста [2, с. 9]. Содержание растворённого кислорода 5,5–5,9 мг/л, pH 7,2–7,3, уровень аммиака ниже 0,5 мг/л. Ежедневно заменяли 15–20% воды. Выживаемость во всех группах составляла 100%.

1.1. Разработка и валидация FT-NIR метода контроля L-изолейцина

Для оперативного входного контроля кристаллических кормовых аминокислот, используемых при балансировании рационов, была разработана методика на основе Фурье-спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона (FT-NIR) с применением хемометрических PLS-моделей. Спектры регистрировали на приборе MPA (Bruker, Германия) в диапазоне 12500–4000 $см^{-1}$ с разрешением 8 $см^{-1}$. Калибровочные модели строили по данным 435 образцов аминокислот от ведущих производителей (Evonik, Adisseo, Ajinomoto). Для изолейцина использовали 20 образцов с массовой долей основного вещества от 84,61 до 96,57%, определённой арбитражным методом ВЭЖХ (Shimadzu, ГОСТ 32195-2013) [1, с. 7–8]. Оптимальная модель для изолейцина была построена с предобработкой спектров «первая производная + векторная нормализация», ранг 6. Метрологические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Калибровочная модель для L-изолейцина и других аминокислот методом FT-NIR

Аминокислота	Количество образцов	Диапазон, %	R^2 калибровки	RMSECV, %	RPD
Валин	51	93,14–99,73	0,9326	0,513	3,87
Лизин	208	48,52–78,93	0,9779	0,673	6,71
Метионин	60	94,74–99,91	0,9798	1,19	5,56
Треонин	96	78,04–99,95	0,9825	0,864	6,11
Изолейцин	20	84,61–96,57	0,9074	0,935	3,29

Для изолейцина коэффициент детерминации R^2 составил 0,9074, среднеквадратичная ошибка кросс-валидации RMSECV – 0,935%, показатель пригодности для скрининга RPD – 3,29. Полученное значение RPD > 3,0 свидетельствует об удовлетворительной прогностической способности модели, достаточной для производственного контроля. Ошибка предсказания (RMSEP) не превышает межлабораторную воспроизводимость эталонного метода ВЭЖХ. Разработанная методика позволяет без какой-либо пробоподготовки быстрее в 1–2 раза, чем традиционные методы, определить массовую долю изолейцина в кристаллическом препарате, что крайне важно для оперативной корректировки рецептур комбикормов.

1.2. Стартовый опыт на молоди тиляпии

В первом опыте на 200 сеголетках (средняя масса 12,0±0,63 г) в течение 21 суток изучали влияние добавок L-изолейцина сверх базового уровня (рацион с 34% СП) в дозах 10, 20 и 30%. Каждая группа насчитывала 50 особей. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Продуктивность молоди тиляпии при разных уровнях изолейцина (M±SD, n=5)

Показатель	Контроль	+10% Ile	+20% Ile	+30% Ile
Начальная масса, г	12,94±2,16	12,65±1,12	12,56±1,18	12,66±0,93
Конечная масса, г	30,46±3,98	35,64±1,7[a]	42,59±1,58[ab]	41,97±1,65[abc]
Абсолютный прирост, г	17,52±0,55	22,99±0,06[a]	29,53±0,61[ab]	27,31±1,57[abc]
Среднесуточный прирост, г/сут	0,83	1,09	1,41	1,30

Примечание: [a] – p<0,05 к контролю; [b] – к группе +10% Ile; [c] – к группе +20% Ile.

Данный эксперимент и его результаты подробно опубликованы в работе Saleh & Nawar (2024) [11, с. 3–4].

Все дозы изолейцина обеспечили достоверное повышение прироста по сравнению с контролем. Максимальный абсолютный прирост (29,53 г) и среднесуточный прирост (1,41 г/сут) отмечены при добавке 20% Ile, что на 68,6% выше контроля. При увеличении дозы до 30% Ile прирост несколько снижался (27,31 г), хотя различия с группой 20% Ile не всегда были статистически значимы, указывая на выход на плато эффективности. Полученные данные свидетельствуют о высокой чувствительности молоди тиляпии к уровню изолейцина, что согласуется с его ключевой ролью в синтезе белка на ранних этапах роста.

1.3. Основной опыт: дифференцированное применение BCAA по этапам онтогенеза

Второй опыт продолжительностью 184 суток включал 7 групп (по 32 особи на старте), различавшихся комбинациями BCAA. Плотность посадки корректировали на каждом из пяти технологических этапов (от 320 до 100 шт/м³). Базовый рацион на всех этапах содержал адекватный уровень протеина и энергии; сверх него вводили кристаллические

аминокислоты. Схема опыта и основные результаты по приросту ихтиомассы на группу представлены в таблице 3.

Таблица 3

Прирост ихтиомассы по этапам второго опыта (г/группу, в скобках % к контролю)

Группа (добавка)	Этап				
	1 (40 сут)	**2 (20 сут)**	**3 (27 сут)**	**4 (46 сут)**	**5 (51 сут)**
1 – Контроль (без добавок)	973 (100)	655 (100)	960 (100)	1010 (100)	481 (100)
2 – +10% Ile	1181 (121,4)	509 (77,7)	704 (73,3)	887 (87,8)	599 (124,5)
3 – +20% Ile	1178 (121,1)	903 (137,9)	1086 (113,1)	1109 (109,8)	518 (107,7)
4 – +30% Ile	1302 (133,9)	878 (134,0)	1180 (122,9)	1061 (105,0)	675 (140,3)
5 – +20% Ile+20% Val	1216 (125,0)	1063 (162,3)	1264 (131,7)	1403 (138,9)	536 (111,4)
6 – +20% Ile+20% Val+40% Leu	1024 (105,3)	956 (146,0)	1318 (137,3)	1509 (149,4)	370 (76,9)
7 – +40% Ile+40% Val+40% Leu	1117 (114,8)	767 (117,1)	872 (92,9)	905 (89,6)	1242 (258,2)

Анализ посуточной динамики позволил выявить отчётливую возрастную зависимость эффективности разных стратегий.

На этапе 1 (молодь от 7,6 до ~50 г) максимальный прирост (+33,9% к контролю) получен в группе 4 с моно-добавкой 30% Ile. Это подтверждает результаты первого опыта и указывает на приоритетное

значение изолейцина в стартовый период, когда закладывается мускулатура и формируется белковый метаболизм.

На этапе 2 (доращивание, 50-150 г) лидерство переходит к группе 5, где комбинация 20% Ile + 20% Val дала прибавку 62,3% относительно контроля. Резкое увеличение эффективности валина объясняется его участием в энергетическом обмене и глюконеогенезе, что становится критичным по мере наращивания мышечной массы.

Этапы 3 и 4 (интенсивный промысловый рост, 150-300 г) характеризуются наивысшей скоростью белкового синтеза. Здесь группа 6 (20% Ile+20% Val+40% Leu) демонстрирует стабильное преимущество – прирост на 37–49% выше контроля при самых низких затратах корма (FCR = 1,55 кг/кг). Выраженный эффект лейцина связан с активацией mTOR-пути именно в фазе максимального мышечного анаболизма.

На финальном этапе (300-450 г) рекордный прирост (+158% к контролю) и минимальная конверсия корма (FCR = 1,26 кг/кг) достигнуты в группе 7, получавшей высокодозовую смесь всех трёх аминокислот (по 40% каждой). Это свидетельствует о синергизме BCAA на завершающей стадии, когда преобладают процессы гипертрофии мышечных волокон и требуется одновременная стимуляция анаболических и энергетических путей.

Коэффициент массонакопления (Км) в опытных группах на всех этапах превышал контрольный уровень, причём максимальный отрыв зафиксирован на финише в группе 7, где Км в 2,5 раза превосходил контроль.

1.4. Качество мышечной ткани и биологическая ценность белка

Химический состав филе оценивали в конце пятого этапа основного опыта, а также в производственной апробации (третий опыт). В таблице 4 суммированы данные по содержанию сырого протеина на абсолютно сухое вещество (АСВ), жира и энергетической ценности.

Таблица 4

Химический состав мышечной ткани тиляпии (второй опыт, окончание 5 этапа)

Показатель (на АСВ)	Группа						
	1 (К)	2	3	4	5	6	7
Сырой протеин, %	75,10	75,97	78,00	78,50	80,00	84,19	79,80
Сырой жир, %	6,61	5,81	8,66	7,81	7,45	6,32	8,33
Энергетическая ценность, ккал/100 г	92,5	91,9	99,0	105,6	98,7	99,6	99,3
ЭЦ на тушку, ккал	175,4	155,4	208,9	227,3	228,2	250,8	176,4

Максимальное содержание протеина (84,19% АСВ) достигнуто в группе 6, что на 9,09 п.п. выше контроля. При этом выход энергии с одной тушки в этой группе составил 250,8 ккал (+43% к контролю), обеспечивая наилучшее сочетание количества и качества продукции.

В производственном опыте на товарной рыбе (начальная масса 265–377 г, 45 суток) тенденция сохранилась: группа с 40% каждой из трёх ВСАА имела протеин 79,2% АСВ, жир 11,90% АСВ и энергетическую ценность 114,0 ккал/100 г.

Аминокислотный анализ показал существенное улучшение профиля белка под действием ВСАА (табл. 5). Сумма разветвлённых аминокислот в белке мяса возросла с 15,55% в контроле до 19,44% в группе 4 (40+40+40). Содержание лизина – первой лимитирующей аминокислоты – повысилось с 8,59 до 10,42%. При расчёте аминокислотного СКОРа по эталонному яичному белку лимитирующей кислотой в контроле оставался лизин (скор 40,7), тогда как в опытной группе 4 СКОР возрос до 59,5, что приближается к рекомендуемым для человека значениям.

Как отмечают Novodworski и соавт. [10, с. 9], количество и качество пищевого белка напрямую влияют на способность организма синтезировать новые белки, в том числе мышечные белки рыб. Рацион

с ограниченным уровнем белка может снижать доступность незаменимых аминокислот, необходимых для полноценного синтеза белка. Следовательно, наблюдаемое в наших опытах увеличение протеина в мышечной ткани при балансировании BCAA, по-видимому, связано с улучшенной аминокислотной обеспеченностью и, как следствие, с более высокой способностью к белковому синтезу.

Следует отметить, что помимо оптимизации аминокислотного питания, повышение качества рыбной продукции достигается и другими функциональными добавками. Например, прижизненное обогащение радужной форели селенсодержащим препаратом способствовало увеличению содержания селена в мышцах до уровня, соответствующего функциональному продукту, а также улучшало профиль полиненасыщенных жирных кислот (ω-3 и ω-6), что повышало потребительские свойства готовой продукции [3, с. 12].

Таблица 5

Аминокислотный состав белка мяса тиляпии, % к сумме аминокислот (третий опыт)

Аминокислота	Группа			
	1 (К)	2 (30% Ile)	3 (20+20+40)	4 (40+40+40)
Лизин	8,59	8,37	8,32	10,42
Валин	4,24	4,28	4,26	5,40
Лейцин	7,22	7,07	6,93	8,83
Изолейцин	4,09	4,14	4,11	5,21
Метионин	2,73	2,70	2,62	3,33

Интегральная биологическая ценность белка по комплексу показателей (аминокислотный СКОР, индекс Осера EAAI, PDCAAS, DIAAS, показатель Карпаци-Линдера-Варги, коэффициент различия КРАС) в группе 4 на 62% превосходила контроль. Индекс EAAI достиг 99,27 (практически полное соответствие эталону), PDCAAS вырос

с 38,63 до 56,53%, DIAAS – с 37,4 до 54,7%. Такое улучшение подтверждает, что оптимизация BCAA не просто увеличивает массу рыбы, но и принципиально повышает пищевую ценность готового продукта для конечного потребителя.

1.5. Уточнённая модель идеального протеина

На основе собственных данных и анализа литературы (исследования школ NTU, Тайвань и UFPR, Бразилия) предложена возраст-зависимая модель идеального протеина для нильской тиляпии. Для фазы максимального роста (промысловая группа, масса до 300 г) оптимальное соотношение незаменимых аминокислот к лизину (100) составило: лейцин 175, изолейцин 98, валин 114 (или в пересчёте на изолейцин = 1: 1,8 : 1,0 : 1,2). Сравнение с рекомендациями NTU показало, что предложенный уровень лейцина на 0,01% и валина на 0,04% отличается от ранее принятых, уточняя баланс именно для интенсивной фазы. Для молоди и товарной рыбы целесообразно снижение доли лейцина до 125, валина до 82, что предотвращает ингибирование транспорта других нейтральных аминокислот. Рекомендуемый уровень сырого протеина на этапе промыслового роста составляет 331–351 г/кг корма при конверсии 1,26–1,67 кг/кг [10, с. 10].

1.6. Экономическая эффективность применения BCAA

Анализ затрат на корма за полный цикл (табл. 6) показал, что все опытные группы, за исключением группы 2, обеспечили снижение затрат на 1 кг прироста ихтиомассы. Наименьшие затраты (59,9 руб./кг) – в группе 4 (30% Ile), что на 13,2% ниже контроля. Наибольшая валовая прибыль с 1 м³ водной поверхности получена в группе 6 (656,0 руб.) при рентабельности 18,73%. Группа 7, несмотря на рекордный финишный прирост, из-за высокой стоимости трёхкомпонентной смеси имела среднюю рентабельность 24,27%, а пиковую экономическую эффективность показывала лишь на заключительном этапе. Это позволяет рекомендовать дифференцированное применение смесей:

моно-изолейцин на старте, двухкомпонентную смесь в середине цикла, трёхкомпонентную с умеренными дозами лейцина на основном росте и только на финише – высокодозовый комплекс.

Таблица 6

Экономические показатели за полный цикл выращивания тиляпии (второй опыт)

Показатель	Группа						
	1 (К)	2	3	4	5	6	7
Затраты корма на 1 кг прироста, руб.	69,0	73,2	62,0	59,9	60,0	73,9	66,1
Прибыль, руб./м³	24,9	-113,7	357,6	607,1	632,4	656,0	848,8
Рентабельность, %	0,73	убыток	10,44	17,52	18,24	18,73	24,27

2. Синергическое применение экзогенных протеаз и кристаллических аминокислот в низкопротеиновых рационах для цыплят-бройлеров

Эксперименты на цыплятах-бройлерах кросса «Росс 308» выполнены в 2023–2026 гг. на базе вивария Волгоградского ГАУ и в производственных условиях АО «Куриное царство» (Группа «Черкизово»). Содержание птицы соответствовало зоогигиеническим нормативам. Кормление осуществляли вручную с учётом поедаемости. Проведено три серии опытов: на рационах с мясокостной мукой (МКМ), на вегетарианских рационах без животных белков и на рационах с 6% перьевой муки. Во всех случаях уровень СП понижали на 1,5–2,0 п.п. относительно норм кросса, дефицит незаменимых аминокислот компенсировали кристаллическими лизином, метионином, треонином, валином и изолейцином. Протеазы (комбинация КЕМЗАЙМ Протеаза и Стеллар Про) вводили в дозах 500 или 1000 г/т корма.

2.1. Методология in vitro и оценка переваримости сырья

Для объективного прогнозирования действия ферментов предварительно усовершенствовали спектрофотометрический метод определения активности протеаз в кормовых матрицах, используя меченый субстрат, параллельно для оценки переваримости трудногидролизуемого сырья был адаптирован двухэтапный in vitro метод [5, с. 13–16]. Метод показал линейность в диапазоне 55–5501 ед./кг (R^2=0,9988), правильность (степень извлечения 100,4%), прецизионность (Sr=2,0%, SRw=1,9%) и расширенную неопределённость 7,6%. Специфичность подтверждена отсутствием интерференции со стороны маннаназы и ксиланазы (≤0,75%).

Двухэтапный in vitro метод (пепсино-панкреатиновый гидролиз) позволил выявить огромную вариабельность переваримости коммерческих партий перьевой муки: переваримость сухого вещества (ПСВ) от 20,3 до 82,1%, сырого протеина (ПП) от 23,9 до 80,7% при тесной корреляции между ними (r=0,958). Одноэтапный протокол систематически занижал ПП на 13–37%, что подтверждает необходимость использования двухэтапной процедуры для адекватной оценки кератинсодержащего сырья.

2.2. Эффективность протеаз в рационах с мясокостной мукой

В первом опыте бройлеры получали рационы с 5–7,5% МКМ. Комбинация двух протеаз в дозе 500 г/т обеспечила к 40 суткам живую массу 3116 г против 2940 г в контроле (+6,0%) и FCR 1,50 против 1,67 (–9,9%). Эффект усиливался к финишу, когда доля МКМ была выше, что доказывает способность протеаз эффективно гидролизовать коллагенсодержащие белки.

2.3. Низкопротеиновые вегетарианские рационы: синергизм аминокислот и протеаз

В центральном опыте стартовый уровень СП 21,0% снижали до 19,0%, а ростовой/финишный с 19,0 до 17,5%. Все рационы

балансировали по лизину, метионину, треонину, валину и изолейцину. Результаты на 35 сутки представлены в таблице 7.

Таблица 7

Продуктивность бройлеров на низкопротеиновых вегетарианских рационах (35 сут.)

Показатель	Группа		
	Контроль (СП 21/19%)	I опытная (СП 19/17,5%, без протеаз)	II опытная (СП 19/17,5%, 500 г/т протеаз)
Средняя живая масса, г	2094	2205 (+5,3%)	2287 (+9,2%)
Среднесуточный прирост, г/сут	58,7	61,9 (+5,4%)	64,2 (+9,4%)
Конверсия корма, кг/кг	1,60	1,50 (-6,25%)	1,46 (-8,75%)
Сохранность, %	95,6	95,6	96,3
EPEF	357,8	401,3 (+12,2%)	430,4 (+20,3%)

Снижение СП с грамотной аминокислотной балансировкой уже само по себе привело к росту продуктивности: живая масса +5,3%, FCR – 6,25%, EPEF +12,2%. Это принципиально важный результат, опровергающий мнение о неизбежной потере продуктивности при уходе от высокобелковых рационов. Добавление протеаз дало дополнительный синергетический прирост: живая масса +9,2% к контролю, EPEF +20,3% – за счёт более полного извлечения аминокислот из растительных белков.

Убойные качества подтвердили преимущество синергетической стратегии. Абсолютная масса грудной мышцы во II опытной группе увеличилась на 12,3% (до 360,7 г), масса бедренной – на 10,1% (до 361,6 г) при неизменном выходе потрошёной туши 66–67%. Биохимический анализ крови (общий белок, АЛТ, АСТ) не выявил патологических

отклонений, зафиксирована лишь тенденция к повышению триглицеридов и кальция, что согласуется с улучшением усвоения питательных веществ.

2.4. Рационы с перьевой мукой: облигатная роль протеаз

При включении 6% перьевой муки и снижении СП на 1,5–2,0 п.п. без протеаз (I опытная) конечная живая масса снизилась до 3016 г против 3066 г в контроле (табл. 8), несмотря на идеальный аминокислотный профиль. Это подтверждает, что кератин перьевой муки без ферментативного гидролиза остаётся малодоступным для собственных протеаз птицы. Введение комбинации протеаз в дозах 500 и 1000 г/т полностью нивелировало негативный эффект и обеспечило превосходство над контролем: в группе III (1000 г/т) масса 3165 г (+3,2%), FCR 1,59 (–3,0%), EPEF 432,3 (+12,1%). Таким образом, в рационах с кератинсодержащими компонентами экзогенные протеазы выступают облигатным фактором, без которого даже безупречное аминокислотное балансирование не позволяет реализовать генетический потенциал роста.

Таблица 8

Продуктивность бройлеров на низкопротеиновых рационах с 6% перьевой муки (44 сут.)

Показатели	Группа		
	Контроль (СП 21/19%)	I опытная (СП 19/17,5%, без протеаз)	III опытная (СП 19/17,5%, 1000 г/т протеаз)
Средняя живая масса, г	3066	3016 (-1,6%)	3165 (+3,2%)
FCR, кг/кг	1,64	1,67 (+1,8%)	1,59 (-3,0%)
EPEF	385,6	370,3 (-4,0%)	432,3 (+12,1%)

2.5. Физиологический механизм действия – стимуляция эндогенного протеолиза

Для раскрытия механизмов наблюдаемых эффектов определяли протеолитическую активность в содержимом и слизистой оболочке подвздошной кишки. В III опытной группе активность протеаз в химусе повысилась на 26,9% относительно контроля, а в гомогенате слизистой (пристеночное пищеварение) – на 70,3% ($p<0,05$). При этом синтетическая функция поджелудочной железы не изменялась – активность трипсина и химотрипсина в панкреатическом соке оставалась на уровне контроля. Это свидетельствует о том, что экзогенные протеазы не замещают, а потенцируют мембранный гидролиз, вероятно, через генерацию биоактивных пептидов, стимулирующих выработку собственных пептидаз энтероцитов.

Усиление протеолиза закономерно отразилось на показателях азотистого обмена. Переваримость сырого протеина в группе с ферментами достоверно выросла до 82,3% (+2,2 п.п. к контролю). Ретенция азота увеличилась с 60,3 до 66,8%, эффективность использования азота – до 69,4%. Как следствие, экскреция общего азота с помётом снизилась на 10,8%, аммонийного – на 3,8%. Это не только повышает продуктивность, но и уменьшает экологическую нагрузку птицеводческих предприятий на атмосферу и водные источники [9, с. 13–14].

2.6. Производственная апробация и экономическая эффективность

Производственная проверка стратегии проведена на 40 000 головах (20 000 контроль, 20 000 опыт) в условиях АО «Куриное царство». Опытная группа получала рацион с 6% перьевой муки, сниженным на 1,5–2,0 п.п. СП, балансированный по ВСАА и обогащённый 500 г/т протеаз. За 42 суток получено: живая масса 3041 г против 2890 г (+5,2%),

FCR 1,57 против 1,60 (–3,7%), сохранность 97,9% против 96,5%. Выход мяса с 1 м² увеличился на 11,5%.

Экономический анализ выявил, что, хотя валовой расход корма в опытной группе был несколько выше из-за большей массы птицы, снижение стоимости комбикорма на 4,1% (24,92 против 25,98 руб./кг) обеспечило общее уменьшение затрат на корма на 29,1 тыс. руб. Дополнительная прибыль в расчёте на партию составила от 311,7 до 382,4 тыс. руб. в зависимости от канала сбыта.

2.7. Сравнительный анализ подходов для двух видов

Несмотря на таксономические и физиологические различия, для тиляпии и бройлеров прослеживаются общие закономерности. Во-первых, точное балансирование рационов по ВСАА (особенно по соотношению лейцин:изолейцин:валин) обязательно для обеспечения максимального анаболизма на стадиях быстрого роста. Во-вторых, добавление экзогенных протеаз даёт аддитивный или синергетический эффект, который наиболее выражен при использовании трудноусвояемого белка (перьевой муки у птицы, высокозерновых компонентов у рыбы). В-третьих, оба подхода обеспечивают не только продуктивный, но и экологический выигрыш – за счёт снижения потерь азота. Различие состоит в том, что у тиляпии оптимизация ВСАА возможна без ферментов при использовании высококачественного протеина, тогда как для бройлеров на рационах с кератином протеазы становятся обязательным компонентом.

Заключение

Выполненные исследования на нильской тиляпии и цыплятах-бройлерах позволили сформулировать научно обоснованные принципы удовлетворения потребностей быстрорастущих животных в разветвлённых аминокислотах и экзогенных протеазах.

Для нильской тиляпии установлено, что оптимальная стратегия применения ВСАА зависит от стадии онтогенеза. На старте (до 50 г) достаточно моно-добавки 20–30% изолейцина. В ремонтный период (50–

150 г) необходимо сочетание изолейцина и валина (по 20% сверх базового уровня). На промысловом этапе (150–300 г) рекомендуется трёхкомпонентная смесь с акцентом на лейцин (20% Ile + 20% Val + 40% Leu). На финальном откорме (300–450 г) высокодозовая смесь 40% каждой из BCAA обеспечивает рекордный прирост (+158%) и минимальную конверсию корма (1,26 кг/кг). Дифференцированное применение добавок увеличивает содержание протеина в мясе до 84%, повышает биологическую ценность белка на 62% (EAAI до 99,27) и обеспечивает снижение затрат на единицу продукции на 13–57%. Разработанный FT-NIR метод экспресс-контроля изолейцина с RPD=3,29 гарантирует точность входного контроля сырья.

В птицеводстве стратегия снижения сырого протеина на 1,5–2,0 п.п. при точном балансировании лизином, метионином, треонином, валином и изолейцином уже сама по себе повышает продуктивность на 5–6% и улучшает конверсию корма. Дополнительное введение комбинированных протеаз в дозе 500–1000 г/т создаёт синергетический эффект: живая масса возрастает ещё на 3–4%, индекс EPEF – на 20%, а в рационах с перьевой мукой протеазы являются облигатным компонентом, без которого балансирование аминокислотами недостаточно. Ключевой механизм – стимуляция эндогенного пристеночного протеолиза в тонком кишечнике на 70%, приводящая к росту переваримости протеина и ретенции азота. Экологический эффект выражается в снижении эмиссии азота на 10,8%. Производственная апробация подтвердила экономическую целесообразность предложенной системы, обеспечив дополнительную прибыль около 15–19 тыс. руб. на 1000 голов.

Полученные результаты демонстрируют, что концепция точного аминокислотного питания, дополненная адресным применением ферментов, способна одновременно решать задачи повышения продуктивности, улучшения качества продукции, снижения затрат и минимизации воздействия на окружающую среду. Предложенные технологии рекомендуются для широкого внедрения в программы

кормления индустриальной аквакультуры и промышленного птицеводства.

Список литературы

1. ГОСТ 32195-2013. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. – М.: Стандартинформ, 2014.

2. Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Индустриальное рыбоводство. – СПб.: Лань, 2013. – 420 с.

3. Сытова М.В., Жигин А.В., Есавкин Ю.И., Грикшас С.А., Петров А.С. Оценка показателей качества продукции функционального назначения из рыбы, обогащённой селеном в условиях аквакультуры // Изв. ТИНРО. – 2023. – Т. 203, вып. 3. – С. 695–709.

4. Aragão C., Engrola S., Costas B. Amino Acid Supplementation in Fish Nutrition and Welfare // Animals. – 2025. – Vol. 15. – 1656.

5. Boisen S., Fernández J.A. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by in vitro analyses // Animal Feed Science and Technology. – 1997. – Vol. 68(3-4). – P. 277–286

6. Cowieson A.J., Perez-Maldonado R., Kumar A., Toghyani M. Possible role of available phosphorus in potentiating the use of low-protein diets for broiler chicken production // Poultry Science. – 2020. – Vol. 99(12). – P. 6954–6963.

7. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. – Rome: FAO, 2022. – 266 p.

8. Furuya W.M., Cruz T.P.D., Gatlin D.M. Amino Acid Requirements for Nile Tilapia: An Update // Animals. – 2023. – Vol. 13(5). – 900.

9. Kebreab E., Liedke A., Caro D. et al. Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment // Journal of Animal Science. – 2016. – Vol. 94(6). – P. 2664–2681.

10. Novodworski J., Matos E.J.A., Gonçalves R.M., Bombardelli R.A., Meurer F. Protein Requirements of Fattening Nile Tilapia (Oreochromis

niloticus) Fed Fish Meal-Free Diets // Aquac. J. – 2024. – Vol. 4. – P. 135–147.

11. Saleh H., Nawar H.M. The effect of different levels of L-isoleucine in compound feeds on the growth of tilapia (Oreochromis niloticus) // Agrarian science. – 2024. – No. 386 (9). – P. 54–59.

12. Teles A.O., Couto A., Enes P., Peres H. Dietary protein requirements of fish – a meta-analysis // Reviews in Aquaculture. – 2020. – Vol. 12 (3). – P. 1445–1477.

13. Wu G., Li P. The «ideal protein» concept is not ideal in animal nutrition // Experimental Biology and Medicine. – 2022. – Vol. 247 (13). – P. 1191–1201.

© Салех Х., Хамви М.Н.,
Буряков Н.П., Шаповалов С.О., 2026

РАЗДЕЛ III. НАУКА, КУЛЬТУРА, ОБРАЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА

Глава 13.
ЦИФРОВЫЕ СЦЕНАРИИ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ: ОТ ЕВРОПЕЙСКИХ МОДЕЛЕЙ К РОССИЙСКОЙ ПРАКТИКЕ

Шамне Николай Леонидович
д. филол. н., профессор
ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

Аннотация: Представлен сравнительный анализ подходов к использованию цифровых медиа в обучении иностранным языкам в Европе и России. На основе эмпирических данных (2023–2025 гг.) выявлены различия в нормативно-правовом регулировании, доступности платформ и готовности преподавателей к цифровизации обучения. Предложены практические рекомендации по использованию сценариев в преподавании языка, в частности немецкого языка как иностранного.

Ключевые слова: цифровые медиа, электронное обучение, сценарии обучения, преподавание иностранных языков, сравнительный анализ, Россия, Германия.

DIGITAL FOREIGN LANGUAGE TEACHING SCENARIOS: FROM EUROPEAN MODELS TO RUSSIAN PRACTICE

Shamne Nikolay Leonidovich

Abstract: This paper presents a comparative analysis of approaches to using digital media in foreign language teaching in Europe and Russia. Based on empirical data (2023–2025), differences in regulatory frameworks,

platform availability, and teachers' readiness for digitalization are identified. Practical recommendations for using scenarios in language teaching, particularly German as a foreign language, are offered.

Key words: digital media, e-learning, learning scenarios, foreign language teaching, comparative analysis, Russia, Germany.

В последние годы наблюдается стремительный рост значимости цифровизации обучения на всех уровнях образования. При этом различные цифровые медиа опробуются и внедряются зачастую без предварительной подготовки и планирования, что приводит к ситуации, когда «обучение методом проб и ошибок всё больше берёт верх» над систематической методической работой. Однако цифровая трансформация языкового образования представляет собой сложный междисциплинарный феномен, требующий интеграции достижений педагогики, лингводидактики, когнитивной психологии, информатики и медиаобразования [1, с. 42].

В центре внимания данного исследования находится сравнительный анализ подходов к организации обучения иностранным языкам с использованием цифровых медиа в странах Европейского союза (на примере Германии как страны с наиболее разработанной теоретической и практической базой в данной области) и Российской Федерации. Теоретические основы, преимущества и недостатки электронного обучения рассматриваются нами прежде всего в контексте преподавания немецкого языка как иностранного. Однако изложенные далее принципы имеют универсальный характер и могут быть экстраполированы на преподавание любого иностранного языка с учётом национально-культурной и институциональной специфики.

Актуальность настоящего исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, глобальные изменения, вызванные пандемией COVID-19, сделали электронное обучение не альтернативой, но жизненно необходимой платформой, обеспечивающей непрерывность

образования в условиях форс-мажорных обстоятельств [2, с. 12]. Во-вторых, стремительное развитие технологий искусственного интеллекта и облачных сервисов радикально расширяет инструментарий преподавателя, одновременно порождая новые методические и этические вызовы [3, с. 29–30]. В-третьих, геополитические изменения последних лет привели к существенной трансформации цифрового ландшафта в России, включая ограничение доступа к ряду зарубежных платформ и интенсивное развитие отечественных аналогов, что требует переосмысления подходов к организации учебного процесса с использованием цифровых медиа.

Цель исследования – выявить общие закономерности и специфические различия в подходах к использованию цифровых медиа в обучении иностранным языкам в Европейском союзе и Российской Федерации, а также предложить практические рекомендации по оптимальной организации учебного процесса с учётом региональных и институциональных особенностей. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач: 1) сопоставить понятийный аппарат, используемый в европейской и российской дидактической традиции при описании процессов цифровизации обучения; 2) проанализировать нормативно-правовые основы электронного обучения в Европейском союзе (на примере Германии) и Российской Федерации, выявив общие принципы и особенные черты правового регулирования; 3) систематизировать цифровые инструменты и платформы, доступные преподавателям и обучающимся в Европе и России, с акцентом на возможности их использования в языковом образовании; 4) выявить преимущества и недостатки электронного обучения, характерные для каждого из рассматриваемых регионов, с учётом социокультурного и технологического контекста; 5) проанализировать существующие типологии цифровых сценариев обучения и степень их реализуемости в европейской и российской

образовательной практике; 6) рассмотреть проблему готовности преподавателей к работе в цифровой среде и предложить пути её решения.

Методологическую базу настоящего исследования образуют три взаимосвязанных компонента. Первый – теоретические положения зарубежной дидактики в области цифрового обучения и медиадидактики, наиболее полно представленные в работах немецких учёных [4, 5, 6], а также в аналитической статье Н.Н. Зобеницы [7]. Второй – достижения отечественной педагогической науки, связанные с информатизацией образования, электронным обучением и цифровой дидактикой [8–12]. Третий – принципы сравнительной педагогики, позволяющие выявить общее и особенное в развитии образовательных систем разных стран [13].

В современной педагогической литературе отсутствует единое понимание ключевых терминов, описывающих процессы обучения с использованием цифровых технологий. В европейской традиции наиболее распространённым является понятие «E-Learning» (электронное обучение). По определению Н.Н. Зобеницы, E-Learning представляет собой «обучение с электронной поддержкой, при котором используется какой-либо вид цифровых материалов или цифровых каналов коммуникации» (*здесь и далее перевод наш*) [7, с. 128]. А. Грюневальд уточняет, что под обучением в данном контексте понимается «осознанный процесс запоминания знаний, приобретения и развития знаний, познаний, навыков, моделей поведения и установок» [6, с. 42]. Ключевой отличительный признак E-Learning – не характер учебного процесса, а средство доступа к информации: цифровые или электронные медиа, включая персональные компьютеры, CD/DVD, а также мобильные устройства (ноутбуки, планшеты, смартфоны).

Для дифференциации способов использования цифровых медиа в учебном процессе существенное значение имеет классификация, предложенная Б. Херцигом. Исследователь выделяет два принципиально различных подхода. Первый предполагает использование цифровых

медиа в качестве дидактического инструмента – как учебных материалов или учебных инструментов для передачи предметного содержания. Второй рассматривает цифровые медиа как объект рефлексии – их свойства, возможности и связанные с их использованием риски (например, вопросы защиты персональных данных в социальных сетях, влияние медиа на мышление и поведение) [14]. В настоящем исследовании акцент сделан преимущественно на первом аспекте, хотя будут затронуты и вопросы формирования медиакомпетентности обучающихся [34, с. 79].

Дальнейшую дифференциацию вносит различие между онлайн- и офлайн-использованием цифровых медиа. Так, к офлайн-предложениям относят CD, DVD и различные программные обеспечения, включая презентационное ПО (MS PowerPoint). Онлайн-предложения включают онлайн-упражнения и тесты, игровые истории, нарративные компьютерные игры и гиперфикшн [см.: 7, 15, 16]. Онлайн-предложения подразделяются на формальные (учебные материалы, созданные с образовательной целью) и информальные (социальные сети, чаты, вики, YouTube, блоги, онлайн-игры) [17].

Важным измерением онлайн-коммуникации выступает различие между асинхронными (электронная почта, форумы, вики, блоги) и синхронными (чат, видеоконференция) способами взаимодействия. Эта дихотомия имеет принципиальное значение для проектирования учебного процесса, поскольку каждый из форматов создаёт различные возможности для обратной связи, кооперации и индивидуализации обучения [18].

Остановимся на характеристике подходов к цифровизации обучения в отечественной науке. В российской педагогической науке понятийный аппарат в данной области разрабатывался несколькими научными школами. Назовем некоторые.

1. Е.С. Полат, стоявшая у истоков отечественной теории дистанционного обучения, определяла дистанционное обучение как

«целенаправленный, контролируемый и интерактивный процесс взаимодействия обучающих и обучаемых, осуществляемый с использованием компьютерных телекоммуникаций» [19, с. 15]. При этом Е.С. Полат подчёркивала, что ключевой характеристикой дистанционного обучения является не столько технологическая опосредованность, сколько новая организация учебного процесса, предполагающая изменение ролей участников и способов их взаимодействия.

2. В работах А.А. Андреева используется аналог зарубежного термина «e-learning» – «электронное обучение», под которым понимается «обучение с помощью информационных и электронных технологий» [9, с. 107]; автор разработал структурную модель электронного учебного курса, включающую целевой, содержательный, технологический и оценочный компоненты [20].

3. Понятие информационно-образовательной среды представлено в трудах И.В. Роберт. По определению автора, это «системно организованная совокупность информационного, технического, учебно-методического обеспечения, неразрывно связанная с человеком как субъектом образовательного процесса» [10, с. 2]. В более поздних работах И.В. Роберт уточняет, что цифровая трансформация образования требует не только обновления технической базы, но и пересмотра целевых ориентиров, содержания и методов обучения [21, с. 42].

4. В.И. Блинов и соавторы предложили концепцию «цифровой дидактики» «науки об организации процесса обучения в условиях цифрового общества» [11, с. 6]. Ученые обосновывают положение о том, что цифровое общество формирует новые технологии и цифровую среду, которые, в свою очередь, предъявляют новые требования экономики к кадрам, что обусловливает необходимость пересмотра традиционных дидактических подходов. В отличие от традиционной дидактики, ориентированной на передачу готового знания, и компьютеризированной

дидактики, где компьютер выступает лишь как техническое средство, цифровая дидактика фокусируется на организации деятельности обучающихся в цифровой среде и управлении учебной мотивацией.

5. М.Е. Вайндорф-Сысоева вместе с коллегами разработала научную школу «Дидактика цифрового обучения» и показала, что «преподаватель, не владеющий основами организации электронного обучения, теряет конкурентные преимущества и не способен создать виртуальную образовательную среду для взаимодействия с обучающимися» [2, с. 15].

6. В отдельных трудах разрабатываются модели смешанного обучения в России. В частности, О.Г. Смолянинова (2009: 45) рассматривает смешанное обучение как «малоизученную область дидактики, которая позволяет реализовать системно-деятельностный подход на уроках по всем дисциплинам» [12, с. 45].

Необходимо отдельно остановиться на теоретической дискуссии, развернувшейся в европейской дидактике относительно соотношения традиционных и конструктивистских подходов к использованию цифровых медиа. Как показывает Н.Н. Зобеница, хотя теоретическая дискуссия о месте и инновационном потенциале цифровых медиа определяется конструктивистскими теоретическими подходами, существует расхождения между теоретической концепцией и повседневной практикой языковых обучающих программ [7]. Производители языковых программ «на практике комбинируют традиционную передачу знаний и обычные упражнения типа «дрилл-энд-практис» с характеристиками программ, которые поддерживают самостоятельное, исследовательское обучение» [4, с. 75]. При этом в процессе создания программного обеспечения часто отсутствуют связи с теориями обучения, усвоения языка или лингвистическими моделями. Данное противоречие не утратило актуальности и в современной практике, где использование новейших

технологий (включая искусственный интеллект) нередко происходит без должного теоретического обоснования [см.: 3, с. 31].

В российской науке аналогичную дискуссию ведут сторонники технократического и гуманистического подходов. Технократический подход (близкий к бихевиористской модели) делает акцент на управляемости, контроле и стандартизации обучения с помощью цифровых средств. Гуманистический подход (близкий к конструктивизму) акцентирует развитие личности, творчества и самостоятельности обучающегося [11]. Как показывают исследования Е.В. Пискуновой и соавторов, большинство российских преподавателей на практике придерживаются «смешанной» модели, декларируя гуманистические ценности, но реализуя технократические методы [13].

Отдельно в рамках обсуждаемой проблематики следует остановиться на нормативно-правовых основах цифровой трансформации языкового образования. Эффективная интеграция цифровых медиа в образовательный процесс невозможна без сформированной нормативно-правовой базы, определяющей как общие принципы организации обучения с использованием цифровых технологий, так и конкретные требования к инфраструктуре, содержанию и кадровому обеспечению. Представим сравнительный анализ правовых основ в Европейском союзе (на примере Германии) и Российской Федерации.

В Европейском союзе отсутствует единая общеевропейская правовая база по электронному обучению; соответствующие нормы разрабатываются на уровне государств-членов. Тем не менее существуют общеевропейские рамочные документы, определяющие стратегические ориентиры цифровизации образования. К наиболее значимым из них относятся:

1. Цифровая образовательная программа действий на 2021–2027 гг. (Digital Education Action Plan), которая ставит две стратегические цели:

развитие высокоэффективной цифровой экосистемы образования и повышение цифровых навыков и компетенций для цифровой трансформации [22].

2. Рекомендация Европейского парламента и Совета 2006/962/EC о ключевых компетенциях для непрерывного обучения, включающая цифровую компетенцию в качестве одной из восьми ключевых [23].

3. Рамка цифровой компетенции для граждан DigComp 2.2, детализирующая пять основных областей цифровой компетентности: информационную безопасность и решение проблем [24].грамотность, коммуникацию и коллаборацию, создание цифрового контента,

В Германии правовое регулирование дистанционного обучения осуществляется на основе Закона о защите участников дистанционного обучения (Fernunterrichtsschutzgesetz – FernUSG), принятого в 1977 году и неоднократно обновлявшегося (последнее изменение – 2018 г.). Согласно § 1 FernUSG, дистанционное обучение определяется как «передача знаний и навыков, при которой обучающие и обучающиеся преимущественно пространственно разделены, а успех обучения контролируется обучающим» (FernUSG, 1977: §1; *здесь и далее перевод наш*). Закон содержит детальные требования к содержанию учебных материалов, организации обратной связи и защите прав потребителей образовательных услуг. Существенно, что германское законодательство различает дистанционное обучение как самостоятельную форму получения образования и использование цифровых медиа в рамках очного обучения, которое не подпадает под действие FernUSG. Это разграничение имеет важные практические последствия, поскольку на дистанционное обучение распространяются более строгие требования по лицензированию и контролю качества.

Важной тенденцией последних лет в германской высшей школе является активное развитие программ в формате Blended Learning, которые сочетают преимущества очного присутствия и цифровой гибкости [25]. Немецкая модель цифрового образования отличается

высокой степенью автономии образовательных организаций: каждая земля самостоятельно определяет приоритеты и механизмы внедрения цифровых технологий, а федеральное правительство выполняет преимущественно координирующую и финансово-поддерживающую функцию.

В Российской Федерации нормативно-правовое регулирование цифровой трансформации образования носит более централизованный и системный характер, по сравнению с европейскими странами. Основу правового поля составляют следующие документы.

Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» является базовым законодательным актом, определяющим правовой статус электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Статья 16 данного закона устанавливает, что организации, осуществляющие образовательную деятельность, вправе применять электронное обучение и дистанционные образовательные технологии при реализации образовательных программ (ст. 16, ч. 2). При этом ч. 1 ст. 16 дает легальное определение электронного обучения как «организации образовательной деятельности с применением содержащихся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ информации и обеспечивающих её обработку информационных технологий и технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечивающих передачу по линиям связи указанной информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников» (там же, ч.1) [26]. Важным уточнением является то, что электронное обучение в российском законодательстве понимается не как альтернативная форма получения образования, а как способ организации образовательной деятельности, которая может сочетаться с традиционными формами обучения.

Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) всех уровней образования закрепляют требование к формированию цифровой образовательной среды. В обновлённых ФГОС общего

образования, принятых в 2021–2022 годах, усилен акцент на развитие функциональной грамотности, критического мышления и навыков работы с информацией, а также на междисциплинарные связи [27]. Согласно требованиям ФГОС, результатом освоения основных образовательных программ должно стать, в частности, формирование ИКТ-компетентности обучающихся, включающей способность использовать информационные и коммуникационные технологии для сбора, хранения, обработки и передачи информации.

Приказ Минпросвещения России от 23.07.2025 № 551 «Об утверждении федерального перечня электронных образовательных ресурсов, допущенных к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ» представляет собой важнейший документ, регулирующий содержательную сторону цифрового обучения. Утвержденный перечень включает 1425 различных цифровых материалов – онлайн-курсы, электронные учебники, учебно-методические материалы, интерактивные тренажёры и задания, материалы для подготовки к государственной итоговой аттестации [28]. Законодательное закрепление перечня означает, что образовательные организации обязаны использовать при реализации аккредитованных образовательных программ только те электронные образовательные ресурсы, которые включены в данный перечень. Соответственно гарантируется качество используемых материалов и их соответствие ФГОС.

Распоряжение Правительства РФ от 18.10.2023 № 2894-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации образования, относящейся к сфере деятельности Министерства просвещения РФ» определяет стратегические цели и задачи цифровой трансформации общего образования на долгосрочную перспективу. Ключевой целью является создание единой цифровой образовательной среды, доступной для всех регионов страны и обеспечивающей равные возможности для получения качественного

образования независимо от места проживания [29]. Программа цифровой трансформации Министерства просвещения на 2025 год и плановый период 2026–2027 годов включает в себя создание государственной информационной системы информационно-образовательной среды «Российская электронная школа (РЭШ)».

Федеральный проект «Цифровая образовательная среда» (ЦОС), реализуемый в составе национального проекта «Образование», направлен на создание в образовательных организациях современной и безопасной цифровой образовательной среды, обеспечивающей высокое качество и доступность образования всех видов и уровней [30]. Ключевая идея проекта – не просто техническое переоснащение школ, но создание условий для внедрения новых моделей организации учебного процесса с использованием цифровых технологий.

Важной составляющей российской нормативной базы является создание и развитие ФГИС «Моя школа» – единой государственной информационной системы, предназначенной для обеспечения доступа к верифицированному образовательному контенту, электронному документообороту и организации дистанционного взаимодействия всех участников образовательного процесса [31]. Как отмечено в официальных документах, цели создания ФГИС «Моя школа» включают «формирование условий для цифровой трансформации системы образования и использования новых возможностей информационных технологий при реализации образовательных программ» [31, п. 3].

В 2025 году в рамках развития цифровой образовательной среды был запущен проект «Универсальная библиотека цифрового образовательного контента» (УБ ЦОК), реализуемый на портале Госуслуг. Проект направлен на интеграцию верифицированных цифровых образовательных ресурсов в единую экосистему, что должно обеспечить равный доступ к качественному контенту для всех обучающихся независимо от региона проживания и типа образовательной организации.

Необходимо также отметить ограничения, которые накладываются российским законодательством на использование дистанционных образовательных технологий в отдельных сферах. В частности, Федеральный закон от 28.02.2025 № 28-ФЗ ввел запрет на применение электронного обучения и дистанционных образовательных технологий при реализации программ медицинского и фармацевтического образования, за исключением случаев, установленных ФГОС [32]. Это ограничение, с одной стороны, отражает обеспокоенность качеством подготовки специалистов в области здравоохранения, а с другой – указывает на то, что границы применимости электронного обучения должны определяться спецификой конкретных дисциплин и профессиональной сферы.

Проведённый анализ позволяет выявить как общие черты, так и принципиальные различия в нормативно-правовом регулировании электронного обучения в Европейском союзе (на примере Германии) и Российской Федерации. Для наглядного представления результатов сравнения ниже приводится таблица 1. В ней по восьми ключевым критериям сопоставлены два подхода: децентрализованный (европейский) и централизованный (российский).

Таблица 1

Сравнительная характеристика нормативно-правовых основ электронного обучения в ЕС (Германия) и Российской Федерации

Критерий сравнения	Европейский союз (Германия)	Российская Федерация
Уровень регулирования	Преимущественно региональный (земельный) с общеевропейскими рамочными рекомендациями	Федеральный централизованный
Наличие профильного закона	FernUSG – детальное регулирование дистанционного обучения	Ст. 16 ФЗ «Об образовании в РФ» – общие принципы

Продолжение таблицы 1

Федеральный перечень ЭОР	Отсутствует; образовательные организации определяют самостоятельно	Приказ Минпросвещения № 551 (2025) – 1425 ресурсов
Стратегические документы	Digital Education Action Plan (2021–2027)	Распоряжения Правительства № 2894-р (2023), № 1805-р (2025)
Национальные проекты	Отсутствуют	Национальный проект «Образование» (федеральный проект «ЦОС»)
Единая цифровая образовательная среда	Децентрализованные решения на уровне земель	ФГИС «Моя школа», портал Госуслуг, РЭШ
Ограничения на дистанционное обучение	Преимущественно по инициативе организаций	Законодательные запреты для отдельных сфер (медицина, фармация)
Государственная аккредитация онлайн-курсов	Отсутствует (действуют общие стандарты качества)	Обязательная аккредитация для ЭОР, входящих в федеральный перечень

Как следует из таблицы 1, российская модель нормативно-правового регулирования характеризуется более высоким уровнем централизации и государственного контроля. Федеральный перечень электронных образовательных ресурсов создаёт единые стандарты качества, однако ограничивает автономию преподавателей и образовательных организаций. Наличие национальных проектов и стратегических документов обеспечивает системный и скоординированный характер изменений. В то же время европейская модель с её децентрализацией и акцентом на автономию образовательных организаций создаёт более гибкую среду для педагогических инноваций, но порождает риск неравенства в качестве и

доступности цифрового контента между разными регионами и учебными заведениями.

Далее рассмотрим подробнее доступность и функциональные возможности цифровых инструментов и платформ в языковом образовании.

Переход к электронному и смешанному обучению невозможен без использования специализированных цифровых платформ и инструментов. Как показывает практика, доступность этих сервисов в России и Европе существенно различается, особенно после 2022 года. Остановимся на классификации цифровых инструментов по их функциональному назначению, доступности зарубежных и российских решений, а также обсудим риски, связанные с их использованием. Все цифровые инструменты, используемые в языковом образовании, можно разделить на несколько категорий в зависимости от их основной функции – таблица 2 представляет такую классификацию, сопоставляя европейские и российские решения. Отметим, что в основу деления положен принцип ведущей дидактической задачи: управление обучением, синхронная коммуникация, кооперативная работа, создание интерактивных заданий и предоставление структурированных курсов. Данные категории были выделены на основе обобщения положений из соответствующей научной литературы [2, 7, 17 и др.].

Таблица 2

Классификация цифровых инструментов для языкового образования

Категория инструментов	Европейские решения	Российские аналоги	Основное назначение	Примеры использования в обучении языку
Системы управления обучением	Moodle, Canvas, Blackboard	Skillspace, Stepik, Teachbase	Комплексное управление учебным	Размещение курсов по немецкому

Продолжение таблицы 2

(LMS)			процессом, хранение материалов, оценивание	языку, форум для обсуждения, тесты, отслеживание прогресса
Платформы для видеоконференций	Zoom, Google Meet, Microsoft Teams	Яндекс.Телемост, VK ВидеоЗвонки, Контур.Толк, МТС Линк	Синхронное обучение, практика устной речи, групповые занятия	Проведение онлайн-уроков, языковых клубов, консультаций с носителями языка
Инструменты кооперации	Google Docs, Zoho, Perusall	Яндекс Документы, МойОфис, Pyrus	Совместная работа над текстами и проектами	Совместное написание эссе, редактирование текстов, коллективные переводы
Создание интерактивных упражнений	LearningApps, Quizlet, Kahoot	Взнания, Stepik (тесты), Яндекс.Формы	Создание тестов, игр, интерактивных заданий	Лексические и грамматические упражнения с автоматической проверкой
Образовательные платформы	Goethe-Institut, Deutschlerner-blog	Российская электронная школа Учи.ру, ЯКласс	Структурированные курсы и материалы	Готовые уроки по немецкому языку, аудио- и видеоматериалы, тесты

Как показывает таблица 2, по каждой категории существуют как зарубежные, так и отечественные решения, часто с близким набором функций. Однако ключевое различие заключается в доступности этих решений для конечных пользователей в России. К числу наиболее широко используемых в Европе цифровых платформ относятся Google Classroom, Microsoft Teams, Zoom, а также открытая система управления

обучением Moodle. Эти инструменты обладают рядом преимуществ: они бесплатны или имеют доступную стоимость, поддерживаются крупными технологическими компаниями, постоянно обновляются и имеют большое сообщество пользователей. Однако с 2022 года для российских пользователей доступ к некоторым зарубежным платформам осложнился, прежде всего из-за ограничений в работе международных платежных систем. В рамках работы Общественной палаты РФ неоднократно указывалось на риски использования западных платформ в образовании: зарубежные платформы, по мнению экспертов, могут искажать факты или навязывать чуждые ценности, пессимизируя пророссийский взгляд на историю и общественные процессы. Через образовательный и поисковый контент пользователям могут транслироваться установки, идущие вразрез с традиционными российскими духовно-нравственными ценностями.

В ответ на эти вызовы в России активно развиваются отечественные альтернативы. В качестве систем управления обучением всё большую популярность приобретают Skillspace (платформа для создания онлайн-курсов с 2018 года, на бесплатном тарифе доступен весь необходимый функционал) и Stepik (конструктор для создания интерактивных уроков с видео, текстами и задачами с автоматической проверкой). К числу наиболее значимых российских решений для видеоконференций относятся Яндекс.Телемост (российский сервис без ограничений по времени), VK ВидеоЗВонки (встроенный в социальную сеть «ВКонтакте»), Контур.Толк (решение для удаленной работы конференций до 400 участников) и МТС Линк. Для кооперативной работы и совместного создания контента используются ЯндексДокументы (бесплатный аналог Google Docs) и МойОФис (российский офисный пакет). Для создания тестов и интерактивных упражнений доступны платформы Взнания (бесплатная платформа для создания лексических и грамматических заданий), Яндекс.Формы.

В сфере специализированного языкового образования значительный интерес представляют результаты экспериментальных исследований по использованию искусственного интеллекта. Так, например, «с применением модели ChatGPT-4 были созданы упражнения, направленные на устранение ошибок в спряжении глаголов в немецком языке» [3, с. 30]. Результаты показывают эффективность и адаптивность разработанных заданий, подчёркивая потенциал искусственного интеллекта в индивидуализации обучения и интеграции лингвистических корпусов в образовательную практику. Экспериментальная апробация методики гиперинтенсива, в рамках которой вхождение в разговорную практику немецкого языка с нулевого уровня осуществляется исключительно посредством взаимодействия с тьюторами на базе искусственного интеллекта, также демонстрирует многообещающие результаты, хотя пока носит ограниченный характер [33, с. 45].

Наряду с этим в Российской Федерации развёрнуты масштабные государственные образовательные проекты. Портал «Учёба.онлайн», запущенный в 2025 году, предлагает бесплатное дистанционное обучение, доступное круглосуточно и независимо от места проживания. Все образовательные программы на портале реализуются безвозмездно, регистрация и прохождение обучения не требуют квот, согласований или отрыва от служебных обязанностей.

Особого внимания заслуживают российские специализированные платформы для школьного образования. «Российская электронная школа» (РЭШ) предоставляет готовые уроки по всем предметам, включая иностранные языки, с видеоматериалами, интерактивными заданиями и возможностью вебинаров; «Учи.ру» – российская онлайн-платформа, где учащиеся из всех регионов России изучают школьные предметы в интерактивной форме, с полным соответствием ФГОС; «ЯКласс» – платформа с большим банком заданий и

автоматической проверкой. Эти ресурсы интегрированы в ФГИС «Моя школа» и могут безопасно использоваться в образовательном процессе.

Однако использование цифровых медиа имеет как преимущества, так и риски. Так, Н.Н. Зобеница выделяет семь ключевых преимуществ электронного обучения: (1) независимость от места и времени, (2) гибкость, (3) возможность повторного использования контента, (4) распределяемость, (5) архивируемость, (6) интерактивность, (7) гипертекстуальность [7, с. 129]. Данные характеристики, как показывает практика, в полной мере сохраняют свою актуальность и в современной образовательной ситуации. Особо значимым преимуществом, по мнению автора, является возможность предоставления равных образовательных возможностей для различных категорий обучающихся – молодых или занятых родителей, лиц с ограниченными возможностями здоровья, а также в условиях глобальных кризисов [7, с. 129–130]. В российской интерпретации это преимущество реализуется, в частности, через портал «Учёба.онлайн», который обеспечивает бесплатное дистанционное обучение без квот и согласований.

Пространственная независимость и возможность асинхронного использования оцифрованных материалов, как отмечает Н.Н. Зобеница, предоставляют обучающимся высокую степень свободы и способствуют развитию самоорганизации и ответственности [7, с. 129]. Этот тезис находит подтверждение в исследованиях российских учёных. Например, Е.С. Полат подчёркивает, что именно формирование навыков самоорганизации является одним из ключевых результатов электронного обучения, выходящих за рамки предметных компетенций [19, с. 67]. А.А. Андреев отмечает, что асинхронные формы обучения позволяют учитывать индивидуальный темп усвоения материала [9, с. 109], что особенно актуально при изучении иностранного языка.

Важным преимуществом при изучении иностранного языка является также возможность использования аутентичных материалов.

Цифровые медиа предоставляют доступ к аутентичному материалу для чтения и аудирования, а также разнообразные возможности для практики письменной и устной речи, в том числе в сотрудничестве с носителями языка через видеоконференции. При тщательном отборе контента становится возможным культурное обучение. Развитие межкультурных компетенций через виртуальный обмен рассматривается как перспективное направление, реализуемое, в частности, в рамках программы Erasmus+ Virtual Exchange. Как показывают исследования А. Мюллер-Хартмана, видеоконференции могут служить основой для проектов телекооперации и для обучения в телетандемах [18], что особенно эффективно для отработки фонетики и фонологии с носителями языка.

Вместе с тем, в работах ученых выделяются и недостатки электронного обучения. К их числу относятся: необходимость оцифровки контента и обеспечения доступа к нему, что требует от преподавателей ИТ-компетенций; риск использования цифровых медиа в качестве простого «украшения» фронтального обучения без изменения дидактической парадигмы (явление, получившее в литературе название «дидактический регресс» [см.: 34, с. 79]); нехватка невербальных и паравербальных аспектов коммуникации; угроза того, что «обучение методом проб и ошибок» может взять верх над планомерным и систематическим учебным процессом.

Для российской системы образования характерен ряд специфических недостатков. Во-первых, это неравномерность технического оснащения образовательных организаций в разных регионах. Несмотря на реализацию проекта «Цифровая образовательная среда», в некоторых регионах, особенно отдалённых и сельских, сохраняется дефицит высокоскоростного доступа в Интернет и современного оборудования [13, с. 47]. Во-вторых – недостаточный уровень цифровой грамотности части педагогических кадров. По наблюдениям Б. Херцига, положительные мотивационные эффекты от

использования цифровых медиа ограничены во времени, если они относятся лишь к обращению с техническими устройствами, но не ведут к пересмотру дидактических подходов [14, с. 13]. В-третьих, это риски, связанные с использованием непроверенного контента. В отличие от европейских стран, где образовательные организации самостоятельно определяют перечень используемых цифровых ресурсов, в России действует законодательное требование использовать только ресурсы, включённые в федеральный перечень, о чем мы говорили выше. В-четвёртых, следует отметить стагнацию российского рынка EdTech. По данным исследований Smart Ranking, в 2025 году рост рынка онлайн-образования в России составил лишь 12% – вдвое меньше, чем, например, в 2023 году (27%). Общий объём рынка онлайн-образования в 2025 году составил около 154 млрд рублей [35].

Таблица 3 представляет сопоставление преимуществ и недостатков использования цифровых медиа в европейском и российском контексте. Таблица 3 отражает как объективные характеристики (доступ к контенту, техническая инфраструктура), так и субъективные (свобода выбора, государственная поддержка).

Таблица 3

Сравнение преимуществ и недостатков использования цифровых медиа в Европе и России

Категория	Европейский союз (Германия)	Российская Федерация
Доступ к аутентичному иноязычному контенту	Полный (Goethe-Institut, Hueber, Klett, Deutsche Welle и др.)	Частично ограничен (некоторые сайты зарубежных издательств недоступны, но есть российские аналоги)
Техническая инфраструктура	Высокий уровень в целом, но сохраняются региональные различия (восток Германии)	Неравномерность, дефицит в сельских и отдалённых регионах

Продолжение таблицы 3

Свобода выбора цифровых инструментов	Высокая (автономия организаций и преподавателей)	Ограниченная (федеральный перечень ЭОР, требования импортозамещения)
Государственная поддержка цифровизации	Косвенная (финансирование проектов, рекомендации)	Прямая (национальные проекты, создание государственных платформ)
Динамика рынка EdTech	Зрелый рынок, стабильный рост (в среднем 15-20% в год)	Определенная стагнация (рост 12% в 2025 г.)
Подготовка преподавателей	Разнообразие программ на уровне земель и организаций	Централизованные программы в рамках нацпроекта; сохраняется дефицит практико-ориентированных курсов

Как показывает Таблица 3, европейская система обеспечивает более широкий доступ к аутентичному контенту и большую свободу выбора инструментов, однако российская система имеет преимущество в прямом государственном финансировании и создании унифицированных платформ. Обе системы сталкиваются с проблемой региональной неравномерности и недостаточной подготовкой преподавателей.

В рамках использования цифровых технологий в учебном процессе одним из актуальных понятий является «дидактический сценарий». Остановимся на типологии и классификации сценариев обучения с использованием цифровых медиа. Понятие «сценарий обучения» разрабатывается в цифровой дидактике. Данное понятие, заимствованное из театральной и кинематографической сферы, в дидактическом контексте приобретает особое значение как инструмент планирования и анализа учебного процесса. По определению П. Баумгартнера, дидактический сценарий понимается как «сценарий для инсценировки определённого учебного ансамбля» [5, с. 239]. В отличие от жёстко

структурированного урока, сценарий фиксирует лишь типические характеристики хода и оснащения учебного процесса, оставляя пространство для вариативности и учёта конкретных условий. Важнейшим свойством дидактического сценария является его содержательная нейтральность: он описывает типичные паттерны, которые затем наполняются конкретным учебным содержанием.

Значительный интерес представляет концепция сценарной дидактики, разработанная Х.-Э. Пифо первоначально для уроков английского языка, а затем распространённая на обучение всем предметам, включая немецкий язык как иностранный [см.: 36]. Сценарная дидактика предполагает создание инсценированных учебных контекстов, которые ведут к реализации реальных коммуникативных намерений. Ключевыми характеристиками сценариев обучения являются открытость и гибкость: они не имеют фиксированного содержания и предопределённых языковых целей, а конкретное содержание и цели определяются совместно с учащимися на основе их предварительных знаний и потребностей. Эта ориентация на учащихся означает, что структурирующая роль учебного средства в планировании урока принципиально меняется.

Сценарии обучения особенно востребованы в практике межкультурного обучения. В рамках сценария учащимся предлагаются различные задания по заданной ключевой теме; они обсуждают их в команде, планируют работу и презентацию, затем представляют, оптимизируют и рефлексируют. Этот цикл (обсуждение → планирование → презентация → оптимизация → рефлексия) может быть полностью реализован в цифровой среде с использованием инструментов кооперации и видеоконференций.

Выделяются следующие классификации сценариев обучения. Б. Браш и А. Пфайль предлагают классификацию сценариев обучения, основанную на том, где и в каком контексте происходит обучение. Они различают: 1) неконтролируемое / информальное обучение – протекает

вне учебного контекста, например, при просмотре видео на YouTube или участии в языковых сообществах в соцсетях; 2) контролируемое обучение – происходит в институционализированных рамках при поддержке преподавателя; может принимать форму очного обучения, смешанного формата (Blended Learning) или полностью онлайн-курса; 3) мобильное обучение – любое обучение с помощью мобильных устройств (смартфонов, планшетов), которое может быть как контролируемым, так и неконтролируемым [37]. Смешанное обучение, по определению авторов, представляет собой чёткое разделение учебного процесса на очные и онлайн-фазы, которые осмысленно следуют друг за другом и содержательно связаны между собой. Этот формат рассматривается как наиболее сбалансированный, поскольку он сочетает социальные аспекты совместного обучения из очных фаз и гибкость электронных форм [37].

Другие ученые предлагают иной критерий классификации – соотношение ролей участников образовательного процесса. Так, П. Арнольд и соавторы выделяют три тенденции: (1) доминирование преподавателей, (2) доминирование учения над преподаванием и (3) доминирование коммуникативного над индивидуальным [25, с. 137]. В зависимости от того, какая тенденция преобладает, выстраивается определённая структура ответственности за учебный процесс и характер взаимодействия между его участниками.

Особое значение для понимания эволюции дистанционного обучения имеет периодизация, предложенная Д. Рёслером и Э. Чирнером, которые выделяют четыре поколения дистанционного обучения: 1. Печатные медиа – учебные пособия, пересылаемые по почте. 2. Аудиотексты, видео, телевидение, радио и компьютерное обучение (автономные программы на CD-ROM). 3. Электронная почта, аудио- и видеоконференции, компьютерно-опосредованная коммуникация. 4. Интерактивные мультимедиа и компьютерные симуляции [4]. Если в современных условиях добавлять пятое

поколение, его следовало бы связать с использованием технологий искусственного интеллекта, иммерсивных сред (VR/AR) и больших данных [см.: 3, с. 31].

В научной и учебно-методической литературе представлена также типология сценариев по роли автора программного обеспечения. В частности выделяется три основных типа сценариев обучения в зависимости от того, кто управляет авторским программным обеспечением и какова степень активности обучающихся [38]:

1. Тьюториальный сценарий – преподаватель создаёт интерактивные мотивирующие учебные единицы для учащихся, не требующие большого объёма коррекции. Этот сценарий близок к традиционной модели передачи знаний, хотя и облечён в цифровую форму.

2. Исследовательский (эксплоративный) сценарий – присутствует активно-исследовательский компонент, способствующий открытому обучению. Учащиеся сами ищут информацию, экспериментируют и делают выводы.

3. Конструктивистский сценарий – авторские программы используются как динамические учебные инструменты, а обучающиеся становятся производителями материалов, создавая в рамках проектов цифровые учебные досье – электронные портфолио (E-Portfolios) с содержанием и упражнениями по различным темам.

Эта типология имеет принципиальное значение, поскольку отражает эволюцию от центрированной на преподавателе модели к модели, ориентированной на учащегося и способствующей развитию автономии. Большинство реальных образовательных практик находятся на этапе тьюториального сценария, тогда как конструктивистский сценарий реализуется лишь в отдельных инновационных проектах.

Помимо этого, в отдельных работах подробно описывается детализированная классификация сценариев обучения. Так, в трудах

К. Ваннемахера и соавторов предлагается более детализированная классификация, включающая восемь сценариев: 1) обогащение (Anreicherung) – добавление цифровых компонентов без изменения очной модели обучения (например, использование презентаций PowerPoint вместо меловой доски); 2) интеграция (Integration) – классическое смешанное обучение с взаимодополняющими очными и онлайн-фазами; 3) онлайн-обучение – почти полностью цифровой формат с минимальными очными встречами или без них; 4) интеракция и кооперация – активное использование социальных медиа, форумов, вики, инструментов совместной работы; 5) открытая образовательная практика – использование свободных учебных материалов (Open Educational Resources) и массовых открытых онлайн-курсов (MOOC); 6) игра и симуляция – обучение на основе компьютерных игр и виртуальной/дополненной реальности; 7) персонализация – адаптация цифровых форматов и платформ к индивидуальным учебным потребностям (адаптивное обучение); 8) самообучение – все формы цифровой поддержки процессов самостоятельного изучения материала [39].

Сценарии 1–3 являются базовыми и в значительной степени взаимно исключающими друг друга (либо обогащение, либо интеграция, либо полный онлайн). Сценарии 4–8 могут комбинироваться с базовыми (например, интеграция + персонализация). Как отмечают авторы, наиболее эффективными с точки зрения учебных результатов признаются сценарии, включающие элементы кооперации, персонализации и активного самообучения.

В качестве актуальных форм реализации описанных сценариев обучения выступают следующие:

– MOOC (Massive Open Online Courses) – массовые открытые онлайн-курсы, допускающие большое количество участников (от нескольких сотен до сотен тысяч человек) без вступительных требований

и чаще всего бесплатно. МООС реализуют сценарий «открытая образовательная практика» [39, с. 8];

– Inverted Classroom (перевёрнутый класс) – обучающиеся дома самостоятельно осваивают цифровой контент (видеолекции, интерактивные материалы), а на очных занятиях углубляют его через упражнения, дискуссии и проектную работу. Этот формат сочетает элементы сценариев «интеграция» и «кооперация» [25, с. 147–148];

– Game-based Learning (игровое обучение) – использование компьютерных и видеоигр для достижения учебных целей. Реализует сценарий «игра и симуляция» [7, с. 141–142].

В российской практике перечисленные форматы также получают распространение, хотя и с некоторой задержкой по сравнению с Европой. Отдельные исследования показывают, что модели перевёрнутого класса и игрового обучения активно используются в языковом образовании, но их эффективность сильно зависит от конкретных условий (техническая оснащённость, мотивация учащихся, квалификация преподавателя) [см.: 13].

Ключевым фактором успешного внедрения цифровых медиа в образовательный процесс является готовность преподавателей к работе в цифровой среде. Наиболее детальную классификацию преподавателей в зависимости от их отношения к цифровым медиа предложила Х. Шаумбург [40], и эта типология была подробно проанализирована Б. Херцигом [14]. Выделяются пять типов.

Первый тип (Subsumption unter lehrerzentrierten Unterricht) – преподаватели видят себя в роли «передатчиков знаний», жёстко контролируют учебный процесс и используют цифровые медиа эпизодически, подобно классическим медиа (доска, рабочие тетради). Цифровые медиа имеют скорее функцию «рабочего листа» [40, с. 170].

Второй тип (Fokus auf Medienkompetenz und Technik) – преподаватели придают большое значение приобретению

медиакомпетентности, но испытывают трудности с осмысленным использованием цифровых медиа для передачи предметного содержания. Они открыты к изменениям, но зачастую сводят цифровизацию к обучению работе с компьютером [40, с. 173].

Третий тип (Curricular-inhaltlicher Fokus) – преподаватели пытаются осмысленно использовать потенциал компьютера для проработки определённого содержания. В центре внимания – учебная программа, а не технология сама по себе [40, с. 175].

Четвёртый тип (Didaktisch-methodischer Fokus) – преподаватели обращают внимание на связь медиа, метода и содержания, рефлексируют об изменении методов для улучшения учебных процессов. Они готовы отклоняться от программы ради более эффективного использования цифровых инструментов [40, с. 176].

Пятый тип (Konstruktivistische Integration) – преподаватели видят содержательные, методические и медийные решения как целостную взаимосвязь. Они уже до внедрения цифровых технологий использовали центрированные на учащемся и конструктивистские методы, а цифровые медиа упрощают и качественно улучшают эти методы. Преподаватели пятого типа проявляют инновационность и имеют высокие ожидания самоэффективности [40, с. 177–178].

Эта типология в полной мере применима к российским преподавателям. Исследования, проведённые в России [см.: 2, 13 и др.], подтверждают: доля преподавателей пятого типа остаётся относительно невысокой (менее 10%), тогда как большинство относится к первому-третьему типам. Особую проблему представляет тот факт, что значительная часть преподавателей использует цифровые медиа лишь как «украшение» фронтального обучения, не пересматривая базовые дидактические принципы (так называемый «дидактический регресс»).

В российской нормативно-правовой сфере подготовка педагогических кадров к цифровой трансформации регламентируется профессиональным стандартом педагога, который требует владения

ИКТ-компетенциями (Приказ Минтруда № 544н, 2013: раздел «Трудовые действия») [42]. Повышение квалификации реализуется в рамках системы дополнительного профессионального образования. Как показывает практика, наиболее эффективными формами повышения квалификации являются не краткосрочные курсы, а длительные программы (от 250 ч.), включающие практические модули, менторскую поддержку и рефлексивные практики. Представим Таблицу 4, в которой обобщена типология интеграции цифровых медиа преподавателями; к классификации Х. Шаумбурга мы добавили ещё один параметр – распространённость и риски, а также выделили четыре типа интеграции (замещающая, инструментальная, сценарная, конструктивистская). Данные о распространённости основаны на российских исследованиях [см.: 41, 13].

Таблица 4

Типология интеграции цифровых медиа преподавателями

Тип интеграции	Соответствие типам Шаумбурга	Характеристика	Распространённость в России (оценка)	Основные риски
Замещающая интеграция	Тип 1 (и частично тип 2)	Цифровые медиа заменяют традиционные носители (презентации вместо текста, электронная доска вместо меловой) без изменения дидактики	45–55 %	Отсутствие дидактических изменений, «дидактический регресс», низкая вовлечённость учащихся
Инструментальная интеграция	Тип 3	Цифровые инструменты используются для отдельных	30-40%	Фрагментарность, отсутствие системного

Продолжение таблицы 4

		операций (онлайн-тестирование поиск информации, работа с тренажёрами)		подхода, перегрузка учащихся
Сценарная интеграция	Тип 4	Применяются комплексные сценарии обучения (смешанное обучение, перевёрнутый класс, веб-квесты)	10-15%	Высокие требования к компетенциям педагога, трудоёмкость подготовки
Конструктивистская интеграция	Тип 5	Цифровые медиа как средство конструирования знаний, совместного творчества, развития автономии; учащиеся создают собственные цифровые продукты (портфолио, блоги, вики)	5-10%	Необходимость полного пересмотра методической системы, сопротивление со стороны администрации и коллег

Как следует из таблицы 4, наиболее распространённым типом интеграции остаётся замещающий, при котором цифровые медиа не вносят принципиальных дидактических изменений, а лишь модернизируют средства представления информации. Этот тип

интеграции, хотя и внешне привлекателен, несёт в себе риск «дидактического регресса» – ситуации, когда использование новых технологий не ведёт к улучшению учебных результатов. Инструментальная интеграция более прогрессивна, но остается фрагментарной. Лишь сценарная и конструктивистская интеграция позволяют в полной мере реализовать потенциал цифровых медиа, однако они требуют высокой квалификации педагога и значительных временных затрат.

Одним из методов подробного изучения проблемы готовности преподавателя к применению цифровых ресурсов является анкетирование. Приведем фрагмент возможной анкеты (опросника), использованного нами в рамках данной проблематики (опрос проводился среди преподавателей языковых кафедр Волгоградского государственного университета).

Анкета «Диагностика готовности педагога к работе в цифровой образовательной среде»

Уважаемый коллега!

Приглашаем Вас принять участие в анонимном анкетировании, целью которого является изучение готовности преподавателей к использованию цифровых технологий в образовательном процессе. Ваши ответы будут использованы только в обобщённом виде для научного анализа. Заранее благодарим за сотрудничество!

Блок 1. О себе

1. Ваш пол:

□ мужской □ женский

2. Ваш возраст:

□ до 25 лет □ 25–35 лет □ 36–50 лет □ старше 50 лет

3. Педагогический стаж:

□ до 5 лет □ 5–15 лет □ 15–25 лет □ более 25 лет

4. Преподаваемый предмет (основной): _____

5. Тип образовательной организации:

□ школа □ вуз □ СПО

6. Населенный пункт:

□ крупный город (>500 тыс. жителей) □ малый город (до 100 тыс.) □ село

7. Наличие ученой степени:

□ доктор наук □ кандидат наук □ нет

Блок 2. Оцените, пожалуйста, уровень Вашего владения следующими навыками (по шкале от 1 до 5, где 1 – совсем не владею, 5 – владею в совершенстве):

Навык	1	2	3	4	5
Работа с текстовыми редакторами (Word, Google Docs, Яндекс Документы)	□	□	□	□	□
Создание презентаций (PowerPoint, Google Slides, Яндекс Презентации)	□	□	□	□	□
Работа с системами управления обучением (LMS: Moodle, Stepik, Skillspace)	□	□	□	□	□
Проведение видеоконференций (Zoom, Яндекс.Телемост, VK ВидеоЗвонки)	□	□	□	□	□
Создание интерактивных упражнений и тестов (Взнания, Stepik, LearningApps)	□	□	□	□	□
Работа с облачными сервисами (Яндекс Диск, Google Диск)	□	□	□	□	□
Использование ИИ в образовании (ChatGPT, нейросети для создания контента)	□	□	□	□	□
Соблюдение правил информационной безопасности	□	□	□	□	□

Блок 3. Использование цифровых технологий в учебном процессе

1. Как часто Вы используете цифровые технологии на своих занятиях?

□ никогда □ реже 1 раза в месяц □ 1-2 раза в месяц □ 1-2 раза в неделю □ ежедневно

2. Для каких целей Вы используете цифровые технологии? (можно выбрать несколько вариантов)

□ объяснение нового материала □ закрепление знаний □ контроль и оценивание □ поиск информации □ проектная деятельность □ организация обратной связи □ коммуникация с учащимися/родителями □ административная работа

3. Используете ли Вы технологии искусственного интеллекта (ChatGPT, нейросети)?

□ да, регулярно □ да, эпизодически □ пробовал(а) несколько раз, но не использую □ нет, но хотел(а) бы попробовать □ нет и не вижу необходимости

4. Что мешает Вам активнее использовать цифровые технологии? (можно выбрать несколько вариантов)

□ недостаток времени □ недостаток технического оснащения □ недостаток навыков □ отсутствие методических разработок □ нежелание учащихся □ опасения по поводу безопасности данных □ отсутствие мотивации □ консервативные взгляды администрации

Блок 4. Повышение квалификации и отношение к цифровизации

1. Как Вы оцениваете влияние цифровых технологий на качество образования?

□ значительно ухудшает □ скорее ухудшает □ не влияет □ скорее улучшает □ значительно улучшает

2. Нуждаетесь ли Вы в повышении квалификации в области цифровых технологий?

□ совсем не нуждаюсь □ скорее не нуждаюсь □ затрудняюсь ответить □ скорее нуждаюсь □ очень сильно нуждаюсь

3. Какие форматы повышения квалификации для Вас наиболее предпочтительны?

□ краткосрочные курсы/вебинары □ длительные программы с практическими модулями □ самообразование по онлайн-ресурсам □ наставничество/менторство □ внутрикорпоративное обучение в коллективе

4. Что, по Вашему мнению, является наиболее важным для успешной цифровой трансформации образования? (открытый вопрос).

На основе проведённого анализа и с учётом европейского опыта, а также российских нормативных требований и технологических ограничений, можно сформулировать ряд практических рекомендаций для российских образовательных организаций и преподавателей иностранных языков по использованию цифровых сценариев в рамках учебного процесса.

Прежде всего сформулируем принципы планирования цифрового урока.

Принцип 1. Планомерное использование цифровых медиа, а не интуитивное и бессистемное. Выбор цифровых медиа и предложений не должен производиться наугад или случайно, а должен осуществляться с учётом целей обучения. Универсальным инструментом планирования служат восемь ключевых вопросов, предложенных Б. Браш и А. Пфайль [37, с. 80]:

(1) Чего я хочу достичь? (цели урока)

(2) На каком уровне находятся мои учащиеся? (диагностика)

(3) Что делают учащиеся для достижения цели? (учебные действия)

(4) Как учащиеся работают вместе? (формы организации)

(5) С чем работают учащиеся? (материалы, инструменты)

(6) Как я представляю учебные материалы? (способ предъявления)

(7) Что я делаю как учитель? (роль преподавателя)

(8) Как я оцениваю достижение целей? (контроль и обратная связь).

Эти вопросы помогают системно подойти к проектированию урока и избежать ситуации, когда технологии используются «ради технологий».

Принцип 2. Использование российских цифровых платформ, включённых в федеральный перечень ЭОР.

При выборе цифровых ресурсов преподаватели должны руководствоваться федеральным перечнем, утвержденным Приказом Минпросвещения России № 551 от 23.07.2025 [28]. Это гарантирует качество материалов, их соответствие ФГОС и безопасность использования.

Рекомендуемые инструменты для российских преподавателей иностранных языков:

– для видеоконференций и синхронного обучения: Яндекс.Телемост (без ограничений по времени), VK ВидеоЗвонки (встроен в социальную сеть, удобен для работы с молодёжью), Контур.Толк (до 400 участников), МТС Линк (для крупных организаций);

– для совместной работы и кооперации: Яндекс Документы, МойОфис, Pyrus (для проектной работы);

– для создания интерактивных заданий и тестов: Взнания (специализированная платформа для лексических и грамматических заданий), Stepik (конструктор онлайн-курсов с автоматической проверкой), Яндекс.Формы;

– для комплексного управления обучением (LMS): Skillspace (бесплатный тариф позволяет создать один курс с полным функционалом), Stepik, а также Moodle (открытая система, широко используется в российских вузах).

Принцип 3. Интеграция с государственными цифровыми сервисами (ФГИС «Моя школа», портал Госуслуг).

Это обеспечивает доступ к верифицированному образовательному контенту, упрощает документооборот и создаёт единое цифровое образовательное пространство. По состоянию на 2025 год формируется также Универсальная библиотека цифрового образовательного контента (УБ ЦОК), которая в перспективе должна объединить все качественные цифровые ресурсы. Рекомендуется при планировании уроков обращаться к материалам Российской электронной школы (РЭШ) и платформы «Учи.ру», которые соответствуют ФГОС и могут быть использованы как для очного, так и для дистанционного обучения.

Принцип 4. Внедрение сценарного подхода (Szenariendidaktik) с учётом специфики российской аудитории.

Сценарная дидактика Э.-Х.Пифо [см.: 36, с. 116] предполагает создание инсценированных учебных контекстов, ведущих к реализации реальных коммуникативных намерений. При адаптации этого подхода к российской аудитории важно учитывать, что сценарии не должны иметь жёстко фиксированного содержания; конкретные цели и содержание должны определяться совместно с учащимися. Пример сценария для урока немецкого языка: «Организация виртуальной экскурсии по Берлину». Учащиеся распределяют роли (гид, туристы, сотрудник музея), готовят материалы с использованием интернет-ресурсов и презентационных инструментов, проводят экскурсию на немецком языке в формате видеоконференции, а затем рефлексируют результаты. Этот сценарий реализует принципы коммуникативной направленности, межкультурного обучения и деятельностного подхода.

Принцип 6. Активное применение кооперативного обучения с помощью российских облачных сервисов.

Вместо недоступных в ряде случаев Google Docs, российские преподаватели могут использовать ЯндексДокументы, МойОфис и др. для организации совместной работы учащихся, создания общих текстов

и презентаций, коллективного редактирования. Например, в Европе: Google Docs и Zoho (для совместного письма) или Perusall (для совместного чтения). В российских условиях аналогом Perusall может служить использование Яндекс Документов с комментариями или специализированных платформ типа LMS Moodle с модулем «Семинар».

Принцип 7. Развитие цифровой компетенции преподавателей в рамках системы повышения квалификации и самообразования.

Подчеркнем, что процесс цифровой модернизации должен начинаться с приобретения необходимых знаний как цифровых, так и дидактико-методических компетенций со стороны преподавателей. Преподавателям рекомендуется: 1) проходить курсы повышения квалификации по программам «Цифровые технологии в образовании», «Методика дистанционного обучения» и др.; 2) осваивать конкретные цифровые инструменты через самообразование (например, бесплатные онлайн-курсы на Stepik по работе с LMS Moodle, Яндекс.Формами и др.); участвовать в профессиональных сообществах (например, ассоциациях преподавателей немецкого языка), где обсуждаются успешные практики использования цифровых медиа; развивать рефлексивную практику: анализировать собственные уроки с точки зрения типа интеграции и стремиться к переходу от замещающей / инструментальной к сценарной / конструктивистской интеграции.

Принцип 8. Учёт таксономии Блума при создании цифровых заданий.

При создании интерактивных упражнений целесообразно руководствоваться известной таксономией учебных целей А. Блума, чтобы цифровые медиа служили не только для чистой проверки знаний, но и давали повод к активному и автономному учению, развитию мышления высшего порядка (анализ, синтез, оценка) [см.: 7, с. 134]. В таблице 5 приведены примеры заданий (с опорой на таксономию А. Блума) с использованием цифровых инструментов.

Таблица 5

Примеры заданий с использованием цифровых инструментов

Уровень таксономии Блума	Тип задания	Цифровые инструменты
Знание	Тест на лексику (выбор правильного перевода)	Взнания, Яндекс.Формы
Понимание	Пересказ прослушанного текста с записью голоса	Яндекс.Телемост (запись), облачные аудиоредакторы
Применение	Составление диалога по заданной ситуации с последующей записью	VK ВидеоЗвонки, Яндекс Документы
Анализ	Сравнение двух аутентичных текстов (например, новостных статей) с выделением различий	Яндекс Документы, таблицы
Синтез	Создание мультимедийного проекта (например, видеоролика о своей стране на немецком языке)	Stepik, видеоредакторы
Оценка	Рецензирование работы другого учащегося по заданным критериям	LMS Moodle (семинар), Яндекс Документы (комментарии)

Приведем возможные общие сценарии, основанные на предложенной классификации сценариев К. Ваннемахера и соавторов [39]; данные сценарии могут быть использованы в учебном процессе как в Европе, так и в России при условии адаптации инструментов.

Сценарий А. Интерактивные онлайн-упражнения для формирования лексических и грамматических навыков. Этот сценарий соответствует типу «обогащение» (Anreicherung) по К.

Ваннемахеру [39, с. 8] и может быть реализован на платформах LearningApps (европейский вариант) или Взнания (российский вариант). Преподаватель создаёт серию упражнений (сопоставление, заполнение пропусков, множественный выбор, кроссворды) по определённой лексической или грамматической теме. Обучающиеся выполняют упражнения индивидуально или в парах, получая мгновенную обратную связь. Преимущества: автоматизация проверки, возможность многократного выполнения, игровая форма, снижение тревожности при ошибках. Данный сценарий особенно эффективен для отработки лексики и базовых грамматических конструкций на начальном и среднем уровнях (A1–B1). Как показывают результаты опроса, проведенного нами среди преподавателей немецкого языка (ВолГУ), этот тип заданий наиболее распространён (около 60% преподавателей используют тесты и упражнения с автоматической проверкой).

Сценарий Б. Перевёрнутый класс (Inverted Classroom) для развития рецептивных и продуктивных навыков. Сценарий относится к типу «интеграция» (Integration) по К. Ваннемахеру [39, с. 8] и особенно эффективен на уровнях B1–C1. Преподаватель предоставляет обучающимся видеоматериалы, аудиозаписи или тексты для самостоятельного изучения в рамках внеаудиторной подготовки, а на занятии организует практическую работу: дискуссии, ролевые игры, анализ случаев, проектную деятельность. В российских условиях для создания видеоматериалов можно использовать Яндекс.Телемост с записью экрана или Stepik. В европейских условиях – Zoom, Google Meet или специализированные платформы. Практика преподавания языка показывает, что этот сценарий повышает вовлечённость студентов и позволяет более эффективно использовать аудиторное время. Однако, как свидетельствуют результаты опросов, доля преподавателей, регулярно применяющих перевёрнутый класс, не превышает 15%.

Сценарий В. Кооперативное обучение с использованием облачных сервисов для развития письменной речи и проектных

компетенций. Сценарий реализует тип «интеракция и кооперация» по К. Ваннемахеру [39]. Обучающиеся работают в малых группах над общим документом (эссе, презентация, проект). Они могут комментировать работу друг друга, совместно редактировать текст, распределять задачи. В России рекомендуется использовать Яндекс Документы или МойОфис, в Европе используются Google Docs или Zoho. Данный сценарий способствует развитию навыков аргументации, критического мышления и межкультурной коммуникации. Результаты опроса показали, что этот сценарий более востребован в практике изучения языка (его применяют около 20% преподавателей).

В качестве наглядного примера приведем разработанный нами сценарий, используемый на занятиях по немецкому языку как иностранному (для российских студентов направления подготовки «Педагогическое образование»). При разработке такого рода сценариев учитывались имеющиеся в данной области методические разработки, а также результаты исследования потребностей российских студентов, изучающих немецкий язык.

Уровень А1–А2 (начальный).

Сценарий: «Виртуальное путешествие по городам Германии, Австрии и Швейцарии»

Цель: формирование базовой лексики по темам «Город», «Ориентация в пространстве», «Достопримечательности», «Еда»; развитие навыков аудирования и чтения на материале аутентичных текстов и видео.

Описание сценария: Преподаватель создаёт на платформе Stepik или Moodle интерактивный курс «Виртуальное путешествие». Курс включает: (1) видеоролики с YouTube (например, каналы «Deutsch lernen mit der DW», «Easy German») с субтитрами и вопросами на понимание; (2) интерактивные карты городов (Google Maps или Яндекс.Карты) с заданиями на ориентирование; (3) аудиодиалоги (например, заказ еды

в ресторане, покупка билетов) с заданиями на заполнение пропусков; (4) лексические упражнения на платформе Взнания (сопоставление слова и изображения, выбор правильного перевода). Занятие завершается мини-проектом: студенты создают короткий рассказ (3–5 предложений) о своём виртуальном путешествии с использованием выученной лексики. Как показали результаты опросов, этот сценарий вызывает высокую мотивацию у студентов начального уровня.

Уровень B1–B2 (средний).

Сценарий: «Дебаты на немецком языке с использованием ИИ-ассистента»

Цель: развитие навыков устной речи, аргументации, аудирования и спонтанного реагирования; формирование межкультурной компетенции.

Описание сценария: Студенты получают заранее тему для дебатов (например, «Sollten Smartphones in Schulen verboten werden?» – «Следует ли запретить смартфоны в школах?»). Домашнее задание: подготовить аргументы «за» и «против», используя ChatGPT (или российский аналог) для генерации идей и коррекции грамматики. На занятии студенты делятся на две команды и проводят дебаты в формате видеоконференции (Яндекс.Телемост или Zoom). Преподаватель записывает дебаты. После дебатов студенты просматривают запись, анализируют свои ошибки и получают обратную связь от преподавателя и сокурсников. Важно отметить, что использование ChatGPT должно сопровождаться инструктажем по критическому отношению к сгенерированному контенту, поскольку, многие преподаватели опасаются негативного влияния ИИ на критическое мышление обучающихся. Такого рода сценарии в учебном процессе пока мало распространены, но имеют высокий потенциал.

Итак, подведем некоторые итоги. Проведённый в главе сравнительный анализ подходов к использованию цифровых медиа и сценариев обучения иностранным языкам в европейских странах (на

примере Германии) и Российской Федерации позволяет сформулировать следующие основные выводы. Во-первых, электронное обучение стало неотъемлемой частью образовательных систем как в Европе, так и в России. Общими для обоих регионов являются ключевые преимущества E-Learning: независимость от места и времени, гибкость, возможность повторного использования контента, интерактивность, гипертекстуальность. Общими являются и фундаментальные недостатки: необходимость оцифровки контента, риск «дидактического регресса», нехватка невербальной коммуникации.

Во-вторых, существуют значительные различия в нормативно-правовом регулировании и технологической инфраструктуре (см. таблицу 1). Российская система характеризуется более высоким уровнем централизации: наличие федерального перечня электронных образовательных ресурсов (Приказ № 551), реализация национального проекта «Образование» и федерального проекта «Цифровая образовательная среда», создание государственных цифровых платформ (ФГИС «Моя школа», РЭШ, УБ ЦОК). Европейский подход отличается большей децентрализацией и автономией образовательных организаций в выборе цифровых инструментов.

В-третьих, особую актуальность приобретает проблема доступности цифровых платформ в России. После 2022 года доступ к некоторым зарубежным сервисам осложнился, что стимулировало активное развитие российских альтернатив: Яндекс.Телемост, VK ВидеоЗвонки, Контур.Толк, Skillspace, Stepik, Teachbase, «Учи.ру» и др. Эти инструменты по функционалу сопоставимы с зарубежными аналогами и, в отличие от последних, обеспечивают стабильную работу и защиту персональных данных в соответствии с российским законодательством.

В-четвёртых, теоретические подходы, разработанные в российской педагогической науке, не противоречат европейским, но имеют свою

специфику, связанную с необходимостью учёта региональных особенностей и централизованного государственного регулирования. Российская «цифровая дидактика» делает больший акцент на социальной и воспитательной функциях образования, в то время как европейские подходы (конструктивизм, сценарная дидактика) чаще фокусируются на индивидуализации и автономии обучающегося.

В-пятых, наиболее перспективным направлением развития цифрового обучения является переход от замещающей и инструментальной интеграции цифровых медиа к сценарной и конструктивистской (см. таблицу 4). Ключевой задачей остаётся подготовка преподавателей к работе в цифровой среде и формирование у них мотивации к пересмотру дидактических подходов.

В-шестых, сформулированные нами практические рекомендации представляют собой адаптированный к российским реалиям вариант европейских методических разработок. Они учитывают действующее законодательство, доступные отечественные платформы и реальные условия работы российских преподавателей. Особое внимание следует уделять планомерности использования цифровых медиа, сценарному подходу и некоторым другим аспектам (например, таксономия А. Блума) при проектировании заданий.

Таким образом, оптимальная стратегия для российской системы образования – использование лучших европейских практик (в частности, сценарного подхода, типологии интеграционных типов преподавателей, методики телекооперации) с одновременным развитием собственной технологической инфраструктуры и нормативно-правовой базы, учитывающей специфические условия и вызовы российской образовательной системы. При сохранении общих тенденций цифровой трансформации образования в Европе и России пути их реализации имеют существенные различия, обусловленные национальными нормативно-правовыми, технологическими и культурными

особенностями. Дальнейшие исследования должны быть направлены на эмпирическую верификацию эффективности описанных сценариев в российских образовательных организациях разного типа, а также на разработку методических пособий для преподавателей, ориентированных на переход к конструктивистской интеграции цифровых медиа.

Список литературы

1. Роберт И. В. Развитие информатизации образования в условиях цифровой трансформации // Педагогика. – 2022. – Т. 86. – № 1. – С. 40–50.

2. Вайндорф-Сысоева М. Е., Грязнова Т. С., Шитова В. А. Методика дистанционного обучения: учебник для СПО / под общей редакцией М. Е. Вайндорф-Сысоевой. – Москва: Юрайт, 2025. – 194 с.

3. Панченко И. В. Аспекты интеграции ИИ в процесс обучения (на примере немецкого языка) // Иностранные языки: лингвистические и методические аспекты. – 2025. – № 50. – С. 29–33.

4. Rösler D., Tschirner, E. Fremdsprachenlernen mit digitalen Medien: Bemerkungen zum vorläufigen Abschluss einer Diskussion // Deutsch als Fremdsprache. – 2005. – Bd. 42, H. 2. – S. 74–79.

5. Baumgartner P. E-Learning-Szenarien: Vorarbeiten zu einer didaktischen Taxonomie / E. Seiler Schiedt, S. Kälin, Chr. Sengstag (Hrsg.) // E-Learning – alltagstaugliche Innovation? – Münster: Waxmann, 2006. – S. 238–247.

6. Grünewald A. E-Learning / C. Surkamp (Hrsg.) // Metzler Lexikon Fremdsprachendidaktik. – Stuttgart: Metzler, 2010. – S. 41–45.

7. Зобеница Н. Н. Digitale Medien und Lernszenarien im DAF-Unterricht // Методички видици. – 2020. № 11 (11). – 127-150. DOI: 10.19090/mv.2020.11.127-150.

8. Педагогические технологии дистанционного обучения : учебное пособие для вузов / Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина, М. В. Моисеева и др.; под ред. Е. С. Полат. – 3-е изд. – М.: Юрайт, 2020. – 392 с.

9. Андреев А. А. Становление и развитие дистанционного обучения в России // Высшее образование в России. – 2012. – №10. – С. 106–111.

10. Роберт И. В. Теория и методика информатизации образования: психолого-педагогический и технологический аспекты. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 398 с.

11. Педагогическая концепция цифрового профессионального образования и обучения: монография / В. И. Блинов, П. Н. Биленко, М. В. Дулинов и др.; под науч. ред. В. И. Блинова. – М: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2020. – 112 с.

12. Смолянинова О. Г., Достовалова Е. В., Савельева О. А. Организация учебного процесса бакалавров/магистров педагогики в модульной кредитно-рейтинговой системе обучения: монография. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2009. – 294 с.

13. Пискунова Е. В., Солодейников М. О. Анализ результатов отечественных исследований проблем смешанного обучения // Тенденции и практики изменений процесса обучения в технологичной образовательной среде: коллективная монография; научный редактор Е.В. Пискунова; РГПУ им. А.И. Герцена. – Санкт-Петербург: Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. С. 158–174.

14. Herzig B. Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht? – Gütersloh: Bertelsmann Verlag, 2014. – 32 S.

15. Abraham U., Kepser M. Literaturdidaktik Deutsch: eine Einführung. – Berlin: E. Schmidt, 2006 – 304 S.

16. Leubner M., Saupe A., Richter M. Literaturdidaktik. – Berlin: Akademie Verlag, 2010. – 257 S.

17. Meister H., Shalaby D. E-Learning: Handbuch für den Fremdsprachenunterricht. – München: Hueber Verlag, 2014. – 128 S.

18. Müller-Hartmann A. Die Entwicklung interkultureller kommunikativer Kompetenz durch Literatur – Blended Learning in fremdsprachlichen Lehr-Lernkontexten / W. Hallet und A. Nünning (Hrsg.) // Neue Ansätze und Konzepte der Literatur- und Kulturdidaktik. – Trier: Wissenschaftlicher Verlag, 2007. – S. 197–216.

19. Hagenow-Caprez M. (2013). Unterrichten mit Szenarien: Aus der Praxis. Babylonia –2013. – Jg. 1. – S. 47–50.

20. Андреев А. А., Леднев В. А., Семкина Т. А. E-Learning: некоторые направления и особенности применения // Высшее образование в России. – 2009. – № 8. – С. 88–92.

21. Роберт И. В. Направления развития информатизации отечественного образования периода цифровых информационных технологий // Электронные библиотеки. – 2020. – Т. 23. – № 1–2. – С. 145–164. – DOI: 10.26907/1562-5419-2020-23-1-2-145-164.

22. European Commission. Digital Education Action Plan 2021–2027. Resetting education and training for the digital age / European Commission: DG Education Youth Sport and Culture. – Brussels, 2020. – Communication COM (2020).

23. Recommendation of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning (2006/962/EC) // Official Journal of the European Union, L 394, 30 December 2006. – P. 10–18.

24. European Commission. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens: with new examples of knowledge, skills and attitudes. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022.

25. Arnold P., Kilian L., Thillosen A., Zimmer G. M. Handbuch E-Learning: Lehren und Lernen mit digitalen Medien. – Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, 2018. – 640 S.

26. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

27. Приказ Минобрнауки России от 31.05.2021 № 286 (ред. от 18.06.2025) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта начального общего образования». – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

28. Приказ Минпросвещения России от 23.07.2025 № 551 «Об утверждении федерального перечня электронных образовательных ресурсов, допущенных к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования». – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

29. Распоряжение Правительства РФ от 18.10.2023 № 2894-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации образования, относящейся к сфере деятельности Министерства просвещения Российской Федерации и признании утратившим силу распоряжения Правительства РФ от 02.12.2021 N 3427-р». – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

30. Паспорт федерального проекта «Цифровая образовательная среда» (утв. Президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2019 № 7) // Министерство просвещения Российской Федерации [сайт]. – URL: https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/ (дата обращения: 29.04.2026).

31. Постановление Правительства РФ от 13.07.2022 № 1241 «О федеральной государственной информационной системе "Моя школа" и внесении изменения в подпункт "а" пункта 2 Положения об инфраструктуре, обеспечивающей информационно-технологическое взаимодействие информационных систем, используемых для

предоставления государственных и муниципальных услуг и исполнения государственных и муниципальных функций в электронной форме»». – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

32. Федеральный закон от 28.02.2025 № 28-ФЗ «О внесении изменений в статью 16 Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации"» // Федеральный закон от 28 февраля 2025 года №28-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

33. Сорокина Е. А., Яковлева О. А. Использование немецкого языка в цифровом пространстве // Учёные записки Шадринского государственного педагогического университета. – 2025. – №1 (7). – С. 42–48.

34. Son S. DaF-Unterricht digital // Deutsch als Fremdsprache: Zeitschrift für Theorie und Praxis des Deutschunterrichts für Ausländer. – 2004. – Bd. 41, H. 2. S. 76–82.

35. «Edtech-рынок вырос в 2025 году на 12 %» // Smart Ranking [сайт]. – URL: https://smartranking.ru/ru/analytics/edtechs/edtech-rynok-vyros-v-2025-godu-na-12/

36. Küppers A., Schmidt T. Inszenierung /C. Surkamp (Hrsg.) // Metzler Lexikon Fremdsprachendidaktik. – Stuttgart: Metzler, 2010. – S. 116–117.

37. Brash B., Pfeil A. Unterrichten mit digitalen Medien. – Stuttgart: Ernst Klett Sprachen; München: Goethe-Institut, 2017. – 144 S.

38. Chrissou M. Technologiegestützte Lernwerkzeuge im konstruktivistisch orientierten Fremdsprachenunterricht: Zum Lernpotenzial von Autoren- und Konkordanzsoftware. – Hamburg: Verlag Dr. Kovač, 2010. – 240 S.

39. Wannemacher K., Jungermann I., Scholz J., Tercanli H., Villiez A. Digitale Lernszenarien im Hochschulbereich // Arbeitspapier. – 2016. – Nr. 15. – Essen: Verwaltungsgesellschaft für Wissenschaftspflege. – 114 S.

40. Schaumburg H. Konstruktivistischer Unterricht mit Laptops?: Eine Fallstudie zum Einfluss mobiler Computer auf die Methodik des Unterrichts. Dissertation. – Berlin: Freie Universität, 2003. – 115 S.

41. Вайндорф-Сысоева М. Е. Подготовка педагогических кадров в виртуальной образовательной среде // Высшее образование в России. – 2009. – № 10. – С. 24–28.

42. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 октября 2013 г. № 544н «Об утверждении профессионального стандарта "Педагог (педагогическая деятельность в сфере дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования) (воспитатель, учитель)"». – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

© Шамне Н.Л.

Глава 14.
ПРЕПОДАВАНИЕ РУССКОГО ЯЗЫКА В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И НОВЫХ КОГНИТИВНЫХ ПАТТЕРНОВ

Милованова Марина Васильевна
д.филол.н., профессор
ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

Аннотация: В работе представлен критический анализ современных подходов к преподаванию русского языка в российских вузах в условиях цифровизации образования. Обосновывается необходимость разработки интегративной модели обучения. Предлагаются конкретные практические решения для аудиторной работы со студентами, раскрываются их преимущества и недостатки, а также возможности адаптации в зависимости от уровня подготовки и профиля обучающихся.

Ключевые слова: методика преподавания русского языка; лингводидактическая модель; высшее образование; поколение Z; цифровая дидактика.

TEACHING RUSSIAN IN HIGHER EDUCATION IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION AND NEW COGNITIVE PATTERNS

Milovanova Marina Vasilievna

Abstract: This paper presents a critical analysis of current approaches to teaching Russian at Russian universities in the context of digitalization of

education. It substantiates the need to develop an integrated learning model. Specific practical solutions for classroom work with students are proposed, highlighting their advantages and disadvantages, as well as potential adaptations depending on the student's level of preparation and profile.

Key words: Russian language teaching methods; linguodidactic model; higher education; Generation Z; digital didactics.

В российской вузовской практике преподавание русского языка переживает этап глубокой модернизации. Не утрачивая статуса базовой основы профессиональной социализации и культурной преемственности, эта дисциплина вынуждена адаптироваться к интенсивной цифровизации образования и новым когнитивным особенностям студентов, что инициирует пересмотр многих классических методических подходов. Нарастающий диссонанс между традиционной методикой и реалиями цифрового социума требует от вузовской дидактики принципиально иных решений – особенно с учетом изменившихся моделей восприятия и обработки информации у нового поколения обучающихся.

Методология исследования. В основе настоящей работы лежит комплексный методологический подход, сочетающий теоретический анализ научно-методической литературы (по проблемам поколенческой психологии, цифровой дидактики и лингводидактики), эмпирическое наблюдение за учебным процессом (в рамках направлений подготовки «Филология» и «Педагогическое образование» (2024–2026 гг.), а также элементы педагогического эксперимента, проведённого на базе Института филологии и межкультурной коммуникации Волгоградского государственного университета. Использовались методы анкетирования, интервьюирования, анализа продуктов учебной деятельности (визуальных конспектов, кейсов, проектов), а также сравнительный анализ результатов тестирования теоретических знаний и практических коммуникативных задач. Выборка репрезентативна для гуманитарных направлений подготовки классического университета.

Значимость рассматриваемой проблематики определяется рядом существенных «конфликтов» в образовательном процессе. Первый из них фиксируется между традиционным, ориентированным на фундаментальность содержанием вузовского курса русского языка и доминирующим у современных студентов запросом на знание, которое можно непосредственно применить на практике. Исследователи неоднократно говорят о том, что нынешнее поколение обучающихся отличается выраженным прагматизмом. Оно склонно оценивать учебный материал через призму его полезности («где это пригодится?») и испытывает заметные трудности при освоении тем, не обладающих очевидным прикладным потенциалом [1, 2].

Второй «конфликт» – между традиционными широко распространенными формами организации учебного процесса и новыми возможностями цифровой дидактики. В то время как цифровая трансформация охватывает все сферы жизни, многие аудиторные занятия в рамках изучения русского языка по-прежнему строятся по модели, сложившейся ещё в доцифровую эпоху: лекция – семинар – контрольная работа. Как мы отмечали ранее в своих работах, «простое “оцифровывание” традиционных материалов (перевод текстов и заданий в электронный вид) не дает желаемого эффекта» [3, с. 156].

Третий «конфликт» – между стремлением сохранить глубину лингвистической подготовки и необходимостью учитывать такие особенности современных обучающихся, как клиповое мышление, фрагментарность восприятия и потребность в визуализации. По данным исследования, проведенного М.В. Пономаревым, А.В. Клименко и С.Ю. Рафалюк, специфика когнитивной культуры “зуммеров” закрепляется как на уровне нейропсихологических процессов, так и ценностно-мотивационных, поведенческих, коммуникативных установок [4, с. 14–15].

Четвёртый, менее очевидный, но не менее значимый «конфликт» связан с изменением роли преподавателя в цифровую эпоху.

Традиционно преподаватель выступал основным источником авторитетного знания, однако сегодня студенты имеют мгновенный доступ к любой информации через интернет и нейросети. Это порождает кризис легитимности традиционной педагогической позиции: студенты могут сомневаться в необходимости лекции, если «всё есть в Гугле». В результате преподаватель вынужден пересматривать собственную роль – не как транслятора готовых истин, а как организатора познавательной деятельности, навигатора в информационной среде и эксперта по верификации знаний. Данный конфликт часто остаётся вне поля зрения методистов, однако именно он во многом определяет психологический климат на занятиях по русскому языку [см. анализ в: 18, с. 836–837].

Задача настоящей работы выходит за рамки простой фиксации обозначенных «конфликтов». Основной акцент сделан на выработку и обоснование продуктивных способов преодоления этих трудностей. Для этого предполагается критически проанализировать сложившиеся методические концепции и предложить синтетическую (интегративную) модель обучения, которая призвана соединить фундаментальные достижения академической дидактики с педагогическими инструментами, созвучными современным социокультурным и когнитивным реалиям.

В современной вузовской лингводидактике отчётливо просматриваются две магистральные линии преподавания русского языка. Первая опирается на классическую, академическую парадигму, вторая – на поиск новых форматов и технологий, соответствующих духу времени. Анализ публикаций последних лет свидетельствует, что в профессиональной среде эта дихотомия не утрачивает остроты: дискуссия по оси «традиция vs новация» остаётся одной из центральных [5, с. 30].

При этом важно подчеркнуть, что в чистом виде ни одна из парадигм сегодня не реализуется в полной мере: большинство

преподавателей вынуждены эклектически сочетать элементы того и другого, зачастую без осознанной методической стратегии. Это приводит к непоследовательности и снижает эффективность обучения. Именно поэтому требуется не компромиссное «смешение», а теоретически обоснованная интегративная модель, где каждый компонент выполняет свою функцию [6, с. 86–87].

Остановимся подробнее на указанной дихотомии.

1. Академический (традиционный) подход: преимущества и ограничения.

В основе традиционного вузовского курса русского языка лежит классическая система, предполагающая углублённое изучение грамматики, лексики, стилистики и истории языка. Как подчёркивает В.Д. Янченко, этот фундамент остаётся «базисом, без которого невозможно формирование полноценной языковой компетенции» [7, с. 1]. Действительно, академический подход обеспечивает системность, формирует научный понятийный аппарат, развивает логическое мышление и аналитические навыки работы с текстом. К его сильным сторонам также относят полноту теоретической подготовки и преемственность с предыдущими уровнями образования.

Вместе с тем в научно-методической литературе последних лет всё настойчивее фиксируются ограничения этой модели в изменившихся условиях. Критике подвергается её ориентация на механическое запоминание правил: как отмечается, такие методы «мало способствуют развитию спонтанной речи, коммуникативной гибкости и способности применять знания в нестандартных ситуациях» [8, с. 129]. В.В. Гаврилов уточняет, что лекционно-семинарская система с преобладанием репродуктивных форм не учитывает новые когнитивные паттерны обучающихся. В работе с поколением Z «чистый» традиционный подход нередко оказывается неэффективным: студенты формально находятся на занятиях, но не включаются в активную познавательную деятельность [8, с. 130].

Отдельного внимания заслуживает и трансформация коммуникативного подхода, который в его классическом варианте (оформленном в 1990–2000-е годы) также обнаруживает признаки «отставания» от современных условий. Разработанные в доцифровую эпоху коммуникативные методики зачастую входят в противоречие с теми форматами взаимодействия, которые естественны для современных студентов, – мессенджеры, социальные сети, видеоконтент.

2. Инновационный подход: аргументация сторонников и критика.

Сторонники инновационного подхода в преподавании русского языка делают акцент на использовании цифровых технологий, активных методов обучения, проектной деятельности и геймификации. Как утверждает В.В. Гаврилов, «использование активных методов обучения в процессе развития коммуникативной компетенции студентов вуза позволяет значительно повысить их вовлеченность в учебный процесс» [8, с. 131]. Инновационные методики апеллируют к когнитивным особенностям современных студентов – их визуальному мышлению, потребности в интерактивности и быстрой обратной связи. Можно назвать следующие преимущества инновационного подхода: высокая вовлеченность студентов; адекватность когнитивным особенностям поколений Z и Альфа; развитие практических навыков и коммуникативной гибкости; возможность персонализации обучения; актуальность для современной цифровой среды. Однако приверженцы академической школы критикуют новые методики за поверхностность и снижение научного уровня подготовки, подчеркивая, что чрезмерное увлечение инновациями без сохранения фундаментального содержания может привести к формированию «поверхностной языковой компетенции, лишенной системности и глубины» [7, с. 2].

Сравнение двух подходов позволяет выявить их сильные и слабые стороны, что представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ традиционного и инновационного подходов применительно к преподаванию русского языка в вузе

Критерий	Академический подход	Инновационный подход
Цель	Системное знание языка	Коммуникативная компетенция
Методы	Лекции, семинары, письменные работы	Проекты, кейсы, цифровые инструменты
Роль преподавателя	Транслятор знаний	Фасилитатор, модератор
Формы контроля	Экзамены, письменные контрольные работы	Портфолио, презентации, взаимопроверка
Вовлеченность студентов	Низкая (особенно у поколений Z и Альфа)	Высокая
Системность знаний	Высокая	Может снижаться

Добавим также, что помимо явных преимуществ и недостатков каждый подход порождает специфические риски. Например, при академическом подходе возникает феномен «ложного знания»: студент отлично воспроизводит правило на экзамене, но в спонтанной речи (в чате, при устном ответе) систематически его нарушает, поскольку навык не был автоматизирован в коммуникативно значимых контекстах. При инновационном подходе, напротив, возможен феномен «иллюзии компетенции»: активное участие в проекте, яркая презентация могут маскировать пробелы в системных знаниях, которые обнаруживаются при более строгом тестировании. Таким образом, выбор модели должен учитывать не только преимущества, но и механизмы компенсации этих рисков [6, с. 91].

Итак, все еще сохраняющаяся в учебном процессе оппозиция требует дальнейшего методического осмысления. Как отмечают Л.А. Казанцева и И.А. Калиниченко, «сторонники академического подхода критикуют новые методики за поверхностность и снижение научного уровня подготовки. Приверженцы инноваций, в свою очередь,

упрекают традиционную школу в архаичности и неспособности удерживать внимание современных студентов» [5, с. 31]. С нашей точки зрения, подобная бинарная оппозиция блокирует выработку полноценной методической стратегии.

Всё больше специалистов, работающих на пересечении педагогики, психологии и лингводидактики, склоняются к мысли, что конструктивным путём является не взаимное отрицание, а преодоление разрыва между этими подходами. Как утверждает М.И. Реутов, «интегративный подход к определению содержания лингводидактики позволяет объединить лучшие достижения традиционной методики и инновационных педагогических технологий» [6, с. 88]. Именно в русле интегративной парадигмы предлагается искать пути преодоления существующего методологического разрыва.

Отдельно следует остановиться на характеристике особенностей современного поколения студентов [см.: 9]. В настоящее время в высшей школе параллельно обучаются представители нескольких поколений, что создает дополнительные вызовы для преподавателей. Прежде всего – это представители поколения Z и в ближайшем будущем (примерно через два года) – поколения Альфа.

Кратко охарактеризуем когнитивный профиль и образовательные запросы поколения Z (1995–2010 годов рождения). Исследования последних лет фиксируют следующие особенности поколения Z: клиповое мышление и фрагментарность восприятия; предпочтение визуальных форматов информации текстовым; прагматичность; потребность в интерактивности и быстрой обратной связи; высокая техноориентированность при недостаточной глубине понимания технологий [1, с. 788–789]. Важно уточнить, что клиповое мышление не тождественно неспособности к аналитической работе. Как показывают нейропсихологические исследования, у представителей поколения Z лучше развиты навыки параллельной обработки информации и быстрое

переключение внимания, но при этом снижена способность к длительной концентрации на одном объекте без внешней поддержки. Это означает, что традиционная лекция заведомо неэффективна, но если разбить её на 10-15-минутные блоки со сменой деятельности, восприятие может быть очень глубоким [4, с. 20–22]. Развернутую характеристику когнитивной культуры «зуммеров» дают в своих работах М.В. Пономарев, А.В. Клименко и С.Ю. Рафалюк, «раскрывая взаимосвязь таких явлений, как клиповое сознание, визуальное мышление и эмоциональный интеллект, отмечая закрепление соответствующих качеств как на уровне нейропсихологических процессов, так и ценностно-мотивационных, поведенческих, коммуникативных установок» [4]. Авторы подчёркивают, что «адаптация образовательного процесса к когнитивным особенностям представителей поколения Z соотносится с закреплением интерактивного характера педагогического взаимодействия, геймификацией образовательного процесса, созданием условий для построения индивидуальных траекторий обучения» [4, с. 15]. В исследовании, проведенном Г.Г. Салиховой и соавторами, «выявлены основные особенности молодежи – представителей поколения Z, влияющие на процесс усвоения ими образовательных программ и получения высшего образования, показан портрет эффективного преподавателя, предложены практические рекомендации по совершенствованию образовательного процесса в высшей школе» [2, с. 49]. Авторы отмечают, что для эффективной работы с поколением Z преподавателям необходимо переходить от роли «транслятора знаний» к роли «модератора, фасилитатора и тьютора» [2, с. 51].

Однако в научной и научно-методической литературе представлены различные оценки когнитивных характеристик поколения Z. Если одни исследователи склонны рассматривать клиповое мышление как негативный фактор, приводящий к поверхностности и снижению способности к анализу, то другие, как, например, А.Р. Бухарбаева и

Л.В. Сергеева, подчеркивают, что клиповое мышление – это «адаптация к информационной перегрузке, а не патология» [1, с. 794]. Они утверждают, что задача высшей школы – не бороться с клиповым мышлением, а научить студентов использовать его преимущества (быстрое переключение между задачами, многозадачность) и компенсировать недостатки (тренировка долговременной концентрации).

Идущее на смену поколению Z поколение Альфа (2011 и далее годов рождения) – это новый вызов высшей школе. Так, в российских вузах с 2028 г. ожидается значительный приток студентов поколения Альфа. По данным международных исследований, поколение Альфа насчитывает около 2 миллиардов человек в глобальном масштабе [10, 11]. При этом, всё больше семей выбирают для своих детей домашнее обучение, и качество такого образования, по оценкам экспертов, находится на достойном уровне [12].

Старшие представители поколения Альфа росли в эпоху пандемии COVID-19, когда «снежные дни превращались в учебные дни онлайн» [13]. Как следствие, эти студенты с большей вероятностью будут ожидать гибридные форматы обучения, так как это для них привычная норма. Исследования показывают, что поколение Альфа демонстрирует высокую технологическую грамотность, предпочтение интерактивных и индивидуализированных форм обучения, ему присущи глубокие социальные и экологические ценности, при этом одновременно у него обнаруживаются пробелы в навыках самоорганизации и социального взаимодействия [14]. Для преподавателей русского языка это означает необходимость готовиться к работе со студентами, которые с детства привыкли к голосовому вводу, автозамене и автоматической проверке орфографии. Многие из них имеют фрагментарные представления о правилах пунктуации, поскольку в мессенджерах знаки препинания часто опускаются, а нейросети предлагают готовые варианты ответов. В то же время поколение Альфа способно очень быстро осваивать новые

цифровые инструменты, что можно использовать в обучении (например, автоматизированные тренажёры по орфографии с элементами геймификации).

Нейробиологические исследования фиксируют у детей Альфа измененное восприятие: «они одновременно сканируют несколько информационных потоков, быстро переключаются между задачами и остро реагируют на отсутствие обратной связи» [15].

Если обратиться к мировой практике, то анализ мировых трендов показывает, что проблема адаптации высшего образования к поколению Альфа носит глобальный характер. По данным исследования Times Higher Education (2025), 75% представителей поколения Альфа намерены поступать в университеты, однако их доверие к высшему образованию носит условный характер – они ожидают от вузов «мобильного, гибридного и основанного на искусственном интеллекте обучения, превосходящего ожидания поколения Z» [16, 17]. Более того, поколение Альфа становится первым, для кого мнение искусственного интеллекта может быть значимее мнения традиционных авторитетов [15]. Например, в Германии, как показывают исследования 2025–2026 годов, университеты разрабатывают стратегические ответы на «системные вызовы, включая изменение ожиданий студентов, усиление конкуренции и эволюцию требований рынка труда» [14]. Аналогичные процессы происходят в США, где вузы уже сейчас оснащают аудитории системами виртуальной и дополненной реальности, готовясь к приему студентов Альфа.

Таким образом, обозначенная проблема не является уникально российской – она отражает глобальный поколенческий сдвиг, требующий пересмотра традиционных образовательных парадигм.

Для иллюстрации различий между поколениями представим их ключевые характеристики в таблице 2 (с целью выделения особенностей

приведем также признаки поколения Y (миллениалы), представители которого составляют меньшинство среди студентов в силу возраста).

Таблица 2

Сравнительная характеристика поколений в образовательном контексте

Характеристика	Поколение Y (миллениалы)	Поколение Z (зумеры)	Поколение Альфа
Годы рождения	1985–2003	1995–2010	2011–2025
Тип мышления	Линейное, аналитическое	Клиповое, визуальное	Сетевой интеллект
Образовательные предпочтения	Лекции + интерактив	Короткие видео, игры, визуализация	Персонализированные треки, ИИ-ассистенты
Каналы восприятия	Текст + аудио	Визуальный доминантный	Мультимодальный
Отношение к авторитетам	Уважение к статусу	Скептицизм, нужна аргументация	Мнение ИИ может перевешивать
Ожидания от обучения	Знания для карьеры	Прикладные навыки	Персонализация и скорость

Следует подчеркнуть, что приведённая в таблице характеристика является идеализированной типологией, и на практике когнитивный стиль конкретного студента может существенно варьироваться в зависимости от его цифровой социализации, семейного воспитания и индивидуальных особенностей. Однако для макроанализа эти различия статистически значимы и должны учитываться при проектировании образовательных программ [9; 11].

Итак, таблица 2 демонстрирует существенные различия между поколениями студентов. Как подчёркивают А.В. Бабенко и Д.Ю. Семенова, игнорирование этих особенностей приводит к снижению

эффективности образовательного процесса: «студенты формально присутствуют на занятиях, но не включаются в познавательную деятельность» [18, с. 835]. Традиционные методы, основанные на длительном объяснении, конспектировании и последующем воспроизведении, вступают в конфликт с когнитивным стилем современных обучающихся. По данным исследований, более 45% студентов поколения Z признаются, что не могут удерживать внимание на академическом тексте длиннее одной страницы [4].

Обобщение сказанного позволяет очертить суть центральной проблемы: в современной вузовской практике преподавания русского языка сохраняется ощутимая дистанция между академическим ядром содержания (фундаментальным, логически выстроенным, научно ориентированным) и каналами его трансляции, которые уже не вполне созвучны познавательным стратегиям и повседневным речевым привычкам сегодняшних студентов.

Обозначенная дистанция выражается в нескольких аспектах. Во-первых, содержание курса остается академически строгим и насыщенным теоретическим материалом. Студентам предлагаются для освоения сложные лингвистические концепции, системы грамматических категорий, стилистические тонкости – то есть информация высокой степени абстракции. В то же время методы её подачи (лекции в формате монолога преподавателя, заучивание правил, письменные / устные пересказы – задания в рамках семинарских занятий) не учитывают сократившийся объем рабочей памяти и трудности с долговременной концентрацией у студентов поколений Z и Альфа. Например, традиционная лекция по теме «Система функциональных стилей русского языка» может занимать 80 минут непрерывного монолога – формат, который поколение Z объективно не способно воспринимать эффективно.

Во-вторых, образовательный процесс ориентирован на формирование знаний (способности воспроизвести правило (закон,

концепцию и др.), привести пример из учебника, текста и др.), но не обеспечивает достаточной практики их применения в форматах, адекватных современной коммуникации (социальные сети, мессенджеры, видеоконтент). Студент может очень хорошо сдать экзамен по стилистике, но не сможет написать убедительный пост в профессиональном блоге или отредактировать текст официального письма.

В-третьих, система оценивания по-прежнему строится вокруг письменных работ (различного рода контрольных) и устных ответов по билетам, тогда как студенты привыкли к оперативной обратной связи и не всегда воспринимают традиционные формы контроля как значимые и релевантные. Исследование, проведённое среди 500 студентов филологических факультетов, показало, что 68% опрошенных считают традиционные диктанты формальностью, не отражающей реальное владение языком [19].

Четвёртый аспект – отсутствие в традиционной модели рефлексии над собственным учебным процессом. Студент не вовлекается в обсуждение того, как он учится, какие стратегии ему помогают, а какие мешают. Современная когнитивная психология подчёркивает важность метакогнитивных навыков (планирование, мониторинг, оценка) для успешного усвоения сложного материала. В преподавании русского языка это особенно актуально: студенты редко задумываются о том, какие типы заданий способствуют выработке орфографической грамотности, а какие – лишь создают иллюзию понимания. Интегративная модель должна предусматривать элементы рефлексии, например, краткие самоотчёты после каждого тематического блока [21, с. 199–200].

Рассматриваемая дистанция порождает ряд негативных последствий, подтверждённых эмпирическими исследованиями:

1. Снижение учебной мотивации. По данным опроса, проведённого среди студентов российских вузов в 2024 году, почти половина

респондентов признались, что задания выполняют лишь формально, ради получения диплома, не видя в них личностного смысла [20].

2. Формальное усвоение знаний, не переходящее в компетенции. Результаты тестирования, проведённого в 2025 году в рамках Института филологии и МКК ВолГУ (n = 90), показали, что при высоком уровне теоретических знаний (средний балл 4,2 по 5-балльной шкале) способность применять эти знания в нестандартных коммуникативных ситуациях оценивалась лишь на 2,8 балла.

3. Неспособность студентов применять лингвистические знания в реальной коммуникативной практике. По данным исследования А.В. Бабенко и Д.Ю. Семеновой, «лингвистические знания, полученные в рамках традиционной академической модели, часто остаются “мёртвым капиталом” – студенты не могут актуализировать их в спонтанной речи, поскольку обучение не предусматривало достаточной практики в форматах, соответствующих их естественной коммуникативной среде» [18, с. 838–839].

4. Психологический дискомфорт. Исследования фиксируют, что до 70–80% студентов, усваивающих русский язык в условиях расхождения между привычными форматами восприятия информации и академическими требованиями, пребывают в состоянии повышенной интеллектуальной тревожности [21].

5. Добавим также пятое последствие – рост использования «обходных стратегий»: списывание, генерация готовых работ с помощью ИИ (ChatGPT, Яндекс.Браузер и др.), заказ эссе и рефератов на онлайн-бирках. В опросе, проведённом среди студентов-филологов в 2025 году (n=90, ВолГУ), 62% респондентов признались, что хотя бы раз использовали нейросеть для выполнения письменного задания по русскому языку, причём 28% делают это регулярно. Это не столько показатель «лени», сколько симптом неадекватности традиционных заданий: если задание легко выполняется ИИ, значит, оно проверяет не творческое мышление и не глубокое понимание, а воспроизведение

шаблонных структур. Интегративная модель, напротив, должна строить задания, которые требуют личностного участия, уникального коммуникативного контекста и рефлексии – того, с чем ИИ пока справляется хуже.

Предлагаемое решение проблемы заключается не в отказе от академического содержания и не в его упрощении, а в дальнейшей разработке такой гибридной методической системы – интегративной модели, которая, сохраняя научную глубину подготовки, одновременно предложит гибкие, созвучные современным реалиям способы подачи материала.

Приведем теоретическое обоснование интегративной модели в рамках цифровой дидактики.

В современной лингводидактике понятие интегративной модели разрабатывается рядом исследователей. М.И. Реутов даёт следующее определение этого понятия: «интегративный подход к определению содержания лингводидактики предполагает объединение традиционных и инновационных компонентов в целостную систему, где каждый элемент сохраняет свою специфику, но функционирует в едином методическом контексте» [6, с. 90]. В работах других ученых предлагается термин «лингводидактическое моделирование», которое определяется как метод интеграции различных подходов, объединяющих «в учебной программе формирование ценностей, передачу знаний и развитие способностей с учетом различных стилей обучения и потребностей обучающихся» [22, с. 155]. Мы ранее в своих работах, исследуя использование цифровых технологий в рамках коммуникативного аспектного обучения неродному языку, указывали, что «цифровые инструменты не заменяют, а дополняют работу преподавателя, позволяя высвободить аудиторное время для живого общения и отработки коммуникативных навыков» [3, с. 158].

Конкретизируем теоретическую базу интегративной модели. Она опирается на «три кита»: (а) теорию деятельностного усвоения

(А.А. Леонтьев), согласно которой знание становится компетенцией только в процессе решения реальных коммуникативных задач; (б) теорию когнитивной нагрузки (Дж. Свеллер), требующую оптимизации предъявления материала с учётом ограниченного объёма рабочей памяти; (в) концепцию персонализированного обучения (Б. Блум, Л.С. Выготский), акцентирующую зону ближайшего развития и индивидуальный темп. Интеграция этих теорий позволяет выйти за рамки простой дихотомии «академический – инновационный» и предложить принципиально иную схему: сохранение академического ядра при гибкой, адаптивной «обёртке» методов и форм контроля [см.: 3, 6].

Мы считаем, что данная интегративная модель обучения языку должна иметь следующие отличительные характеристики:

1. Ориентация не только на поколение Z, но и на грядущее поколение Альфа с его специфическими когнитивными паттернами, включая «сетевой интеллект» и привычку к персонализированным образовательным трекам.

2. Разработка не абстрактных принципов, а конкретных, проверенных на практике методических приёмов с детальным анализом их преимуществ и недостатков, а также с указанием возможностей адаптации в зависимости от профиля и уровня подготовки студентов.

3. Соотнесение предлагаемых решений с требованиями ФГОС ВО, что обеспечивает их практическую реализуемость в рамках существующей нормативной базы.

4. Формулировка выводов дифференцированно – отдельно для научной общественности (методологические аспекты) и для практикующих преподавателей (инструментальные рекомендации).

5. Открытость для «донастройки» и обратной связи. Интегративная модель не является жёстким предписанием, а представляет собой гибкую рамку, которая может модифицироваться в зависимости от конкретной

учебной группы, технического оснащения и даже времени проведения занятия (утренние пары требуют иных приёмов, чем вечерние). Предполагается, что преподаватель на основе своих наблюдений и опроса студентов может адаптировать долю цифровых инструментов, степень визуализации и формат обратной связи [3].

Данная модель соответственно должна базироваться на следующих принципах:

1. Принцип содержательной преемственности. Базовое лингвистическое содержание (система языка, грамматические категории, стилистические нормы) сохраняется в полном объеме, поскольку именно оно обеспечивает формирование профессиональной языковой компетенции выпускника. Как подчёркивает В.Д. Янченко, «отказ от фундаментального содержания ради методических нововведений недопустим, поскольку именно системное знание языка отличает выпускника вуза от выпускника школы» [7, с. 2].

2. Принцип методической трансформации. Пересматриваются приёмы предъявления учебного материала, формы организации аудиторной и самостоятельной работы студентов, виды заданий. При этом учитываются когнитивные характеристики поколения Z, потенциал цифровой обучающей среды, а также актуальные каналы коммуникации.

3. Принцип деятельностного опосредования. Освоение лингвистических знаний происходит не через заучивание чего-либо (правил, положений и т.д.), а в процессе выполнения коммуникативно ориентированных задач, участия в проектной деятельности и анализа реальных речевых практик. Этот принцип восходит к психолингвистической теории деятельности, разработанной в трудах А.А. Леонтьева – одного из основоположников отечественной психолингвистики, чьи идеи о деятельностной природе речепорождения остаются методологически значимыми для современной лингводидактики.

4. Принцип визуализации и структурирования. Сложный лингвистический материал представляется в форматах, облегчающих его восприятие: инфографика, ментальные карты, схемы, таблицы, интеллект-карты. Особенно актуален этот принцип для поколения Альфа, у которого, по данным нейробиологов, «изменена перцептивная система: они одновременно сканируют несколько информационных потоков» [15].

5. Принцип диалогичности и интерактивности. Учебный процесс строится как равноправное взаимодействие, а не как односторонняя передача информации. Задействуются форматы, предполагающие оперативную обратную связь, дискуссию, коллективный поиск решений; «диалогичность обучения – это не просто методический приём, а базовый принцип, обеспечивающий включённость студента в процесс и формирование его учебной автономии» [3, с. 162].

6. Принцип рефлексивной практики. После выполнения каждого крупного задания (кейса, проекта, развёрнутого комментария) студенту предлагается ответить на три вопроса: «Что я сделал?», «Как я это сделал?», «Что я понял о своём понимании языка?». Такая рефлексия не только закрепляет материал, но и развивает метакогнитивные навыки, что особенно важно для поколения Z, склонного к быстрому, но поверхностному усвоению. В рамках нашего эксперимента ведение кратких рефлексивных дневников (в свободной форме, 5–7 минут в конце занятия) показало повышение осознанности при выполнении последующих коммуникативных задач на 20% (по самоотчётам студентов).

Вопрос о месте цифровых технологий в обновлении вузовского курса русского языка нуждается в отдельном комментарии. Эмпирические данные свидетельствуют: простая дигитализация традиционного контента (электронные копии текстов и заданий) малопродуктивна. Требуется продуманное, с педагогической точки

зрения, включение цифровых решений, когда технология выступает не как самостоятельная цель, а как вспомогательный инструмент для достижения учебных задач. При этом следует особо оговорить: цифровые инструменты не вытесняют преподавателя, но обогащают его арсенал, позволяя перенести акцент в аудиторной работе на живой диалог и отработку практических умений.

Обратимся к общим трендам цифровизации в России. По данным Минобрнауки РФ, количество людей, обучающихся онлайн в России, за последние пять лет выросло в 2,6 раза – с 3,1 млн до 8,1 млн человек [12]. В 2024 году онлайн-формат выбрали 2,3 млн студентов вузов (около 51% от их общего числа) и 5,8 млн граждан, повышающих квалификацию [12]. Доля программ с использованием цифровых технологий увеличилась с 30% до 62% за последние годы [12]. В 2025 году на модернизацию высшей школы было направлено 34 млрд рублей, что позволило оснастить 1 200 аудиторий системами виртуальной и дополненной реальности [IT Russia 2025]. По данным Минпросвещения, 87 процентов вузов уже используют цифровые образовательные платформы, а 62 процента внедрили технологии искусственного интеллекта в учебный процесс [23].

Однако процесс внедрения цифровых технологий в сфере гуманитарных наук имеет свою специфику. Анализ трендов за последние пять лет показывает, что цифровая трансформация образования уже стала реальностью, но в гуманитарных дисциплинах, включая русский язык, она внедряется медленнее, чем в естественно-научных. По сведениям Минобрнауки за 2024–2025 годы, более 80% российских университетов перешли на цифровые платформы, но при этом лишь 35% преподавателей гуманитарных дисциплин регулярно используют в своей работе цифровые образовательные инструменты (против 78% в инженерных и IT-специальностях). Основная причина – не технические ограничения, а неготовность методик и отсутствие разработанного

дидактического инструментария для интеграции цифровых технологий в процесс преподавания языка. Цифровая трансформация высшего гуманитарного образования сталкивается не с технологическими, а с методическими и психологическими барьерами – нехваткой апробированных цифровых учебно-методических комплексов и низкой цифровой компетентностью части преподавательского корпуса.

Добавим, что среди гуманитариев распространён страх перед «вытеснением» преподавателя технологиями, что приводит либо к полному отказу от цифровых инструментов, либо к их формальному использованию (например, обязательная загрузка презентаций в LMS без изменения содержания занятий). Преодоление этого психологического барьера требует системного повышения квалификации, желательно в формате мастер-классов и взаимопосещений, а не абстрактных лекций о цифровизации. В рамках нашей работы на базе ВолГУ был проведён краткосрочный семинар для преподавателей-филологов и лингвистов (16 часов), посвящённый интеграции пяти описанных приёмов. Пост-тестирование показало, что после семинара доля регулярно использующих хотя бы один цифровой инструмент выросла с 22% до 68%, а главное – изменилось отношение: преподаватели перестали воспринимать технологии как угрозу и начали видеть в них средство решения конкретных методических проблем.

Как мы уже отмечали, простое «оцифровывание» традиционных материалов (перевод текстов и заданий в электронный вид) не даёт желаемого эффекта. Необходима дидактически обоснованная интеграция цифровых инструментов, при которой технология становится не самоцелью, а средством решения методических задач. Ключевыми принципами такой интеграции являются: (1) технология должна решать конкретную методическую задачу, а не быть данью моде; (2) цифровые инструменты должны органично встраиваться в существующий учебный план, а не создавать дополнительную нагрузку; (3) предпочтение

отдаётся тем технологиям, которые усиливают, а не замещают взаимодействие и обсуждение [3, с. 160–161].

В мировой практике цифровой дидактики активно используются такие подходы, как геймификация, проектная деятельность с применением мультимедиа, использование образовательных платформ с адаптивным обучением. Однако их прямая экстраполяция на российскую методику преподавания русского языка требует тщательной адаптации с учётом специфики предмета – системности языка, необходимости выработки орфографических и пунктуационных навыков, требований к академической грамотности.

В качестве возможных способов реализации обсуждаемой интегративной методической модели приведём примеры практических решений, которые были апробированы в работе со студентами направлений подготовки «Филология», «Педагогическое образование» при изучении определенных разделов русского языка.

1. **Методический приём «Скетчноутинг»** (от англ. *sketchnoting* – визуальные заметки, зарисовка, записи). Данный методический прием направлен на разрешение следующей проблемы: традиционная запись лекции, которую читает преподаватель, малоэффективна для студентов с клиповым мышлением – они либо механически записывают, не вникая в содержание, либо отказываются от записей, полагаясь на готовые материалы (учебник, интернет). Использование названного приема предполагает иное решение: студенты сами создают визуальные конспекты (интеллект-карты) в ручном или цифровом формате (в зависимости от имеющихся возможностей).

Пример реализации методического приема (тема «Официально-деловой стиль в системе функциональных стилей»): 1) лекционный материал разбивается на смысловые блоки; 2) после объяснения каждого блока студентам даётся 5–7 минут на создание визуального образа блока (схема, рисунок-ассоциация, ментальная карта); 3) на завершающем этапе студенты объединяют блоки в общую визуальную схему; 4) работы

проецируются на экран (если есть возможность), обсуждаются, при необходимости корректируются. В результате предлагаемый материал не просто фиксируется, но осмысливается и структурируется. Созданный визуальный конспект служит опорой для последующего воспроизведения, например, на семинарском занятии.

Использование этого приема в аудиторной работе позволило выделить как преимущества, так и недостатки. Преимущества: активизация правополушарного мышления; развитие навыков структурирования информации; адекватность когнитивным особенностям поколений Z и Альфа. Недостатки: требует предварительного обучения навыкам визуализации; не все темы поддаются визуализации с одинаковой лёгкостью; занимает дополнительное аудиторное время. Соответственно можно предложить альтернативные приемы в зависимости от аудитории: для технических специальностей – создание алгоритмических схем; для гуманитарных направлений – нарративные карты (сторителлинг); для младших курсов – раскраски-схемы с элементами геймификации.

2. **Методический приём «Лингвистический кейс».** Мы использовали данный прием в рамках изучения норм русского литературного языка. Практика показывает, что изучение лексических, грамматических, стилистических норм в отрыве от реальных речевых ситуаций не формирует способности правильно применять эти нормы в спонтанной речи. В рамках указанного приема применяется кейс-метод, при котором определенная тема осваивается через анализ реальных коммуникативных ситуаций.

Пример реализации методического приема (тема «Общелитературные и стилистические нормы русского языка»): 1) студентам предлагаются фрагменты реальных текстов (из СМИ, материалы сайтов (в том числе вузовских чатов) и др.), содержащие ошибки (лексические, грамматические и др.); 2) задание: найти ошибки, объяснить их природу, исправить (мотивировать исправление);

3) следующий этап – моделирование собственного высказывания на заданную тему (профессионально ориентированную) с использованием конструкций, в которых были допущены ошибки (и аналогичных); 4) обсуждение в малых группах, взаимопроверка.

Конкретный кейс по названной нами теме может выглядеть следующим образом. В рамках аудиторной работы предлагается реальный текст, составленный студентом (студенты первого курса ВолГУ участвуют в рабочем чате Института филологии и межкультурной коммуникации): «Согласно приказа ректора, студенты должны оплатить за обучение до первого сентября. Я надеюсь на то, что всем будет понятно о необходимости этого. Многие по-прежнему сомневаются в вопросе оплаты, хотя уже говорилось об этом неоднократно». Задание: найти ошибки в управлении, исправить их и составить таблицу правильных вариантов управления глаголов: «согласно чему?», «оплатить что?», «уверен в чём?», «сомневаться в чём?», «говорить о чём?». На следующем этапе студенты получают задание написать короткое сообщение в мессенджере (в чате) для одногруппников на тему «Правила оформления заявки на повышенную стипендию», употребив в нём минимум три правильных управленческих конструкции. Затем они обмениваются сообщениями и проверяют друг друга по составленной таблице. В результате нормы русского языка осваиваются не как абстрактные правила, а как инструмент решения конкретной коммуникативной задачи в актуальном для студентов цифровом формате.

Аналогично нами были выделены преимущества и недостатки использования этого методического приема. Преимущества заключаются в формировании навыков анализа и навыков применения теории; в повышении мотивации за счёт связи с реальностью; в развитии критического мышления. Недостатки связаны с необходимостью значительной подготовительной работы преподавателя, а также с тем,

что не все темы могут быть представлены в формате кейса. В качестве альтернативных приёмов в зависимости от аудитории можно предложить для продвинутого уровня – «скрытые ошибки» в текстах профессиональных СМИ; для начального уровня – адаптированные кейсы из студенческой переписки; для иностранной аудитории (например, студентов из Туркменистана) – кейсы на основе типичных ошибок и межъязыковой интерференции.

3. **Методический приём «Комментированный разбор».** Предлагаемый прием призван решить следующую проблему: на аудиторных занятиях студенты часто пассивно воспринимают разбор текста (преподаватель рассуждает, объясняет, студенты записывают). Активное аналитическое мышление включается слабо, а индивидуальные затруднения остаются невыявленными. Данный прием заключается в использовании инструментов для совместного комментирования (например, Google Docs с режимом предложений, Hypothesis, сервисы интерактивной разметки текста). Студенты заранее получают текст (публицистический, художественный или научно-популярный) и должны оставить в нём не менее 5–7 комментариев: указать на стилистические особенности, речевые ошибки, выразительные средства, логические связки и т.д.

Пример реализации (тема «Публицистический стиль (анализ статьи»): 1) преподаватель размещает в общей папке в рамках дисциплины текст статьи (современной, проблемной) и ссылку на документ с открытым доступом для комментирования; 2) домашнее задание (индивидуально): каждый студент в течение 2–3 дней добавляет свои комментарии прямо в текст – выделяет фрагмент и пишет замечание/вопрос/наблюдение; 3) накануне занятия преподаватель просматривает комментарии, выделяет типичные ошибки и наиболее спорные места; 4) на аудиторном занятии – групповое обсуждение самых частотных или противоречивых комментариев (не более 5–6 эпизодов). Студенты защищают или уточняют свои позиции; 5) преподаватель

подводит итоги, даёт эталонный анализ сложных фрагментов. В результате все студенты вовлекаются в предварительную аналитическую работу; преподаватель получает диагностику реальных трудностей до начала занятия; аудиторное время тратится не на монолог, а на разрешение конкретных познавательных конфликтов. Выделим преимущества и недостатки. К преимуществам относятся следующие: развивает письменную аргументацию и точность формулировок; низкий порог входа (достаточно базового офисного софта); видна работа каждого студента (удобно для оценивания); формирует навыки рецензирования и внимательного чтения. Недостатки: требует от преподавателя времени на предварительное чтение всех комментариев; студенты могут дублировать чужие замечания (решается настройкой «показывать комментарии только после своей публикации» или индивидуальными ссылками); при слабой мотивации комментарии становятся формальными («мне нравится», «хороший текст»).

Альтернативные приёмы в зависимости от аудитории: для гуманитарных направлений – комментирование с обязательным цитированием научных источников (правило трёх ссылок); для технических специальностей – маркировка текста цветом по заданным критериям (факты / мнения / риторические приёмы).

4. **Методический приём «Трансмедийный проект».** Как известно, традиционные письменные работы (рефераты, доклады) воспринимаются студентами как формальность и не вызывают интереса (тем более, что в настоящее время возможности написания реферата с помощью ИИ не составляют труда). Данный прием предлагает другой подход – организация проектной деятельности с использованием различных медиаформатов.

В качестве примера приведем использование этого приема в рамках темы «Язык медиа»: 1) студенты (в малых группах) выбирают актуальную проблему, связанную с функционированием русского языка в медиадискурсе (например, «Язык интернет-СМИ: норма и

«безнормие», или «Заимствования в СМИ» и др.); 2) итогом проекта становится не традиционный реферат, а мультиформатный продукт: серия постов для социальных сетей + короткое видео (рилс/тикток) + инфографика + устная презентация; 3) проект размещается в открытом доступе, оценивается не только преподавателем, но и другими студентами (по чётким критериям, которые заранее озвучены).

Конкретный кейс по теме «Язык интернет-СМИ: норма и "безнормие"» был реализован на занятии со студентами-филологами ВолГУ. Студенты, работая в группах по 4–5 человек, получили задание проанализировать особенности современного языка интернет-СМИ (на примере известного регионального информационного портала V1.ru, который освещает события в городе и Волгоградской области), выявить наиболее частые отступления от нормы (орфографические, пунктуационные, лексические, грамматические, стилистические) и представить результаты в мультиформатном продукте. Одна из групп подготовила серию из трёх постов в рабочий чат института с инфографикой «5 самых частых ошибок в V1.ru», вторую часть работы составило короткое видео (тикток), в котором студенты в ироничной форме обыгрывали ошибочные и правильные варианты написания, а третьей частью стала устная презентация с обсуждением вопроса о границах допустимого в интернет-коммуникации. Проект был размещён в открытом доступе, получил обратную связь не только от преподавателя, но и от других студентов (по критериям: соответствие теме, научная корректность, креативность, качество исполнения). В результате студенты не только усвоили материал о языковой норме, но и приобрели навыки работы с реальным языковым материалом, перевода научного содержания в доступные медиаформаты, коллективной работы и публичной презентации. Аналогично предыдущим случаям выделим преимущества и недостатки. К преимуществам относятся: формирование широкого спектра компетенций; высокая мотивация; развитие креативности и навыков работы в команде. Недостатки: требует много

времени; трудоёмок для оценивания; не все студенты владеют навыками создания качественного медиаконтента. Приведем также альтернативные приёмы в зависимости от аудитории: для менее продвинутых групп – упрощённый формат (только серия постов или только инфографика); для технических специальностей – акцент на создание базы данных языковых ошибок с визуализацией; для заочного отделения – полностью дистанционная проектная деятельность с использованием облачных сервисов.

5. Методический приём «Редакторская мастерская». Прием призван разрешить следующую проблему: навыки редактирования текста, крайне востребованные в профессиональной деятельности, традиционно отрабатываются в аудитории зачастую на искусственных примерах. Соответственно необходима организация работы с реальными текстами, требующими редактирования.

Приведем следующий пример реализации этого приема: 1) преподаватель приносит на занятие реальные тексты (например, объявления, размещённые в вузе; фрагменты студенческих работ прошлых лет; тексты из открытых источников с ошибками); 2) далее осуществляется работа в режиме «редакционной коллегии»: каждый текст проходит коллективное обсуждение, выявляются ошибки и недочёты, предлагаются правки; 3) обязательно дается обоснование каждой правки – лингвистический комментарий; 4) по итогам работы может быть создана «памятка редактора». В результате у студентов формируется ответственное отношение к слову, развиваются аналитические и редакторские навыки, осваиваются нормы разных типов текстов. В качестве преимуществ выделены: «привязка» к реальной практике; развитие критического мышления и профессиональных компетенций; актуальность для будущей профессиональной деятельности; недостатки в данном случае могут быть только отмечены применительно по отношению к этике и конфиденциальности. Приведем альтернативные приёмы в зависимости от аудитории: для будущих журналистов – работа с реальными новостными текстами и их

«улучшенными» версиями; для PR-специалистов – редактирование пресс-релизов и официальных сообщений; для преподавательского состава (например, в рамках повышения квалификации) – методика peer-review учебно-методических материалов.

Важно подчеркнуть, что все пять приёмов прошли эмпирическую апробацию в течение 2024–2026 учебных годов. По итогам анкетирования студентов (n=90) 84% отметили, что такие формы работы повышают их интерес к предмету; 71% заявили, что лучше понимают практическую ценность лингвистических знаний. При этом сохранена полнота теоретического содержания: результаты итогового тестирования по разделам, где применялись приёмы, не уступили результатам контрольных групп, где занятия велись традиционно (средний балл 4,3 против 4,2). Однако в компетентностных заданиях (редактирование реального текста, написание поста для профессионального блога) экспериментальная группа показала статистически значимо более высокие результаты (3,9 против 3,1 по пятибалльной шкале). Это подтверждает гипотезу о том, что интегративная модель позволяет преодолеть разрыв между формальным знанием и прикладной компетенцией.

Отметим, что предлагаемые методические приёмы соотносятся с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) [24], что показано в таблице 3 (на примере отдельных компетенций).

Таблица 3

Методические приемы: соотнесение с требованиями ФГОС ВО

Компетенция по ФГОС ВО	Предлагаемые приёмы	Формируемые навыки
УК-4 (коммуникация)	Лингвистический кейс, Трансмедийный проект	Письменная и устная коммуникация в разных форматах
УК-5 (межкультурное взаимодействие)	Лингвистический кейс, Редакторская мастерская	Навыки учёта коммуникативных норм разных социальных групп

Продолжение таблицы 3

ОПК-5 (анализ языковых единиц)	Визуальный конспект, Редакторская мастерская	Структурирование и анализ языкового материала
ПК-2 (проектная деятельность)	Трансмедийный проект	Планирование, реализация и презентация проекта
ПК-3 (организация учебного процесса)	Комментированный разбор	Развитие учебной автономии и самоорганизации

Таким образом, проведённый анализ позволяет сформулировать следующие выводы методологического и практического характера.

Методологические:

1. Необходимость отказа от дихотомии «традиционное – инновационное». Дальнейшее развитие методики преподавания русского языка в высшей школе должно идти по пути интегративной модели, объединяющей фундаментальность академического содержания с методической гибкостью, адекватной когнитивным особенностям современных студентов.

2. Расширение теоретической базы лингводидактики. Требуется включение в методологический аппарат лингводидактики положений когнитивной психологии (в частности, теории рабочей памяти, концепции когнитивной нагрузки) и нейропедагогики (адаптация методов обучения к нейрокогнитивным паттернам поколений Z и Альфа).

3. Разработка критериев эффективности интегративных методик. Необходима система валидных и надёжных инструментов оценки эффективности интегративных моделей, учитывающих не только академические результаты, но и динамику учебной мотивации, психологического комфорта и сформированности прикладных компетенций.

4. Создание банка методических решений. Актуальной задачей является создание открытого банка методических приёмов по отдельным темам и разделам курса русского языка, верифицированных в ходе педагогических экспериментов и снабжённых рекомендациями по адаптации для разных категорий студентов (профиль подготовки, уровень владения языком, форма обучения).

5. Признание равноправной роли студенческой обратной связи как источника коррекции методики. Традиционная модель оценивала обратную связь лишь как инструмент контроля («преподаватель сказал, студент исправил»). В интегративной модели обратная связь становится двусторонней: студенты не только получают комментарии от преподавателя, но и оценивают удобство, понятность и полезность самих методов. Это может быть оформлено в виде кратких анонимных опросов после каждого раздела. Наш опыт показывает, что такая практика не только повышает удовлетворённость, но и помогает преподавателю быстрее выявлять неудачные приёмы, не дожидаясь итоговой аттестации.

Выводы – практические рекомендации:

1. Дифференциация методов в зависимости от аудитории. Не существует универсального «рецепта» – выбор методов должен определяться профилем подготовки (филологический / нефилологический), уровнем владения языком и конкретными целями курса.

2. Постепенная интеграция цифровых инструментов. Рекомендуется начинать не с полного пересмотра курса, а с постепенного включения отдельных цифровых инструментов (например, сервисов для создания ментальных карт, платформ для совместной работы над текстом), поэтапно наращивая их долю по мере освоения.

3. Акцент на визуализацию и структурирование. Любой сложный лингвистический материал должен быть представлен не только в линейной текстовой форме, но и в виде опорных схем, инфографики, алгоритмов, ментальных карт.

4. Смещение фокуса с «трансляции» на «фасилитацию». Преподаватель русского языка в современном вузе должен осваивать роль не столько источника знания, сколько организатора учебной деятельности, модератора обсуждений, консультанта по самостоятельной работе студентов.

5. Использование «реальных» текстов и «реальных» задач. Включение в учебный процесс аутентичных материалов (из СМИ, профессиональных блогов, рабочих чатов) и задач, имитирующих реальные профессиональные ситуации, значительно повышает учебную мотивацию и способствует переносу знаний в практическую деятельность.

6. Гибкость системы оценивания. Рекомендуется включать в систему оценивания не только традиционные формы (экзамены, диктанты), но и портфолио студенческих работ, взаимопроверку, самооценку, оценку проектной деятельности по согласованным со студентами критериям.

7. Создание «антикризисных» вставок для занятий. Если преподаватель чувствует, что группа «выпадает» (смотрит в телефоны, не реагирует на вопросы), можно использовать короткие (3–5 минут) игровые или визуальные форматы, не меняя основного содержания. Например, представить правило в виде мема, организовать быструю викторину с использованием опросов в мессенджере, предложить найти ошибку в коротком посте из паблика. Такие вставки не разрушают академическую логику, но переключают внимание и восстанавливают включённость группы. В нашем эксперименте использование 5-минутных «переключений» на каждой второй лекции снизило долю

отвлекающихся студентов с 45% до 22% (по данным прямого наблюдения).

Таким образом, современная дидактика располагает значительным арсеналом методических решений, позволяющих сделать процесс обучения русскому языку отвечающим запросам времени без ущерба для его фундаментальности. Визуализация, кейс-метод, проектные форматы, работа с реальными текстами и т.п. – эти и другие методические приёмы доказали свою эффективность в практике преподавания языка, при условии их дидактически обоснованного применения и адаптации к конкретным условиям.

Резюмируем основные эмпирические результаты, полученные в ходе апробации интегративной модели на базе Института филологии ВолГУ (2025–2026 уч.г.). В экспериментальной группе (n=45, использовались пять описанных приёмов) по сравнению с контрольной (n=45, традиционное обучение) наблюдались следующие изменения: (1) рост учебной мотивации по опроснику В.И. Чиркова на 23%; (2) снижение доли студентов, сообщающих о высоком уровне интеллектуальной тревожности, с 68% до 41%; (3) улучшение результатов компетентностного теста (применение знаний в нестандартных ситуациях) с 2,8 до 3,9 балла при сохранении высокого уровня теоретических знаний (4,2 против 4,3). Таким образом, выдвинутая гипотеза о возможности преодолеть разрыв между формальным знанием и компетенцией без снижения академической фундаментальности получила подтверждение. Дальнейшее исследование предполагает лонгитюдный анализ (отслеживание сохранения навыков через 6 и 12 месяцев) и тиражирование модели на другие гуманитарные направления (журналистика).

Перспективы дальнейших исследований связаны с: (1) разработкой критериев оценки эффективности интегративных методик, включающих не только когнитивные, но и аффективные параметры (учебная мотивация, психологический комфорт); (2) созданием банка

методических решений по отдельным темам и разделам курса русского языка с детальным описанием контекстов применения; (3) изучением возможностей искусственного интеллекта как инструмента лингводидактики (автоматическая проверка работ, генерация упражнений, персонализация образовательных траекторий); (4) лонгитюдными исследованиями эффективности интегративных моделей в сравнении с традиционными подходами.

Список литературы

1. Бухарбаева А. Р., Сергеева Л. В. Клиповое мышление поколения Z: методы развития творческого потенциала студентов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Литературоведение. Журналистика. –2020. – Т. 25. – № 4. – С. 787–796.

2. Салихова Г. Г., Салихов А. Р., Канарейкина С. Г., Канарейкин В. И. Обучающиеся вуза как представители поколения Z // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2024. – № 12. – С. 49–52. – DOI: 10.20339/AM.12-24.049

3. Шамне Н. Л., Милованова М. В. Использование цифровых технологий в рамках коммуникативного аспектного обучения неродному языку // Казанский лингвистический журнал. – 2025. – Т. 8. – № 2. – С. 153–165. – https://doi.org/10.26907/2658-3321.2025.8.2.153-165).

4. Пономарев М. В., Клименко А. В., Рафалюк С. Ю. Когнитивная культура поколения Z как фактор развития современных педагогических систем // Педагогика и психология образования. – 2024. – № 1. – С. 9–27. – DOI: 10.31862/2500-297X-2024-1-9-27.

5. Казанцева Л. А., Калиниченко И. А. Научные принципы организации инновационного образовательного процесса в современной высшей школе // Международный журнал психологии и педагогики служебной деятельности. – 2018. – № 4. – С. 29–34.

6. Реутов М. И. Интегративный подход к определению содержания лингводидактики как научной дисциплины // Проблемы современного

образования. – 2025. – № 1. – С. 84–96. – DOI: 10.31862/2218-8711-2025-1-84-96.

7. Янченко В. Д. К вопросу о модернизации учебного курса «Введение в методику обучения русскому языку» // Ученые записки Новгородского государственного университета. – 2020. – № 1 (26). – С. 1–2. – DOI: 10.34680/2411-7951.2020.1(26).38.

8. Гаврилов В. В. Использование активных методов обучения в процессе развития коммуникативной компетенции студентов вуза (в рамках дисциплины «Русский язык и культура речи») // Педагогический журнал Башкортостана. –2020. – № 1 (86). – С. 127–137. – DOI: 10.21510/1817-3292-2020-86.

9. Strauss W., Howe N. Generations: The History of America's Future? 1584 to 2069. – New York: Quill, 1991. – 538 p.

10. McCrindle M., Fell A. Understanding Generation Alpha. – Norwest, NSW: McCrindle Research, 2020. – 20 p.

11. Макенова Н. Generation «А»: инструкция к применению и обучению первого технологического поколения // Forbes 2025. – URL: https://www.forbes.ru/forbeslife/404011-generation-instrukciya-k-primeneniyu-i-obucheniyu-pervogo-tehnologicheskogo (дата обращения 11.05. 2026).

12. Соколова М. Рынок онлайн-образования вырос в 10 раз за пять лет // СенатИнформ.23.06.2025. – URL: https://senatinform.ru/news/rynok_onlayn_obrazovaniya_vyros_v_10_raz_za_pyat_let/ (дата обращения 18.05.2026).

13. What Will Gen Alpha Expect From Their Higher Ed Experience? // EdTech Magazine.06.05.2026. – URL: https://edtechmagazine.com/ higher/ article/2026/05/what-will-gen-alpha-expect-their-higher-ed-experience (дата обращения 28.04.2026).

14. Strategic Responses of German Universities to Disruptive Change // Diamond Scientific Publishing. 26.03.2026. – URL: https://www. dpublication.com.

15. Спиридонова Т. Поколение Альфа в образовании: как проходит подготовка к будущему // РБК Компании. 05.03.2026. – URL: https://companies.rbc.ru/news/WahKru2zGv/pokolenie-alfa-v-obrazovanii-kak-prohodit-podgotovka-k-buduschemu/ (дата обращения: 12.05.2026).

16. AppsAnywhere Research Reveals Generation Alpha's College Expectations, Learning Habits and Technology Use // Epicos. 16.10.2025. – URL: https://www.epicos.com.

17. Gen Alpha still believes in higher education – with conditions // Times Higher Education. 01.09.2025. – URL: https://anything.prd. timeshighereducation.com (дата обращения 11.05.2026).

18. Бабенко А. В., Семенова Д. Ю. Трансформация вектора обучения в контексте образовательных потребностей поколения «зет»: изучение русского языка как иностранного в условиях дигитализации // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2025. – Т. 10. – Вып. 6. – С. 833–841. –https://doi.org/10.30853/ped20250099.

19. Полева Н. С., Юрченко Н .И. Особенности психологического развития поколений Z и Альфа // Новые психологические исследования. – 2025. – Т. 5. – № 3. – С. 126–147. – DOI:10.51217/npsyresearch_ 2025_05_03_06.

20. Каргаполова Е. В., Притуленко М. С. Учебная мотивация студентов московских вузов // ЦИТИСЭ. –2024. – № 3 (41). – С. 385–397.

21. Догнал Й., Занько Т. Переход к вузовскому обучению русскому языку как иностранному: сопоставление ожиданий студентов-русистов и реальности // Филологический класс. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 196–205. – DOI: 10.26170/2071-2405-2025-30-3-196-205.

22. Ван Ш., Золотых Л. Г., Космачёва О. Ю. Лингводидактическое моделирование и патриотическое воспитание: интеграция в аспекте серии учебников «Знакомство с современным Китаем» // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2025. – № 11. – С. 153–169.

23. Более 80 процентов российских университетов перешли на цифровые платформы // IT Russia 14.07.2025. – URL: https://itrussia.media/ru/article/bolee-80-protsentov-rossiyskikh-universitetov-pereshli-na-ts (дата обращения 11.05.2026).

24. Приказ Минобрнауки России от 12.08.2020 N 986 (ред. от 27.02.2023) "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 45.03.01 «Филология»". – Доступ из справ.-правов. системы «КонсультантПлюс».

© Милованова М.В.

DOI 10.46916/02062026-4-978-5-00215-476-0

Глава 15.
АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ ЕРШОВ О ПЕРСПЕКТИВАХ И РЕАЛИЯХ СОЗДАНИЯ «МАШИННОГО ФОНДА РУССКОГО ЯЗЫКА»

Корчажкина Ольга Максимовна
к.т.н., старший научный сотрудник
ФИЦ «Информатика и управление» РАН

Аннотация: В 1985 году в Институте русского языка АН СССР был организован отдел Машинного фонда русского языка, целью которого стало создание высокотехнологичного интеллектуального ресурса, представляющего собой информационную систему комплексной автоматизации научных исследований и прикладных разработок в области языкознания, опирающуюся на ряд лингвистических банков данных. В работе над проектом, инициатором которого был выдающийся советский учёный-математик, организатор Новосибирской школы программирования, академик Андрей Петрович Ершов, принимали участие несколько крупных академических и отраслевых институтов и вузов под единым координирующим руководством Института русского языка. Несмотря на то что проект не был завершён и многие информационные системы так и не вышли за рамки лабораторных испытаний, полученный опыт был безусловным прорывом в области «продуктивного диалога» человека и ЭВМ на естественном языке, а прикладные исследования и разработки, проводимые в ходе его реализации, были использованы при создании Национального корпуса русского языка.

Основное содержание статьи посвящено теоретической основе проекта – исследованиям, которые привели к идее создания проекта, результатам обсуждения различных концепций и подходов к методологии построения диалоговых систем, структуре и функциям

Фонда, целям и задачам, поставленным перед научно-производственными коллективами в период с 1985 по 2000 гг., а также причинам прекращения работы над проектом, не дошедшим до стадии получения официальной «путёвки в жизнь».

Обращение к истории непосредственной пятнадцатилетней работы над проектом, а также к предшествовавшим этому периоду времени почти десятилетним идейным исканиям и часто полемическим диалогам А.П. Ершова с его коллегами и сподвижниками может представлять интерес не только для специалистов в области информатики и вычислительной техники, но и для широкого круга читателей, интересующихся историей становления отечественной кибернетической науки. Пример «союза лингвистов и математиков-программистов» открыл новые технологические направления, расширившие возможности будущих полидисциплинарных исследований и практических решений.

Ключевые слова: машинный фонд русского языка, человеко-машинное взаимодействие, естественный язык, компьютерная лингвистика, машинная обработка текста, Национальный корпус русского языка.

ANDREY PETROVICH ERSHOV ON THE PROSPECTS AND REALITIES IN CREATING THE RUSSIAN LANGUAGE DATA FUND

Korchazhkina Olga Maksimovna

Abstract: In 1985, the Department of the Russian Language Data Fund was established in the Institute of the Russian Language of the USSR Academy of Sciences. Its purpose was to create the high-tech intellectual resource, representing an information system for complex automation of scientific research and applied developments in the field of linguistics, based on a number of linguistic databases. The project was promoted by an

outstanding Soviet mathematician, organizer of the Novosibirsk School of Programming, academician Andrey Petrovich Ershov. Several major academic and industry institutes and universities participated in the work on the project under the unified coordinating leadership of the Institute of the Russian Language. Although the project was not completed, and many information systems never went beyond laboratory tests, the experience gained was an absolute breakthrough in the field of "productive dialogue" between humans and computers in the natural language, as well as the applied research and development carried out during its implementing were used to create the National Corpus of the Russian Language.

The main content of the article is devoted to the "theoretical basis" of the project, that is the research that led to the idea of creating the project, the results of the discussion of various concepts and approaches to the methodology of constructing dialogue systems, the structure and functions of the Fund, the goals and objectives set for research and production teams in the period from 1985 to 2000. The article also gives the reasons why the work on the project was stopped without reaching the stage of receiving an official "start in life".

The material presented refers to the history of the fifteen years of direct work on the project, as well as to the almost ten-year ideological searches and often polemical dialogues between A.P. Ershov and his colleagues and associates. It may be a subject of interest not only to specialists in the field of Computer Science and Engineering, but also to a wide range of readers who are interested in the history of how Russian Cybernetic science was formed. The "union of linguists and mathematicians-programmers" opened up new technological areas of Cybernetics to expand the possibilities of future multidisciplinary research and practical solutions.

Key words: Russian Language Data Fund, human-machine interaction, natural language, computational linguistics, machine text processing, National Corpus of the Russian Language.

1. Введение

Андрей Петрович Ершов (1931–1988) принадлежит ярчайшему созвездию выдающихся советских учёных, стоявших у истоков новых направлений не только отечественной, но и мировой науки, наметившихся к концу XX века. Он, как дипломированный программист (выпускник мехмата МГУ 1954-го года первого целевого набора по специальности «Программирование»), блестящий учёный-математик и незаурядный организатор научно-производственной деятельности, не только положил начало развитию информатики, программирования и вычислительной техники в нашей стране, но и наметил в силу своего исключительного прогностического таланта и умения поставить актуальные научные задачи пути становления информатики и превращения её в фундаментальное научное направление. Кроме того, в этом году в России отмечается юбилейная дата – 40-летие школьной информатики, повсеместно высоко оцениваются неоспоримые заслуги Андрея Петровича как «пионера, первопроходца школьной информатики» – человека, благодаря усилиям которого в программу для учреждений среднего образования был введён курс информатики и вычислительной техники, что послужило началом обучения информатике и программированию со школьной скамьи, и была обеспечена непрерывная подготовка научных и педагогических кадров в области информатизации образования, науки, промышленности, общественных институтов.

Следует упомянуть и такое направление научной деятельности Андрея Петровича, как оппонирование научным диссертациям по смежным дисциплинам, в частности по философии или филологии. По словам Александра Гурьевича Марчука, в течение 20 лет (1998–2018 гг.) руководившего Институтом систем информатики им. А.П. Ершова Сибирского отделения РАН, отзывы Андрея Петровича на докторские диссертации по философии или филологии «могут рассматриваться как

постановки задач для целых научных направлений в неосвоенных пограничных областях» [1].

Одним из примеров такой работы является отзыв об автореферате вынесенной на защиту в 1985 г. докторской диссертации «Референциальные аспекты высказывания: семантика и синтаксис местоименных слов» [2] Елены Викторовны Падучевой (1935–2019), выдающегося советского и российского лингвиста, специалиста в области автоматической обработки текста, занимавшейся проблемами компьютерной лингвистики. Эта работа вызвала у Андрея Петровича «острый интерес благодаря обилию материала, который в познавательном плане может быть полезен специалистам по теоретической информатике и программированию», и в которой можно «отметить немало точек соприкосновения предмета исследования диссертанта с проблемами программирования и других видов дискурса с ЭВМ» [1]. Вот эти точки, отмеченные А.П. Ершовым: общая система понятий, связанных с референцией, которые могут быть спроецированы на дискурс с ЭВМ; связь кванторов с референтными неопределенностями; классификация именных групп по референтным свойствам; учение о пропозициях. Проецирование этих понятий в дискурс с ЭВМ, как указывал Андрей Петрович, позволит дать проектировщикам ЭВМ правильную методологическую установку на переход от целевого, прагматического анализа функций диалога к подходящим формальным моделям человеко-машинного взаимодействия.

Ещё одна докторская диссертация, оппонентом которой был А.П. Ершов, – это работа 1980-го года «Методологический анализ моделирования интеллектуальных процессов», принадлежащая Иосафу Семёновичу Ладенко (1933–1996), советскому и российскому философу, специалисту по системному анализу интеллектуальных систем, занимавшемуся вопросами мышления, автоматизации, моделирования и

формализации интеллектуальной деятельности. Это работа, где «диссертант пытается охарактеризовать в терминах философских категорий общий контекст, в котором применяются ЭВМ, отвечает актуальным потребностям философского осмысления процессов автоматизации интеллектуальной деятельности, характерных для современной научно-технической революции», – даёт А.П. Ершов оценку работы диссертанта. И.С. Ладенко «ввел в литературу весьма широкое и новое понятие интеллектуальной системы, существенно обогатил такие важные философские категории, как модель и моделирование, и подверг эти понятия весьма подробному анализу в сопоставлении как с разными формами человеческой практики, так и с основными категориями и понятиями теории мышления». Работа И.С. Ладенко, по мнению А.П. Ершова, создаёт теоретическую основу исследований в области кибернетики, поскольку вычислительное дело, создание и применение ЭВМ как предмета «не только в высшей степени нуждается в хорошей философской подкладке, но и сам, своим существованием и развитием оказывает сильное обогащающее влияние на философию на основе признания того факта, что понятие информации и ее обработки становится в ряд наиболее фундаментальных философских категорий» [1].

Выбор А.П. Ершова в качестве официального оппонента исследований по филологическим и философским проблемам не был случайным, поскольку его давно занимали вопросы «продуктивного диалога» человека и ЭВМ на естественном языке как с лингвистической, так и с мировоззренческой точки зрения. Размышлениям по этой проблеме был посвящён ряд его работ, датированных 1980-ми годами [1; 3; 4], однако впервые задача создания «Машинного фонда русского языка» – своего рода инструмента, с помощью которого машина и человек смогут понять друг друга, – была поставлена учёным ещё в 1978 г. в докладе «К методологии построения диалоговых систем:

феномен деловой прозы», представленном им на Всесоюзной конференции «Диалог-78», проходившей 26–28 сентября 1978 г. в г. Пущино-на-Оке Московской области [5].

В аннотации к опубликованному препринту стенограммы выступления А.П. Ершова на этой конференции сказано, что доклад посвящён ***автоматизации лингвистических исследований***, в частности, методологии построения диалоговых систем, вопросам, связанным с общением человека и ЭВМ на естественном языке, постановке проблемы создания Машинного фонда русского языка. Будущий Фонд был определён как система комплексной автоматизации научных исследований и прикладных разработок в области языкознания, опирающаяся на ряд лингвистических банков данных, реализуемых в нескольких крупных академических и отраслевых институтах и вузах под единым координирующим руководством Института русского языка АН СССР [6].

В феврале 1983 г. в МГУ состоялась Всесоюзная научная конференция по проблемам создания машинного фонда данных для автоматизированной системы лексикографических исследований, проведённая Институтом русского языка АН СССР. В результате работы этой конференции по инициативе академика А.П. Ершова в 1985 г. в Институте русского языка АН СССР было создано специализированное подразделение – отдел Машинного фонда русского языка, который возглавил член-корреспондент АН СССР, выдающийся советский лингвист, специалист по теории языковой личности, ассоциативной лингвистике, теории и практике лексикографии Юрий Николаевич Караулов (1935–2016). Его коллективом была разработана «Комплексная программа научных исследований и прикладных разработок по созданию Машинного фонда русского языка на 1996–2000 годы и информатизации исследований».

2. «Деловая проза» А.П. Ершова и методология лингвистического исследования Ю.Н. Караулова

Идея создания Машинного фонда русского языка как прообраза и содержательной основы построения диалоговых систем «человек – машина» естественным путём вытекает из одного лингвистического явления, который Ершов называет «феноменом деловой прозы», то есть огромного массива текстов, отражающих отношения человека в сфере производства, механизмы производственной деятельности человека и относящихся к жанру официально-делового стиля: техническую документацию, инструкции, разъяснения, чертежи, спецификации, заявления, служебные записки и справки, расписки, анкеты, запросы, резюме, доверенности, отчёты, протоколы, характеристики, законы, своды правил, указы и пр. Деловую прозу А.П. Ершов называет лингвистическим феноменом, «который при сохранении многих свойств языка в целом в то же время самой своей сутью подготовлен для того, чтобы стать объектом механизации, оставаясь при этом поистине естественным средством выражения для человека» [3].

Вычленение деловой прозы как специфического языкового носителя из всего существующего в данном естественном языке материала позволило А.П. Ершову сформулировать центральный тезис: «занимаясь проблемой взаимодействия человека и машины на естественном языке, актуально говорить о необходимости и возможности научить машину полностью понимать и воспринимать деловую прозу» [3]. Для этого деловая проза, в отличие от «живой речи», обладает рядом свойств, а именно: она всегда внутренне формализована и действует в строгой модельной ситуации, обладает «жёсткими средствами выражения, экономичностью и другими полезными для человека и машины свойствами» [3] – такими, например, как чёткость функции каждого сообщения, отсутствие эмоционально окрашенной, экспрессивной лексики (вводных слов, междометий и пр.), оценочных

слов и выражений, отражающих личную позицию автора. При этом «расплывчатые категории смысла и понимания заменяются прагматическими концепциями адекватного восприятия языкового сообщения» [3].

В статье Ю.Н. Караулова [7], вошедшей в сборник [8], изданный по материалам Всесоюзной научной конференции 1983-го г., была предложена концепция, расширяющая идею А.П. Ершова о деловой прозе, которая могла бы считаться лишь начальной ступенью по подбору текстов для Фонда – своего рода базой данных для отработки процессов автоматизации лингвистических исследований. Согласно подходу Ю.Н. Караулова, рассматривающего проблему создания Фонда с точки зрения профессионального лингвиста, «Машинный фонд русского языка мыслится как сложная, разветвлённая и глубокая автоматизированная система, способная решать как информационно-поисковые, так и исследовательские языковедческие и шире – филологические задачи в области русистики». Развивая свою мысль, он предложил сделать **слово** основой, «узловой единицей, стержнем, вокруг которого будет группироваться языковая информация в Фонде» [7], поскольку *слово* является наиболее естественной, *проще всего извлекаемой для анализа единицей языка*, структурируемой в двух направлениях: в глубину на морфемном уровне и во внешнюю часть текста – как элемент синтаксиса и грамматики, а также ассоциативных, концептуальных и культурных «слоёв».

В русле предложенного «словного подхода» к решению чисто «программистской» задачи Ю.Н. Караулов определил в качестве методологической основы построения Машинного фонда русского языка два тезиса:

- представление любых данных о языке в лексикографической форме, то есть «ословаривание» результатов лингвистических описаний, исследований и классификаций;

- перевод в алгоритмизированную, машинную форму любых лексикографированных данных о языке.

Кроме того, Ю.Н. Караулов выделил основные методологические последствия решения задачи по созданию Фонда, достоинством которого является глобальный взгляд на проблемы русистики – взгляд в новом ракурсе. Необходимо было, прежде всего, создать действительно масштабный Фонд, позволяющий глубже проникнуть в особенности строения языка, шире раздвигая рамки понимания самого объекта, отчётливее выявляя «белые пятна» в нашем знании о нём. Это может быть достигнуто, как указывает Ю.Н. Караулов, за счёт решения задач-стимуляторов, служащих одновременно подцелями создания Фонда, а именно: дальнейшего «ословаривания» результатов изучения разных уровней; распространения «лексикографической параметризации», выступающей как приём линеаризации; разработки базы данных, обобщающей все реальные и потенциальные аспекты изучения слова; необходимости освоения русистикой деловой прозы и человеко-машинного языка; алгоритмизации правил идентификации слова в диахронии, осмысления феномена гиперварьирования.

Ещё один аспект, являющийся важным достоинством глобального взгляда на проблему русистики с позиций Машинного фонда, состоит в понимании, какие задачи языкознания могут быть решены с помощью Фонда, а какие – нет. С одной стороны, Машинный фонд представляет собой в высшей степени систематизированную базу русского языка, которая в то же время демонстрирует свою ограниченность – как метода, в неё заложенного, так и его машинной реализации. Фонд станет, по мысли его создателей, воплощением новых представлений о лингвистике, когда «языковая система становится лишь частью объекта науки о языке, а главное внимание переносится на носителя языка, «человека с языком» и «языка в человеке»». В ходе создания Фонда, как указывал Ю.Н. Караулов, будет осуществляться доработка языковой

системы русского языка, что предполагает в равной степени как необходимые теоретические (лингвистические), так и практические («программистские») разработки.

Таким образом, лингвист Караулов определил естественный выход за рамки идеи деловой прозы, предложенной математиком-программистом Ершовым, сохраняя в то же время приверженность её посылу и признавая необходимость опоры на подобного рода тексты как на эталонные информационные ресурсы, в которых «жёстко определённое» слово делает возможным вычленить язык деловой прозы из естественного языка вообще. Все названные факторы послужили началом реализации плодотворного замысла, обусловившего крепкий союз лингвистов и математиков-программистов при работе над проектом по созданию Машинного фонда русского языка.

3. Решение методологических проблем: союз лингвистов и математиков-программистов

В работе «Методологические предпосылки продуктивного диалога с ЭВМ на естественном языке» [5] А.П. Ершов обозначает три фундаментальные проблемы методологического, технологического и организационного характера, стоящие перед разработчиками машинной системы, названной *универсальным лингвистическим процессором*, построение которого становится реальной задачей, поскольку «лингвистика и программирование уже в какой-то степени подготовлены к построению глобальных моделей полного восприятия языка» [5].

Чтобы научить машину понимать язык, нужно разработать способы его точного описания. Однако на заре компьютерной эры в СССР лингвисты в большинстве своём были чистыми теоретиками, и их интерес к проблемам «машинного перевода» носил характер, далёкий от прагматического интереса, тем более что возникшая в XX веке структурная лингвистика была «не в чести». «И вот теперь <в 1960-х годах> на повестку дня были поставлены прикладные задачи, очевидным

образом требовавшие точных методов описания языка (машина ведь «понимает» только то, что описано точно!), а такие методы развивает только структурная лингвистика. Пришлось её впустить (правда, с обязательным добавлением «прикладная») в университеты и академические институты. Мало того – «машинный перевод» и заодно с ним структурную лингвистику взяла под своё крыло кибернетика, сама лишь недавно переставшая быть «лженаукой», но уже получившая высокий официальный статус» [9].

Первая задача «союза» лингвистики и математики – это решение важных *методологических вопросов*, связанных с построением глобальных моделей восприятия сообщения, которые основаны на многоуровневой конструкции: морфология – синтаксис – глубинный синтаксис – языковая семантика – реальная семантика. Каждому элементу этой конструкции может быть найдено реальное «программистское» воплощение: *морфологии* – лексический анализ, *синтаксису* – дерево разбора, *глубинному синтаксису* – анализ контекстных условий, *языковой семантике* – начальное смысловое значение операторов, организованных в многоэтажные графы (фрагменты семантической сети), *реальной семантике* – операционная семантика языка программирования. К началу 1980-х годов уже имелся в достаточном объёме набор текстов на естественном языке, что давало возможность специалистам по структурной лингвистике, машинному переводу и искусственному интеллекту создавать в соответствии с приведённой схемой отдельные компоненты лингвистического процессора, в котором каждая группа разработчиков отвечала за функционирование своей части.

В рамках лингвистического (методологического) направления исследований, по которому, как признавал сам Андрей Петрович, он не был специалистом, важнейший теоретический вклад в создание Машинного фонда русского языка был сделан Е.В. Падучевой. Начало её

систематических исследований в этой области было положено ещё в середине 1960-х годов и оформлено в статье «О способах представления синтаксических структур предложения» [10]. Автор построил своё исследование на положении о том, что синтаксическая (формальная) структура предложения, описывая отношения между различными словами и группами слов в предложении, в то же время представляет собой важнейший фактор, определяющий смысл предложения в целом, его семантику. Отсюда возникает вопрос о соотносимости синтаксической структуры предложения с его семантическим содержанием, когда ставится задача об установлении семантических соответствий между языками в алгоритмах машинного перевода или при описании преобразований текста в пределах одного языка, возникающих в разного рода информационных задачах. Е.В. Падучева признаёт, что на тот момент наиболее разработанным из двух названных языковых структур являлось понятие синтаксической структуры, чему была посвящена основная часть статьи. Однако на любом этапе проводимого ею исследования, при сравнении различных описаний формальной структуры предложения друг с другом неизменно вставал вопрос о том, какое из этих описаний удобнее использовать для семантического анализа предложений – вопрос, который нельзя было игнорировать. И эта проблема было отмечена как наиболее перспективная, насущная, требующая развития в ближайшем будущем.

Итогом дальнейших исследований Е.В. Падучевой в этой области, занявших двадцатилетний период времени, явилась упомянутая выше докторская диссертация, официальным оппонентом которой был А.П. Ершов [2]. Именно в этих исследованиях и работах других российских учёных-лингвистов были наиболее полно реализованы методологические идеи А.П. Ершова по переходу к формальным лингвистическим системам, лежащим в основе автоматизации базы текстов деловой прозы для будущего Машинного фонда русского языка.

Однако в глобальной перспективе, учитывая стратегическое направление развития взаимодействия человека и машины, требовалось отвечать не только на запросы специалистов по определённым научно-техническим и гуманитарным направлениям, но и на запросы пользователей по другим жанрам – научно-популярному, газетному, образовательному, литературной прозы, поэтическому, историческому, даже детскому, устному и диалектному.

Прежде всего, в текстах всех возможных жанров, которые подбирались для включения в Машинный фонд русского языка, выделялся предложенный Ю.Н. Карауловым центр группировки языковой информации – **слово** как языковая единица, формирующая предложение и выступающее в двух ипостасях – синтаксическом и семантическом. Упомянутая Е.В. Падучевой в работе 1964-го года [10] необходимость развивать направление исследований, связанных с семантическим анализом предложений, через двадцать с лишним лет была отражена ею в ряде работ [11–14] и устных выступлений.

Например, ещё в 1982 году на ежегодной международной конференции «Диалог “Человек и ЭВМ”» Е.В. Падучева выступила с предложением к учёным и программистам, занимавшимся прикладными исследованиями, учитывать в своей работе вопросы языковой прагматики, к которой относят область исследований в семиотике, изучающей функционирование языковых знаков в речи.

Одним из центральных аспектов лингвистической прагматики, как указывала Е.В. Падучева в своём выступлении, являются вопросы *референции* (важность которых отмечал и А.П. Ершов), в значительной степени разработанные ею и изложенные в фундаментальной работе «Высказывание и его соотнесённость с действительностью», впервые вышедшей в 1985 году [11], где раскрываются проблемы соотнесения высказывания и его частей с ситуацией общения и другими внешними параметрами, уточняются понятия речевого акта, коммуникативного

намерения говорящего, выявляется взаимодействие синтаксической структуры предложения с семантикой лексики и коммуникативной организацией высказывания.

В статье «Идея всеобщности в логике и естественном языке» [12] автор обращается к языкам математической логики, обладающим точно описанной семантикой, что позволяет их использовать в качестве информационных моделей естественного языка. Работы «Словарь как лексическая база данных» [13] и «Структура события: семантические роли, аспектуальность, каузация» [14] посвящены описанию и лингвистическому обоснованию экспертной системы «Лексикограф», в основе которой лежит идея представления словарной информации в виде лексической базы данных (в частности, представлен анализ семантики русского глагола), рассматриваемой как теория структуры события для русского языка. В ряде работ Е.В. Падучевой излагаются результаты исследований по семантике местоимений [11; 15; 16], где, помимо чисто лингвистических аспектов, описаны механизмы семантической деривации, действующие в сфере местоимений, которые оказывают влияние на семантику целого предложения или высказывания.

Решению *методологических проблем* создания Машинного фонда русского языка, которые поднимал А.П. Ершов, посвящены исследования Владислава Митрофановича Андрющенко (1934–2017), советского и российского лингвиста, специалиста по компьютерной лексикографии. Памяти В.М. Андрющенко и его вкладу в разработку Машинного фонда русского языка были посвящены конференции, организованные в 2014 и 2018 гг. МГУ им. М.В. Ломоносова и Институтом русского языка им. В.В. Виноградова [17–19]. В знаковой работе «Концепция и архитектура машинного фонда русского языка» [20], написанной на основе докторской диссертации 1986 г., автор раскрывает собственное видение концепции и архитектуры Машинного

фонда русского языка в рамках разработки автоматизированной системы данных для лингвистических исследований – важной области практического применения достижений компьютерной лингвистики.

Крайне важный методологический вопрос, поднятый в [20], – это возможность информационной и операционной *интеграции данных* в едином программном продукте. Информационная интеграция определяется как способ объединения на общей программной платформе данных разных видов, а операционная интеграция – это способ объединения данных в операционной структуре программного продукта, осуществляющей различные процедуры: установление и использование функциональных связей между элементами данных и преобразование типов данных, автоматическое получение различных проекций источника, поддержание диалога с пользователем и др.

Интеграционный подход, предложенный В.М. Андрющенко, базировался на необходимости включения в Машинный фонд любых текстов на русском языке, которые представляют интерес как для лингвистов, так и для пользователей других научных направлений. Каждый такой текст должен проходить тщательную подготовку, предполагающую последовательное отражение его многомерности как востребованного лингвистического источника, представляющего собой независимый объект, который маркируется автором и сопровождается различными дополнительными комментариями – издательскими, типографскими, текстологическими, лингвистическими.

В качестве основных проектных решений при создании Машинного фонда В.М. Андрющенко предложил четыре основных принципа: *модульность системы*, соответствующую естественной модульности языковых данных; *открытость системы* в плане включения новых источников, фактов и процедур обработки языковых данных; «*дружественность*» по отношению к пользователю – исследователю, лингвисту или «парапрограммисту»; *многообразие*

в плане осуществления различных функций по автоматизации обработки данных о русском языке (см., например, [20]).

Например, *модульное* решение было предложено детализировать по схеме четырёхчастного структурирования программ и данных в порядке укрупнения компонентов: фрагмент – модуль – корпус – пакет. Фрагменты – это отрезки текста на естественном языке, модули – это источниковые или программные ресурсы, корпусы – это структурированные объединения однородных модулей, пакеты – объединённые структуры определённого функционального назначения, состоящие из источниковых и программных корпусов. А противоречие между *многообразием* текстов, которые следует подвергать автоматизированной и автоматической обработке, и ограниченной мощностью ЭВМ вкупе с необходимостью разработки большого числа пакетов прикладных программ было предложено разрешать за счёт утверждения особого *регламента* работ, построенного на оптимизационных процедурах обработки типовых лингвистических корпусов, пользуясь небольшим числом типовых пакетов унифицированных программ.

Таким образом, концепция интегрированных программно-источниковых пакетов в рамках интеграционного подхода, предложенного В.М. Андрющенко, «определяет инвариантную в практически безграничном многообразии конкретных разработок конструктивную единицу, удовлетворяющую необходимым для комплексной системы автоматизации лингвистических исследований свойствам: *модульности* программ и данных, *открытости* для включения новых данных и процедур обработки, *дружественности* для пользователя-профессионала, гибкости в сочетании *многообразия* объектов, средств обработки и *регламента*, необходимого для эффективного обмена продуктами как внутри Машинного фонда русского языка, так и между ним и внешними потребителями» [20].

4. Воплощение технологических и организационных идей А.П. Ершова

В конце 1970-х – начале 1980-х годов ещё существовали факторы, препятствовавшие созданию единой модели лингвистического процессора, которые были отмечены А.П. Ершовым как составляющие *технологических проблем*. Безусловно, успеху начатой работы способствовали накопленный опыт и умение программистов управляться с объёмными и сложно организованными базами данных, а также появление алгоритмических языков высокого уровня и новых вычислительных средств анализа текстов на естественном языке [3]. Помимо создания универсального алгоритма, обеспечивающего работоспособность лингвистического процессора как единого целого, А.П. Ершов выделяет несколько дополнительных нерешённых *задач-процессов*: 1) настройку лингвистического процессора на конкретную предметную область, что предполагает замену одной базы данных на другую (*процесс научения*); 2) обеспечение лингвистического процессора собственной «активностью», то есть способностью откликаться на действия пользователя (так наз. диалоговый режим – контроль своего научения, или *процесс самообучения*); 3) обеспечение устойчивости лингвистического процессора и его информационной базы (*процесс стабильной работы* в условиях информационной перегрузки).

Воплощение *технологических идей* А.П. Ершова было начато его коллегами в Сибирском отделении АН СССР в 1970-80-х годах и продолжалось в 1990–2000-х годах. Причём если исследования и разработки 1970–80-х годов проводились с ориентацией на деловую прозу в трактовке А.П. Ершова, то в последующие периоды работа включала разные типы текстов – от деловых до разговорных.

В 1992–1998 гг. отдел Машинного фонда русского языка в Институте русского языка РАН возглавлял В.М. Андрющенко. В процессе этой работы была реализована концепция, изложенная

Владиславом Митрофановичем ещё в 1986 г. в докторской диссертации «Концепция и архитектура Машинного фонда русского языка» [20]. В рамках создания Фонда в руководимом им отделе осуществлялся перевод в электронную форму большого объёма литературных источников, проводились работы по созданию программных средств хранения, обработки и обеспечения доступа к накопленному материалу в виде программно-источникового пакета UNILEX+ [21]. Этот пакет, вручную перенесённый на машинный носитель, стал впоследствии морфологической основой отечественных поисковых систем и систем автоматической обработки текста. В результате этой поистине героической работы всего коллектива Фонд обрёл структуру, состоящую из совокупности программно-источниковых компонентов: генерального словника, словарного, текстового, грамматического, терминологического, диалектологического, исторического, фонетического и лингвистического фондов.

Организационные проблемы, выделенные А.П. Ершовым, затрагивали координацию работ научных коллективов по созданию лингвистического процессора, поскольку «очень трудно, а в сложившейся организации наук, наверное, и невозможно собрать специалистов под одну крышу <…> это титаническая работа целому институту на десять лет и то лишь, если не встретится принципиальных трудностей и будет решимость её выполнить» [3].

В решении *организационных проблем*, возникающих в процессе формирования научных коллективов для работы над инновационными задачами, важную роль сыграли работы И.С. Ладенко, специалиста в области теории интеллектуальных систем, которая «изучает и разрабатывает логические и организационные формы интеграции специалистов друг с другом и с комплексами средств интеллектуальной деятельности, содержащими научные методы, вычислительную и организационную технику» [22]. Идеи И.С. Ладенко, на которые обратил

внимание А.П. Ершов на этапе оппонирования его диссертации ещё в 1980 г., были в полной мере применены к процессу формирования сводных коллективов ученых-лингвистов, учёных-математиков, программистов, дизайнеров и инженерно-технических работников, что обеспечивало скоординированную работу над достижением общей цели: «коллектив специалистов и комплекс используемых ими средств интеллектуальной деятельности объединяются в единое целое на почве какой-то комплексной проблемы и образуют интеллектуальную систему» [22].

Практическое значение теории интеллектуальных систем в условиях информатизации общества И.С. Ладенко видел в интеграции профессионалов из различных областей со специалистами в области информатики и вычислительной техники, то есть во взаимодействии профильных специалистов со средствами информатики «в сложных контекстах», что создавало условия для образования комплексных интеллектуальных систем.

Именно такой тип деятельности был реализован в коллективах, состоящих из специалистов в разных областях знаний, которые были заняты созданием Машинного фонда русского языка, что, однако, не всегда приводило к желаемым результатам и достижению общей цели в непростых реальных условиях с множеством проблем научно-технического, технологического, а впоследствии и финансового характера. Этим специалистам требовалась в высшей степени чёткая координация – добиваться понимания через овладение общей терминологией, через изучение способов и методов исследования, принятых в другой области знаний, через обсуждение результатов, полученных «смежниками», и возможности их использования в своих разработках, а также приведение полученных всем коллективом результатов к единому целому. Подобная профессиональная деятельность, называемая полидисциплинарной, являет собой самую

сложную, особую сферу деятельности, обладающую синергетическими свойствами и требующую от отдельных рабочих компонентов тесной координации, а от всех членов интеллектуальной системы – высокого профессионализма.

5. Заключение: результаты и перспективы развития проекта

В самый результативный период создания Машинного фонда русского языка, датированный 1986–1990 гг., в работе принимали участие, наравне с Институтом русского языка, более 40 смежных организаций и организаций-соисполнителей, среди которых были как научно-производственные коллективы академических институтов, так и научные кадры классических университетов – Московского, Ленинградского, Харьковского, Гродненского, Сыктывкарского, Саратовского, выполнявших прямые заказы головной организации. Тем не менее, после 1991 г. все работы по созданию Машинного фонда русского языка были замедлены, а к 2000 г. практически свёрнуты, что можно было бы принять за плановый (читай – конечный) этап развития проекта.

И действительно, согласно «Комплексной программе научных исследований и прикладных разработок по созданию Машинного фонда русского языка на 1996–2000 годы и информатизации исследований» к 2000 году расчётный период разработок истёк (работы по созданию Фонда как раз были запланированы на период в 15–20 лет). На самом же деле одной из главных причин закрытия проекта было нарушение в связи с распадом Советского Союза в 1991 г. старой системы централизованного финансирования и координации научно-исследовательских работ, требующих дальнейшего развития, в пределах единого государства.

Тем не менее, как показал анализ проведённой работы, «проект состоялся, хотя и претерпел значительные изменения вследствие произошедших за эти годы общественных и технологических

трансформаций» [23]. Другое дело, насколько успешными оказались результаты работы многих тысяч сотрудников – учёных, программистов, инженеров, дизайнеров, – и насколько они сами были удовлетворены этими результатами.

В самом начале работы над проектом на базе концепции и архитектуры Машинного фонда русского языка и концепции терминологического банка данных была выделена приоритетная **цель проекта**, которая состояла в **комплексной информатизации научных исследований и прикладных разработок в области русистики**. Для достижения этой цели В.М. Андрющенко ещё до вступления в должность руководителя проекта в 1992 г. обозначил три задачи [24]:

1) создать возможность эффективной централизованной разработки и поставки промышленности и НИИ лингвистического обеспечения для разрабатываемых систем общения с ЭВМ на русском языке и систем обработки документов в естественной языковой форме;

2) создать систему комплексной автоматизации лингвистического труда: составления словарей, поиска и обработки научной информации, анализа текстов, проведения классификационных работ, подготовки аппарата изданий и т.п.;

3) заложить понимаемую в современном смысле сокровищницу данных о русском языке во всём объёме этого понятия, во всех его временны́х и территориальных формах.

Результаты выполнения этих стратегических задач, конкретизированные как программы деятельности, в год закрытия проекта (в 2000 г.) находились в разной степени завершённости:

- **две программы**: программу оснащения отделов Института русского языка и организаций-соисполнителей современными вычислительными машинами с перспективой объединения их в локальную сеть и программу по развитию прикладных направлений академической русистики – лексикографии, терминоведения,

автоматической обработки данных на естественном языке **реализовать не удалось**;

- программа по накоплению на машинных носителях и в базах данных источников, необходимых для научных исследований и прикладных разработок в области русистики, **была реализована частично;**
- задача создания программных средств, необходимых для подготовки научных трудов по филологии и для проведения прикладных разработок, **была выполнена полностью**: разработаны две программы UNILEX-T и UNILEX-D, переведены в электронный вид несколько словарей.

Прикладные задачи, обозначенные в проекте как подготовка научных трудов на компьютере с использованием компонентов Фонда, авторская разработка словарной базы данных под конкретные задачи исследователя, обучение филологов проведению автоматизированных исследований и работе с компонентами Фонда также **были реализованы частично**. В то время их выполнение было затруднено в связи с тем, что, помимо упомянутых ранее финансовых и организационных трудностей, наблюдался недостаточный уровень развития технико-технологической и ресурсной базы, преодолеть который за пятнадцать лет, отведённых на создание рабочей версии Фонда, было нереально.

Тем не менее, проект по разработке Машинного фонда русского языка оказал существенное влияние на развитие теоретических компонентов новых направлений в науке о русском языке – отечественной компьютерной и корпусной лингвистики [25], а также способствовал решению многих прикладных задач, в первую очередь, созданию Национального корпуса русского языка (НКРЯ), который можно считать современным воплощением и развитием идей, положенных А.П. Ершовым и его сподвижниками в основу Машинного фонда русского языка.

Национальный корпус русского языка – детище работы огромного коллектива, включающего более 200 специалистов из Института русского языка РАН, Всероссийского института научной и технической информации РАН, Института языкознания РАН, Института проблем передачи информации РАН, компании «Яндекс», при участии других институтов и университетов Москвы и Санкт-Петербурга, а также множества специалистов из 24-х зарубежных стран. НКРЯ – это постоянно пополняемая и развивающаяся ресурсная база, состоящая из обширной коллекции текстов на русском языке общим объемом более 2 млрд. слов. Оснащенная лингвистической разметкой и инструментами поиска база данных НКРЯ представлена в виде шестнадцати независимых корпусов (основного, газетного, синтаксического, корпуса социальных сетей, устного, акцентологического, мультимедийного русского, мультимедийного параллельного, параллельного (двуязычного), диалектного, обучающего, корпуса «От 2 до 15», поэтического, корпуса русской классики (пока в β-версии), исторического и панхронического корпуса. В мультимедийный модуль входит три корпуса: Мультимедийный корпус (МУРКО, около 6 млн словоупотреблений) и два параллельных мультимедийных корпуса – русский МультиПарк и англо-русский МультиПарк. Параллельный корпус объединяет 31 двуязычный корпус и один мультиязычный. Исторический модуль включает 5 корпусов: Древнерусский, «Восточнославянская эпиграфика», Старорусский, Корпус берестяных грамот и Церковнославянский корпус. Панхронический корпус включает собрание текстов, охватывающее несколько общепризнанных диахронических периодов языка.

В 2020–2023 гг. проведена существенная модернизация цифровой платформы НКРЯ, куда были включены три новых корпуса: ресурсный корпус «Социальные сети», Панхронический корпус, позволяющий осуществлять поиск по четырём историческим корпусам, включённым

в НКРЯ в разные периоды времени, и аналитический корпус, с помощью которого производятся анализ статистической информации и визуализация данных [26]. Обновлённая версия НКРЯ даёт возможность создавать новые корпуса и добиваться улучшения репрезентативности имеющихся корпусов, находить новые решения по дизайну интерфейса и производить разметку текстов с опорой на нейросетевые модели.

Помимо НКРЯ, научными коллективами нашей страны создано немалое число электронных ресурсов, используемых в филологических исследованиях и преподавании русского языка: электронные филологические библиотеки, библиотеки художественной и архивной исторической литературы, лингвистические корпуса текстов различных жанров, корпусные грамматики, электронные словари, учебно-методические порталы, генеральный интернет-корпус русского языка (webcorpora.ru) и корпуса звучащей речи (spokencorpora.ru).

Если в качестве финального аккорда сравнить базы и подсистемы баз данных, входящие в НКРЯ, с информационной базой и автоматизированной справочной службой, идеи которых были заложены в Машинный фонд русского языка [20; 24], то станет очевидным их практически полное соответствие друг другу, что говорит о преемственности проектов по созданию Машинного фонда и Национального корпуса русского языка. Кроме того, модульная архитектура, задуманная командой математиков-программистов при работе над проектом Машинного фонда русского языка как открытая, «дружественная» и максимально широкая по своим функциональным возможностям, получила своё реальное воплощение в структуре НКРЯ.

Список литературы

1. Андрей Петрович Ершов – учёный и человек. – Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН. – 2006. – 504 с.

2. Падучева Е.В. Референциальные аспекты высказывания: семантика и синтаксис местоименных слов: автореф. дис. … д-ра. филолог. наук. – М.: – 1985.

3. Ершов А.П. Методологические предпосылки продуктивного диалога с ЭВМ на естественном языке. // Вопросы философии. – 1981. – № 8. – С. 109–119.

4. Ершов А.П. Машинный фонд русского языка (внешняя постановка вопроса). // Вопросы языкознания. – 1985. – № 2. – С. 51–54.

5. Ершов А.П. Избранные труды. – Новосибирск: Наука. – 1994. – 416 с.

6. Андрющенко В.М. Машинный фонд русского языка: постановка задачи и практические шаги. // Вопросы языкознания. – 1985. – № 2. – С. 54–64.

7. Караулов Ю.Н. Методология лингвистического исследования и Машинный фонд русского языка // Машинный фонд русского языка: Идеи и суждения. – М.: Наука. – 1986. – 240 с. – С. 13–25.

8. Машинный фонд русского языка: Идеи и суждения. – М.: Наука. – 1986. – 133 с.

9. Гладкий А.В. Союз лингвистики и математики: взгляд через сорок лет. Слово в тексте и в словаре. – М.: Языки русской культуры. – 2000. – 648 с. – С. 477–484.

10. Падучева Е.В. О способах представления синтаксической структуры предложения. // Вопросы языкознания. – 1964. – № 2. – С. 99–113.

11. Падучева Е.В. Высказывание и его соотнесённость с действительностью: Референциальные аспекты семантики местоимений. – М.: URSS. – 2024. – 294 с.

12. Падучева Е.В. Идея всеобщности в логике и в естественном языке. // Вопросы языкознания. – 1989. – № 2. – С. 15–25.

13. Кустова Г.И., Падучева Е.В. Словарь как лексическая база данных. // Вопросы языкознания. – 1994. – № 4. – С. 96–106.

14. Падучева Е.В. Структура события: семантические роли, аспектуальность, каузация. // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2009. – № 6. – С. 38–44.

15. Paducheva E.V. Russian free choice pronouns // Russian Linguistics. – 2018. – V. 42(3). – Pp. 291–319.

16. Зализняк А.А., Падучева Е.В. Русское адъективное местоимение «всякий». // Вопросы языкознания. – 2020. – № 1. – С. 7–26.

17. Крылов С. А., Шайкевич А. Я. Владислав Митрофанович Андрющенко: к 80-летию ученого // Вестник РГГУ (Московский лингвистический журнал). – М.: РГГУ. – 2014. – Т. 16, № 8 (130). – С. 22-27.

18. Казакевич О.А., Членова С.Ф. Полвека лаборатории автоматизированных лексикографических систем НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова // Вестник РГГУ (Московский лингвистический журнал). – М.: РГГУ. – 2014. – Т. 16, № 8 (130). – С. 28 -38.

19. Лесников С.В. Владислав Митрофанович Андрющенко научный руководитель и консультант, главный конструктор «Машинного фонда русского языка» (МФРЯ) // Тезисы всероссийской конференции «От языковых машинных фондов к лингвистическим корпусам: памяти В.М. Андрющенко». Лаборатория автоматизированных лексикографических систем НИВЦ; МГУ имени М.В. Ломоносова; Институт русского языка имени В.В. Виноградова. Москва, 28-29 сентября 2018 г. – С. 58-60.

20. Андрющенко В.М. Концепция и архитектура Машинного фонда русского языка. – М.: Наука. – 1989. – 196 с.

21. Андрющенко В.М. Автоматизированная лексикографическая система UNILEX (Основные проектные решения). // Вычислительная лингвистика. Теоретические аспекты. Вопросы автоматизации

лексикографических работ / Под ред. В.З. Демьянкова. – М.: Изд-во МГУ. – 1982. – С. 104-119.

22. Ладенко И.С., Поляков В.Г. Интеллектуальные системы и информатика. Серия: Математика и кибернетика. – 1991. – № 12. – С. 1–44.

23. Савчук С.О. Машинный фонд и Национальный корпус русского языка: преемственность и новации // Тезисы всероссийской конференции «От языковых машинных фондов к лингвистическим корпусам: памяти В.М. Андрющенко». Лаборатория автоматизированных лексикографических систем НИВЦ; МГУ имени М.В. Ломоносова; Институт русского языка имени В.В. Виноградова. – Москва, 28-29 сентября 2018 г. – С. 88-89. (Доклад 29 сентября 2018 г.).

24. Андрющенко В.М. Концепция и архитектура Машинного фонда русского языка // Машинный фонд русского языка: Идеи и суждения. – М.: Наука. – 1986. – 240 с. – С. 26–44.

25. Прикладная и компьютерная лингвистика: коллективная монография. – М.: ЛЕНАНД. – 2016. – 320 с.

26. Савчук С.О., Архангельский Т.А., Бонч-Осмоловская А.А. и др. Национальный корпус русского языка 2.0: новые возможности и перспективы развития. // Вопросы языкознания. – 2024. – № 2. – С. 7–34.

© Корчажкина О.М.

DOI 10.46916/02062026-2-978-5-00215-476-0

Глава 16.
РАЗВИТИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ФИЗКУЛЬТУРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Гуляев Михаил Дмитриевич
д.п.н., профессор, президент
ФГБОУ ВО «ЧГИФКиС», Чурапча

Аннотация: В статье рассматриваются развития непрерывного физкультурного образования в Республике Саха (Якутия). Выделены основной замысел проекта в организации непрерывного физкультурного образовательного процесса в системе «детсад – школа –УОР-ВУЗ-ЦСП» в Республике. Цель исследования заключается в создании максимально комфортных педагогических условий для интеллектуального и физического развития учащихся и студентов, а также условий для реализации удовлетворения потребности в личностном росте каждого участника педагогического процесса.

Ключевые слова: непрерывное образование, система, спортивная подготовка, модель, личность.

DEVELOPMENT OF CONTINUOUS PHYSICAL EDUCATION IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Gulyaev Mikhail Dmitrievich
PhD, Professor President of
FSBEI HE «CHGIFKIS», Churapcha

Abstract: This article examines the development of continuous physical education in the Republic of Sakha (Yakutia). It highlights the project's core concept for organizing continuous physical education in the Republic's

kindergarten-school-educational institution-university-social center system. The study's goal is to create the most comfortable educational environment for the intellectual and physical development of pupils and students, as well as conditions for satisfying the personal growth needs of each participant in the educational process.

Key words: continuing education, system, sports training, model, personality.

Введение

На современном этапе мирового экономического и общественного развития наиболее важным направлением развития является непрерывность образования. Данный феномен затрагивает все аспекты обучения, воспитания и развития личности. Непрерывность физкультурного образования способствует скоординированной целенаправленной деятельности в области физической культуры и спорта, создает предпосылки и условия для реализации личностной потребности «образование через всю жизнь».

Идея непрерывного образования в современном педагогическом сознании существует на обыденном и научном уровне. С самого начала она развивается в двух направлениях: как педагогическая концепция и как феномен практики. Обыденный уровень предусматривает, что человеку необходимо постоянно учиться, потому что жизнь динамична, меняется окружающий социум, производство. Непрерывное образование определяется как систематическое пополнение знаний, совершенствование умений и навыков, как образование, не прерывающееся с приходом человека в сферу самостоятельной трудовой деятельности.

Основой новой концепции непрерывного образования является идея соединения в той или иной форме профессионального образования с общим образованием на различных уровнях. По своей сущности процесс становления непрерывного образования – это процесс перехода

от формальной непрерывности образовательного процесса к его целостности. На данном положении построена концепция непрерывного многоуровневого образования [2].

В этой связи сама структура непрерывного образования спроектирована таким образом, что человек, последовательно проходя через учебные заведения дошкольного, школьного и последующего профессионального образования, движется как бы вверх по ступеням духовной и социальной зрелости. Для обеспечения непрерывности образования требуется определенная система учебных заведений. Для того чтобы добиться максимального соответствия формы образовательного процесса его постоянно усложняющемуся содержанию, необходимо было организационное совершенствование системы образования по двум главным направлениям – достройка новыми звеньями и преобразование ныне действующих учебных заведений.

Непрерывность физкультурного образования рассматривается в двух плоскостях:

а) непрерывное образование личности, имеющее целью формирование физически культурного (а не просто телесно здорового) человека, т.е. полностью физкультурно-грамотного человека:

б) непрерывное профессиональное физкультурное образование, целью которого является подготовка специалиста, способного осуществлять и обеспечивать на всех уровнях – от проекта, программы до их реализации – педагогически организованное непрерывное образование различных социально-демографических групп и создавать им условия для физкультурного самообразования.

Очень важным принципом педагогики непрерывного образования является принцип системности. Непрерывное образование – это система путей, средств, методов и форм получения и расширения знаний, профессиональной компетентности. Взаимосвязь входящих в нее компонентов, их взаимная субординация по уровням и координация по

направленности обеспечивает отношение взаимосодействия между ними, сохраняет целостность всей системы [5].

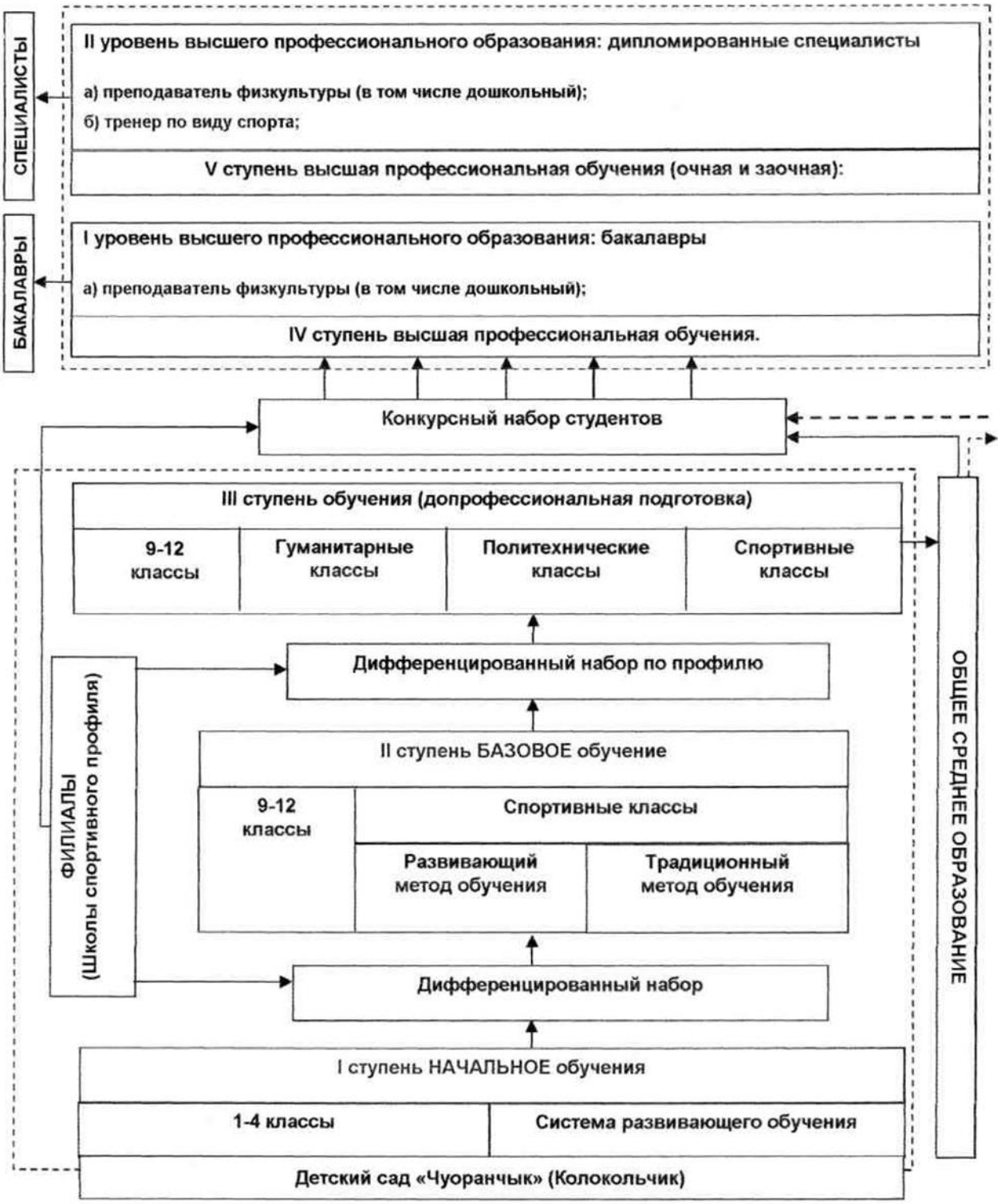
На базе Чурапчинской спортивной школы в 1993 году открылось Чурапчинское педагогическое училище филиала Якутского педагогического училища № 1 г Якутска. Этот региональный научно-образовательный комплекс, который являлся перспективной организационной формой интеграции образовательных учреждений на региональном уровне. Поистине большой интерес для нас представляло формирование комплексов, объединяющих в себе образовательные структуры различных ступеней в условиях региона.

В Республике Саха (Якутия) с её обширными территориями, малой плотностью населения и суровыми климатическими условиями воспитание сильных духом, физически здоровых, образованных и сплочённых молодых поколений является важнейшим фактором устойчивого развития региона. Суровые условия Севера диктуют и требуют несколько иных подходов к вопросам жизнеобеспечения, экологии, коммуникациям между людьми, образованию и, конечно, к здоровью. Здесь, очевидно, должны быть более высокие параметры надёжности и качества ко всему, что связано с постоянным пребыванием человека в экстремальных условиях. Высокая миграция молодёжи из сельской местности в столицу Якутии и за пределы региона является существенным индикатором перпектив развития огромных территорий и требованием к созданию условий для раскрытия потенциала, в том числе спортивного для сельской молодёжи[3].

Указом первого Президента Республики Саха (Якутия) М.Е. Николаевым в 1999 году впервые в сельской местности был создан Чурапчинский институт физической культуры и спорта. Он был создан как инновационное муниципальное образовательное учреждение на основе модели «Детский сад – спортивная школа – вуз», в которой реализуются все уровни образования. Предлагаемая модель состоит из пяти ступеней (табл. 1).

Таблица 1

Обобщенная модель организационно-методических основ Чурапчинского государственного института физической культуры и спорта



Первая ступень – начальное обучение (дошкольное учреждение и начальная школа). Основная задача дошкольного уровня – оказание организационной и методической помощи в обеспечении воспитания и развития дошкольников и подготовка к школе. О внедрении и реализации программы данной ступени подробно изложено в следующем параграфе диссертации. Начальная школа (1-4 классы) осуществляет постепенный переход на систему развивающего обучения. Были включены включены предметы: гимнастика, английский язык и шашки. Также дети начинали заниматься в спортивных отделениях по выбору.

Вторая ступень – общее среднее образование (5–8 классы). Каждый год в спортивную школу осуществлялся набор в спортивные классы с 5 класса. В этих классах увеличены часы по английскому языку, также введен предмет «гимнастика». Все учащиеся школы занимались в спортивных отделениях по видам спорта: вольная борьба, шашки, легкая атлетика, акробатика, пулевая стрельба, стрельба из лука, волейбол, бокс, настольный теннис и 5 филиалов спортивного профиля.

Третья ступень – полное среднее образование с допрофессиональной подготовкой с получением документа об окончании полного среднего образования. Кроме этого, открыты базовые спортивные лицеи института в других улусах: Мегино-Кангаласском, Усть-Алданском,Хангаласском, Сунтарском, которые работают по этим же специальным углубленным программам по физической культуре.

Четвертая ступень – 1–4 курсы Чурапчинского института физической культуры и спорта. 1 уровень – высшего профессионального образования, подтверждаемого присвоением лицу, успешно прошедшему итоговую аттестацию квалификации (степени) «бакалавр». Квалификации преподаватель физической культуры (в том числе дошкольный). Обучение по очной и заочной формам обучения. Для

желающих поступить в ЧИФКиС работают краткосрочные подготовительные курсы.

Пятая ступень – 2 уровень высшего профессионального образования, подтверждаемый присвоением лицу, успешно прошедшему итоговую аттестацию, квалификации преподаватель физической культуры (в том числе дошкольный) и тренер по виду спорта.

При анализе деятельности образовательных учреждений можно обнаружить, что в рамках каждой системы возможна реализация нескольких образовательных программ. Например, система «школа – вуз» включает в себя подготовительные курсы на базе вуза; подготовительные курсы на базе школ; специализированные спортивные классы; подготовку школьников к обучению в вузе по индивидуальному плану и т.д. В дальнейшем особо одаренные, успешно занимающиеся научной работой студенты будут продолжать учебу в магистратуре в центральных вузах. В таблице 1 представлена обобщенная модель организационно-методических основ ЧГИФКиС.

Однако до сих пор нет четкой линии профессионально-квалификационной структуры выпускаемых учебными заведениями специалистов с потребностями создания системы непрерывного образования в Республике Саха (Якутия).

Система образования призвана обеспечить:

- историческую преемственность поколений, сохранение и развитие национальных культур народов Республики Саха (Якутия);
- непрерывность образования в течение всей жизни человека;
- систематическое обновление содержания образования, отражающего изменения в сфере культуры, науки, экономики, техники и технологий;
- многообразие типов и видов высших образовательных учреждений и вариативность образовательных программ,

обеспечивающих индивидуализацию образования и развития свободной творческой личности;

- преемственность уровней и ступеней образования[5].

В настоящее время Чурапчинский государственный институт физической культуры и спорта функционирует как федеральное училище олимпийского резерва, где подготовка специалистов ведется по следующей схеме: детский сад – Школа олимпийского резерва – УОР – ЧГИФКиС-ЦСП.

Из сложившейся структуры непрерывного образования на начальном этапе является «Детский сад – школа». Деятельность дошкольного и начального образовательного учреждения в основном направлена на создание оптимальных условий для развития, обучения и воспитания ребенка, укрепление его здоровья, на физическую подготовленность. Исходя из этого, поначалу нами было создано единое образовательное пространство, соответствующее современным представлениям об учебном комплексе в условиях региона на базе детского сада «Чуораанчык» и общеобразовательной школы-интерната олимпийского резерва в Чурапчинском улусе (районе). Этот комплекс создавался как инновационное образовательное учреждение с учетом национальных и культурных традиций региона. Он включает основной спектр образовательных услуг разного назначения для детей дошкольного и школьного возраста от 3 до 10 лет.

Образовательный комплекс решает следующие задачи:

- реализация оптимальных условий для физического и психического развития детей;

- совершенствование учебного процесса для обучения и овладения элементарными знаниями дошкольников и младших школьников;

- мониторинг первичной диагностики соответствия развития детей возрастным стандартам и выявление их функциональных, физических и психических особенностей;

- развития программ для развития интеллектуальных и физических способностей дошкольников и учащихся;

- усовершенствование обучение русскому языку дошкольников, углубленное изучение иностранных языков школьниками.

Деятельность дошкольного и начального образовательного учреждения в основном направлена на создание оптимальных условий для развития, обучения и воспитания ребенка, на удовлетворение его потребности в двигательной активности, что влияет на укрепление его здоровья, на физическую подготовленность и формирование двигательной культуры.

Предлагаемая система обеспечивает благоприятные условия для гармоничного развития детей дошкольного и младшего школьного возраста период первого и начало второго детства, способствует сохранению необходимых условий для реализации должного объёма двигательных действий. В таблице 2 представлена организационная структура деятельности «Детский сад – начальная школа».

Таблица 2

Организационная структура комплекса
«Детский сад – начальная школа»

Для обеспечения преемственности в программах начального и дошкольного образования решались следующие задачи:

- усовершенствование и развитие физических качеств;
- развитие двигательных умений и навыков;
- формирование умений и навыков учебной деятельности;
- повышение умственной и физической работоспособности.

Все организованные комплексные занятия осуществляются в виде игровой и учебно-игровой деятельности, которые предусмотрены в плановых программах для детских дошкольных учреждений. Традиции педагогического наследия, опыт подготовки кадров в области физической культуры и спорта позволили выстроить систему непрерывного физкультурного образования в условиях сельской местности на Крайнем Севере. Идея развития многоуровнего физкультурно-образовательного пространства «детский сад-школа олимпийского резерва – УОР – ВУЗ-ЦСП» выступает одним из условий реализации данного проекта в Республике Саха (Якутия).

Интегрирование различных звеньев может происходить успешно в данной образовательной системе через разработку многоуровневого учебного плана, сочетающего содержание федерального и регионального компонентов и требований образовательного стандарта. При этом должны учитываться интересы учреждений в плане автономности, независимости, сохранения их целостности и их активная включенность в систему в целом через адаптацию организационно-управленческих и предметно-содержательных характеристик конкретного звена к основным параметрам всей системы.

Одним из актуальных вопросов модернизации системы подготовки спортивного резерва является поиск модельных вариантов сочетания полноценного образовательного процесса с активной тренировочной и соревновательной деятельностью детей школьного возраста. В Республике Саха (Якутия) с её обширными территориями, малой

плотностью населения и суровыми климатическими условиями воспитание сильных духом, физически здоровых, образованных и сплочённых молодых поколений является важнейшим фактором устойчивого развития региона.

Образование, культура и спорт – вот фундаментальный ресурс в становлении, реализации и самореализации детей, подростков, молодёжи и взрослого населения. Суровые условия Крайнего Севера диктуют и требуют несколько иных подходов к вопросам жизнеобеспечения, экологии, коммуникациям между людьми, образованию и конечно, к здоровью. Здесь, очевидно, должны быть более высокие параметры надёжности и качества ко всему, что связано с постоянным пребыванием человека в экстремальных условиях.

Высокая миграция молодёжи из сельской местности в столицу Якутии и за пределы региона является существенным индикатором перпектив развития огромных территорий и требованием к созданию условий для раскрытия потенциала, в том числе спортивного, для сельской молодёжи. Всем известно, что подавляющее большинство великих спортсменов, создававших великую спортивную славу Якутии, родились и начинали свой спортивный путь именно в сельской местности.

Далеко не случайно Чурапча стала центром подготовки педагогических кадров на базе первого педагогического училища еще в далекие 30 годы 20 века. Имя сельского учителя, тренера, заслуженного тренера, СССР, РСФСР, ЯАССР заслуженного учителя школ ЯАССР Дмитрия Петровича Коркина получило всеобщее признание и мировую известность благодаря его воспитанникам – олимпийским чемпионам по вольной борьбе Роману Дмитриеву (Мюнхен, 1972), Павлу Пинигину (Монреаль, 1976), серебряному призёру XXI олимпийских игр в Монреале Александру Иванову, многочисленным чемпионам международных и всесоюзных турниров.

Необходимо подчеркнуть, что на Монреальской Олимпиаде выступали сразу три его воспитанника.

Развитие физической культуры и спорта в Республике Саха (Якутия), развитие детского спорта и подготовки спортивного резерва является одним из приоритетных направлений государственной политики в нашей республике. Тем не менее, ответственность выстроенной спортивно-педагогической системы лежит в поиске инновационных форм средств и методов, способных дать достойное фундаментальное среднее образование, совмещённое с интенсивной тренировочной и соревновательной деятельностью, которое должно стать залогом успешной трудовой, образовательной и спортивной реализации каждого выпускника общеобразовательной школы-интерната .

Школа является ресурсным центром по подготовке спортивного мастерства, образовательных учреждений спортивного направления Республики Саха (Якутия). Создано сетевое взаимодействие между школами спортивного направления республики: для создания благоприятных условий для самореализации детей-спортсменов; укрепления взаимосвязи в проведении совместных спортивных, массовых, интеллектуальных мероприятий, проведения совместных УТС; повышения квалификации тренеров-педагогов, учителей, преподавателей, педагогов; в отдельных случаях на базе спортивных школ по профилям может осуществляться обмен учащимися для повышения квалификации юных спортсменов, тренеров-педагогов, учителей и педагогов.

Система непрерывного физкультурного образования позволяет осуществлять достаточно эффективную подготовку олимпийского резерва для сборных команд Республики Саха (Якутия) и Российской Федерации. Осуществление непрерывного физкультурного образования невозможно без индивидуализации обучения, построения образовательных программ для каждого обучающегося. Это требует

новых подходов к разработке учебных планов, программ, принципов организации учебного процесса. Следовательно, актуализируется задача организации преемственности ступеней не только на уровне содержания образования, методов, организационных форм, средств обучения, но и на уровне системы школы.

Новизна экспериментального проекта заключается:

1. В теоретическом и практическом обосновании непрерывного физкультурного образования и спортивной подготовки в системе «Детский сад – Школа – УОР – ВУЗ – ЦСП» в условиях сельской местности.

2. В определении преемственности содержания образовательных программ и программ спортивной подготовки по семи видам спорта: вольная борьба, шашки, легкая атлетика, стрельба из лука, пулевая стрельба, волейбол, национальные виды спорта (мас-рестлинг).

3. В организации активной непрерывной педагогической практики студентов Чурапчинского государственного института физической культуре и спорту в школе-интернате олимпийского резерва им. Д.П. Коркина.

Гипотеза. Система непрерывного физкультурного образования и спортивной подготовки спортивного резерва может успешно функционировать в условиях сельской местности при условии, *если:*

- будет организовано сетевое взаимодействие образовательных учреждений спортивной направленности;

- будет осуществляться взаимосвязь и преемственность образовательных программ и программ спортивной подготовки.

По ряду объективных и субъективных причин непрерывная физкультурная подготовка спортсменов олимпийского резерва без отрыва от соревновательной деятельности протекает неравномерно и стихийно; недостаточно решаются вопросы повышения квалификации и переподготовки тренеров, выработки мотивов совершенствования

тренеров, педагогов, что значительно усложняет непрерывную образовательную деятельность по достижению поставленных целей. Отсюда возникает ряд противоречий, которые проявляются между:

- общим содержанием подготовки олимпийского резерва в рамках традиционной системы обучения и воспитания;

- формированием эффективной системы подготовки олимпийского резерва;

- факторами, снижающими мотивационно-ценностную ориентацию тренеров на достижение высоких результатов спортсменов;

- традиционными подходами к управлению.

В настоящее время в школе-интернате спортивного резерва им Д.П. Коркина обучается 434 учащихся из 27 улусов Республики Саха (Якутия), 5 городов Республики Саха (Якутия) и регионов России. В рамках сетевого взаимодействия в процесс программной подготовки спортивного резерва вовлечены по проекту ещё более 500 учащихся в 5 филиалах. В целях дальнейшего совершенствования, конкурентоспособности и подготовки спортивного резерва для сборных команд Республики Саха (Якутия) и Российской Федерации по видам спорта целенаправленно ведется работа по повышению эффективности деятельности спортивных отделений, осуществляющих спортивную подготовку. Тренерско-преподавательский состав школы-интерната составляет 26 тренеров-преподавателей с высшим образованием. Высшую квалификационную категорию имеют 18 тренеров. Среди них: 1 – заслуженный тренер России, 4 – заслуженные тренеры Республики Саха (Якутия), 1– заслуженный работник физической культуры и спорта Республики Саха (Якутия), 7 – отличники физической культуры и спорта Российской Федерации, 12 – отличники физической культуры и спорта Республики Саха (Якутия).

По результатам в 2025 году за спортивные достижения Минспортом России школе-интернату им. Д.П. Коркина присвоен статус

школы олимпийского резерва. Дано право использовать в своём наименовании слово «олимпийский». По итогам 2025 года членами основного состава сборной команды России стали 5 воспитанников (вольная борьба, шашки), а в резервный состав сборной команды России вошли ещё 6 воспитанников по шашкам и вольной борьбе, что даёт основания для признания этого статуса на очередные пять лет.

В целях дальнейшего совершенствования, конкурентоспособности и подготовки спортивного резерва для сборных команд Республики Саха (Якутия) и Российской Федерации по видам спорта целенаправленно ведется работа по повышению эффективности деятельности спортивных отделений, осуществляющих спортивную подготовку.

Между тем, в целях дальнейшего совершенствования, конкурентоспособности и подготовки спортивного резерва для сборных команд Российской Федерации по видам спорта в Якутии целенаправленно ведется работа по повышению эффективности деятельности спортивных отделений, осуществляющих спортивную подготовку. Каждый учебный год школа служит базой прохождения педагогической и тренерской практики студентов. По линии непрерывного физкультурного образования в школе функционирует педагогическая пятерка: «ученик-учитель-воспитатель-тренер-родитель». Поэтому удобно проводить круглогодичную непрерывную педагогическую и тренерскую практику студентов на базе школы без отрыва от учебных занятий студентов.

В основу предлагаемой структуры непрерывного физкультурного образования «Детский сад – Школа – УОР – ВУЗ – ЦСП» легли образовательные принципы всеобщности, преемственности и индивидуализации, которые являются фундаментальным условием реализации данного Проекта. Построение системы непрерывного физкультурного образования является благоприятным педагогическим пространством, которое позволит обосновать, раскрыть такие понятия, как многоуровневость образовательных учреждений, преемственность

образовательных программ, гибкость организационных форм обучения, воспитание и интеграция образовательных структур.

Таким образом, что актуализируется задача преемственности программ обучения на всех ступенях образования и спортивной подготовки на уровне содержания образования, методов, организационных форм, средств обучения и тренировки. Следуя основным принципам всеобщности, преемственности и индивидуализации непрерывного физкультурного образования, идея развития многоуровнего физкультурно-образовательного пространства «Детский сад – Школа олимпийского резерва – УОР – ВУЗ – ЦСП» выступает одним из условий реализации данного Проекта.

Выводы

1. Созданная в рамках экспериментального проекта система непрерывного физкультурного образования и спортивной подготовки позволяет обучающимся быстро адаптироваться к алгоритму насыщенной образовательной и спортивной деятельности школы в системе «Школа-интернат им. Д.П. Коркина – УОР – ВУЗ – ЦСП».

2. Непрерывная педагогическая практика в школе является хорошей школой для профессионального роста будущих специалистов в области физической культуры и спорта и примером для самореализации воспитанников учреждений, вовлечённых в проект.

3. Реализация проекта позволяет сформировать положительный опыт формирования организационных, нормативных, образовательных и управленческих ресурсов для развития непрерывного физкультурного образования в условиях сельской местности.

Таким образом, благодаря слаженной работе руководства и коллектива детского сада, школы, училища олимпийского резерва, института решаются значимые задачи по развитию непрерывного физкультурного образования в Республике Саха (Якутия).

Список литературы

1. Гуляев М.Д. Инновационные технологии непрерывного физкультурного образования в управлении развитием системы физической культуры и спорта в условиях региона. Монография/М.Д. Гуляев Чурапчинский государственный институт физической культуры и спорта». – М.: Изд-во «Советский спорт», 2011. 156 с.

2. Гуляев М.Д. Инновации в технологии непрерывного физкультурного образования в условиях региона: автореферат дисс. кан. пед. наук. – М.2002. 26с.

3. Гуляев М.Д. Модернизация системы подготовки спортивного резерва в Республике Саха (Якутия):Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского международного конгресса (г. Москва, 2023г). Том-1.-Моосква: Изд-во Инфинити, 2023. 136 с.-С.122–125.

4. Зинченко Г.П. Предпосылки становления непрерывного образования // Советская педагогика. – 1991. - № 1. С. 13–14.

5. Жарикова Л.И. Педагогика непрерывного образования в системе наук о человеке. Вестник ТГПУ, 2009. Выпуск 8 (86). С. 34.

6. Интеграция содержания профессионального физкультурного образования на разных уровнях обучения. Готовцев И.И., Колесова Т.К., Гуляев М.Д., Коркин Е.В. Теория и практика физической культуры. 2020. № 2. С. 6–8.

7. Статистический информационно-аналитический материал «Чурапчинский институт: история и современность» – сборник серии о состоянии системы образования, Чурапча: 2020. 203 с.

© Гуляев М.Д.

Глава 17.
ПРЕДМЕТ «ДЖАЗОВЫЙ АНСАМБЛЬ» В МУЗЫКАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ: ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

Микаелян Софи Мартиновна
преподаватель кафедры
джазово-популярной музыки
Ереванская государственная консерватория им. Комитаса

Аннотация: Данная статья посвящена методике преподавания джазового ансамбля в музыкальных школах, училищах, консерваториях. На основе программ, принятых в высших музыкальных учебных заведениях мира, объединив многолетний опыт преподавания, мы постарались представить целевые проблемы предмета. Джазовый ансамбль имеет свои специфические принципы преподавания. Обучение музыкальному ансамблю требует тщательной работы, и каждый преподаватель выбирает подходы, исходя из собственной методики и концертной деятельности. Принципы преподавания джазового ансамбля включают проблемы ансамблевого характера: балансировки звука, синхронизации, динамических оттенков, темпа, управления эмоциями, правильного подбора учебных и концертных программ, необходимость редактирования нотных материалов. В вокальном джазовом ансамбле сохраняются те же проблемы, но следует прибавить к ним согласование вокальных данных исполнителей, тембровых особенностей голосов, разной мощности и высоты звука, постановки дыхания в соответствии с фразировкой. Статья может быть полезна как студентам, так и преподавателям в процессе работы.

Ключевые слова: джаз, джазовый ансамбль, композиция, фраза, ритм, гармония, акцент, студент, преподаватель, солист.

JAZZ ENSEMBLE IN MUSIC EDUCATIONAL INSTITUTIONS: FEATURES AND CHALLENGES OF TEACHING

Mikayelyan Sofi Martinovna
Lecturer, Jazz-Pop Music Department
Yerevan State Komitas Conservatory

Abstract: This article is devoted to the teaching methods of jazz ensemble in music educational institutions. Drawing on curricula adopted at higher music educational institutions worldwide and combining many years of teaching experience, we have attempted to present the specific challenges of this subject. Jazz ensemble has its own specific teaching principles, which we will discuss in this article. Teaching musical ensemble requires careful work, and each teacher chooses new approaches based on their own methodology and concert activities. The principles of teaching a jazz ensemble involve addressing core performance issues: sound balance, synchronization, dynamics, tempo, emotional control, the selection of appropriate educational and concert repertoires, and the necessity of editing musical scores. A vocal jazz ensemble faces these same challenges, but with additional focus on aligning the performers' vocal abilities, timbre characteristics, varying power and pitch, and coordinating breathing with phrasing. The article may be useful for both students and teachers in their work.

Key words: jazz, jazz ensemble, composition, phrasing, rhythm, harmony, accent, student, teacher, soloist.

Энциклопедические издания характеризуют джаз (англ. jazz) как род профессионального синтеза европейской и африканской музыкальной культуры [1, столбцы 232–233] или «жанр, форма современной профессиональной музыки» [2, с. 20], зародившийся

в конце XIX — начале XX веков в США. Одна из самых распространенных характеристик джаза, к которому обращается большинство исследователей, принадлежит американскому джазовому историку и теоретику 20-го века М. Стернсу: «Джаз — это результат слияния в течение трехсот лет на американской почве двух живых музыкальных традиций — европейской и африканской. Несмотря на то что в музыкальном отношении европейские традиции играли здесь доминирующую роль, ритмические особенности, сделавшие джаз столь характерной, необычной и легко узнаваемой музыкой, несомненно, имеют африканское происхождение, поэтому основными компонентами этой музыки являются европейская гармония, евро-африканская мелодика и африканский ритм [3, 13]. Это популярная, наиболее полная и точная характеристика джаза.

История джазового ансамбля начинается в Новом Орлеане (США), когда три музыканта – трубач, кларнетист и тромбонист – импровизировали на основе одной и той же мелодии под аккомпанемент баса и ударных инструментов. Спустя годы джазовый ансамбль переехал в Чикаго, где расширился стилистически, тематически и ритмически. За короткий период он распространился по всем Соединённым Штатам и достиг Европы.

В 1922 году 1 октября состоялся первый концерт советского джаза в Большом зале Московского ГИТИСа. Выступал джаз-банд Валерия Парнаха. Это была не столько музыка, сколько зрелищное мероприятие, рассчитанное на массового зрителя и включающее пантомиму, театральные и цирковые номера. В годы НЭПа при некоторой свободе частного предпринимательства удачно названный Мейерхольдом «Оркестр-переполох» соответствовал настроениям масс. Мейерхольд использовал его в своем театре. Важно отметить, что джаз В. Парнаха основывался только на нотах, привезенных из Франции. Джаз, которому в какой-то мере можно приписать определение «советский», был создан

Л. Утесовым в Ленинграде в 1929 году, и в программу его «Теа-джаза» входили импровизации, построенные на национальных мелодиях народов СССР. Согласно П. Л. Овчинникову и М. Л. Зайцевой, «в 1936 г. Комитет по делам искусств при Совнаркоме СССР принял резолюцию об организации джазовых оркестров во всех советских республиках, что способствовало стремительному расширению географии советского джаза и ускорению процесса его институализации в искусстве. Одними из первых новых республиканских коллективов стали армянские и азербайджанские джазовые оркестры» [4, с. 27]. В какие-то периоды отношение к джазу было отрицательным, но молодежные фестивали 1960-х годов позволили пересмотреть эту точку зрения. Допущено джазовое образование, в 1990 году открыта «Академия джаза».

История джазового ансамбля в Армении начинается в конце 1930-х годов. В 1938 году был создан первый джазовый оркестр, художественным руководителем которого стал Артемий Айвазян, а главным дирижёром – Цолак Вардазарян. В 1950-х годах большую известность получили джазовые ансамбли Мартина Вардазаряна и Левона Малхасяна, а в 1970-х — Давида Азаряна, Армена Тер-Тадевосяна, Микаэла Закаряна, Эдуарда Бахчяна и Арташеса Карталяна. В 1997 году в Ереванской государственной консерватории имени Комитаса открылась кафедра джазово-эстрадной музыки, основанная композитором, дирижёром и профессором Ервандом Ерзнкяном. Джазовый ансамбль и ансамблевое искусство заняли важное место на инструментальном и вокальном отделениях кафедры джазово-эстрадной музыки консерватории.

Ансамбль (от фр. ensemble — единство, множество) — это небольшой коллектив исполнителей. В музыкальном ансамбле, будь то дуэт, трио, квартет или другой вид ансамбля, творческие задачи музыканта отличаются от задач солиста. Ансамбль предполагает формирование и развитие специальных знаний и навыков, в частности, ансамблевых исполнительских качеств. Одним из них является навык,

который советский музыкант, преподаватель, профессор, композитор А. Готлиб назвал «концентрацией ансамблевого слуха» [5, 18]. Обычно пианист-солист привык слушать только себя, но законы ансамбля обязывают пианиста вслушиваться в партии всех инструментов, следить за развитием всей музыкальной композиции, за звуковым балансом, за ритмическим рисунком. Таким образом, пианист вынужден отказаться от концентрации на себе, свойственной солисту, поскольку звучание инструмента должно играть конструктивную роль в ансамблевой композиции. Даже если основная тема музыкального произведения отдана фортепиано, она должна гармонично сливаться с партиями всех инструментов. Любой музыкант в ансамбле исполняет одновременно две «роли»: солиста и аккомпаниатора. Если музыкант-солист должен в совершенстве владеть инструментом, то в ансамблевой музыке одного лишь блестящего владения инструментом недостаточно.

При исполнении джазовых ансамблевых композиций следует уделять внимание, как основной теме, так и аккомпанементу. Поэтому у каждого музыканта в ансамбле есть свой исполнительский подход, в результате чего музыкальное содержание может периодически меняться. Контраст «ролей» требует от музыкантов ансамбля не только исполнительского мастерства, но умения переключаться с одной «роли» на другую. Это довольно сложный, профессиональный процесс, а достижение «консенсуса» в рамках урока или на сцене требует длительной работы под руководством блестящих специалистов. Работа с ансамблем подразумевает как профессиональное, так и человеческое взаимодействие. Ярким примером джазового ансамбля является дуэт голоса и фортепиано.

Естественно, тембровая разница фортепиано и человеческого голоса создаёт трудности в балансировке звука исполнения произведения. От исполнителей требуются технические навыки, развитый музыкальный слух, контроль тембра голоса и согласование с инструментальной партией.

Контроль эмоций не менее важен для интерпретации произведения. Для достижения звукового равновесия фортепиано не обязательно должно звучать p, pp (тихо, низко, приглушенно). Пианист должен владеть инструментом настолько, чтобы помочь солисту раскрыть идею произведения. При появлении в музыкальном произведении динамических определений, например, f, p, музыканты ансамбля одновременно повышают или понижают громкость звука в соответствии с авторской партитурой. В джазово-вокальном ансамбле (как и во всех ансамблях) важную роль играет взаимодействие между исполнителями. Разные музыкальные менталитеты, технические способности, тембры голоса, особенности гармонического и мелодического слуха, чувство ритма могут создавать определённые исполнительские трудности как в процессе обучения, так и при подготовке концертной программы.

Помимо развития слуха, на вокальном отделении в ансамбле необходима чистота звукоизвлечения, точность музыкальной интерпретации и гармоническое мышление. Но, упоминая гармоническое мышление, следует учитывать, что «джаз – явление настолько многоликое, что представить развитие его гармонического языка от возникновения до настоящего времени – довольно сложная задача. Однако, если отбросить все второстепенное и сосредоточить внимание на определяющих моментах этого развития, безусловно можно говорить об основном направлении в гармонической эволюции джаза, о движении, от элементарного к более сложному» [6, 96]. Рационально начинать урок с вокальных упражнений, которые будут строиться на гармонических структурах, составленных из трезвучий и обращений диатонических интервалов. Такие упражнения развивают гармонический слух студентов. Гармонический слух – это вид музыкального слуха, при котором музыкант способен гармонизировать любую мелодию с консонансными и диссонансными интервалами. Студент должен уметь правильно определять тональность, переключаться с мажора на минор и, наоборот, в соответствии с партитурой, а также переносить

(транспонировать) материал из основной тональности в другую. Это первые требования, необходимые для изучения предмета вокально-джазового ансамбля.

Со студентами младших курсов можно регулярно использовать гармонические фразы, которые построены на I-IV-V ступенях базовой тональности (T-S-D). Это гармоническое преобразование, благодаря своей простоте, помогает студентам понять структуру аккорда, переходить из одной тональности в другую, оно также подходит для транспорта из мажора в минор и наоборот. В программах третьего года обучения могут быть добавлены голосовые упражнения, основанные на других звуковых преобразованиях: I-VI-V-I, I-VII-III-I и т.д., также с использованием септаккордов, обогащающих гармоническую структуру. Цепочки, созданные из этих септаккордов, могут бесконечно трансформироваться, например, I-III-V-VII, I-II- V-I, I-VI-II-V и т.д. Преподаватель выбирает цепочку звуковых преобразований, подходящую для конкретной группы студентов. Упражнения выполняются следующим образом: группа студентов традиционно делится на сопрано, альт, тенор, баритон, которые озвучивают выбранный аккорд. Участники ансамбля работают над звукоизвлечением, обращая внимание на интонационную чистоту, гармонию, интервалы и распределение звука.

Чистое звукоизвлечение связано не только с хорошим слухом студента и технической подготовкой голосового аппарата (гортани, голосовых связок, языка), но и с правильным восприятием музыкального произведения, в данном случае – джазового стандарта. То есть, для знакомства с музыкальным произведением необходимо обращать внимание на его тональный план, отклонения и модуляции, изучая логику их периодического повторения.

После освоения воспроизведения фраз, построенных на основе трезвучий, в ходе занятия преподаватель предлагает студентам придумать тематические фразы, состоящие из соответствующих цепочек.

Создание фраз, составленных из мелодий, – интересный творческий процесс, побуждающий будущих музыкантов находить и предлагать неожиданные музыкальные решения, что способствует развитию навыков импровизации и музыкальной памяти. Похожие упражнения полезны на уроках джазовых инструментальных ансамблей. Для развития импровизационных навыков, помимо джазовых стандартов, можно использовать темы из произведений классической музыки: Баха, Моцарта, Бетховена, Вивальди и других композиторов. Это тренирует гармонический слух, общую музыкальную культуру и музыкальную память, в очередной раз погружает в классическую музыку, а также позволяет представить разницу и взаимосвязь музыкальных стилей.

В ансамблевой музыке мы также встречаем параллельное движение гармонических оборотов, восходящее или нисходящее, которое, будучи характерным для джазовой музыки, изначально связано с африканскими музыкальными традициями. Подобные параллели требуют точного интонационного звукоизвлечения. Параллельное (постепенное) движение гармонии — одна из характерных черт джазовой музыки, так называемой линейной полифонии, один из приемов которой — это движение аккордов одинаковой структуры вверх или вниз. «Параллели можно обнаружить не только в нотной записи, но и в самом звучании музыки. Параллелизм и звучание достигается, например, когда мужской и женский голоса исполняют одну и ту же мелодию. Более высокий, тонкий, яркий женский голос как бы прокладывает ”путь”, а более низкий, густой мужской голос вторит ему на восемь ступеней звукоряда ниже, образуя параллель со сдвигом на октаву» [7, 40].

Сплетенная из синкоп, джазовая музыка с качающимися звуковыми долями и акцентами заставляет музыканта быстро ориентироваться, точно передавать ритмический образ произведения, мгновенно улавливать изменения темпа, стилистические различия. Фразовое дыхание должно быть одновременным (синхронным), чтобы не мешать, а, наоборот, способствовать гармоничному развитию всех частей

музыкального произведения, раскрывая его идею. Одной из проблем курса джазового вокального ансамбля является умеренное использование громкости голоса студентов, «экономии» и ритмических акцентов. «Важным вопросом для ученика является умение управлять дыханием, что ведёт к умению управления звукоизвлечением. Одна из задач курса джазового вокального ансамбля — точное выражение ритмических акцентов произведения. В том случае, если преподаватель делает акцент на правильной постановке дыхания, у ученика в дальнейшем будет правильная постановка голосового аппарата и красивый голос. Необходимо уметь находить правильную координацию голосового аппарата и гортани. Не следует стремиться к тому, чтобы певец полностью подчинял своё дыхание себе. Всегда следует помнить, что в дыхании есть особый механизм, действующий независимо от нашей воли, механически» [8, 40].

Преподаватели дисциплины «джазовый вокальный ансамбль», хорошо владея структурой произведения, легко передают студентам принципы развития музыкального материала. Несмотря на художественную проблематику всякого отдельного произведения, у каждого преподавателя есть свои уникальные методы. Методика преподавания джазового ансамбля хорового дирижера, (хормейстера) дирижера оркестра и инструменталиста явно различается. Например, хормейстер, проводя профессиональные параллели между джазовым вокальным ансамблем и хором, использует характерные для хора приемы управления. Дирижеры оркестра, сопоставляя голоса ансамбля с музыкальными инструментами, работают с ансамблем по принципам дирижирования оркестром. Однако эти различия делают преподавание предмета в рамках кафедры ещё шире, насыщеннее и интереснее.

Очень важно уделять внимание ритмическим образам произведения. Например, аккомпанируя студенту, преподаватель подчёркивает сильные и слабые доли основных аккордов, акценты,

помогая студентам одновременно чётко следовать музыкальной линии. Как отмечает Гаккель: «Нужно быть крайне осторожным в понятии „ритм“ и, особенно, „ритмическая основа“» [9, 169]. Это джаз, и И. Стравинский говорит о джазе: «На самом деле ритма нет, потому что нет тактов и пауз, так как нет размера или передышек. Вместо ритма есть счет. Исполнители все время отбивают его просто для того, чтобы не отстать и знать свое положение относительно удара» [10, 266–267]. На счете и следует делать акцент. Если возможно, можно использовать различные виды музыкальных ударных инструментов – шейкеры, маракасы, бонго, а при их отсутствии – просто хлопать в ладоши для выражения и комбинирования ритмических образов. Процесс восприятия музыкального материала при этом приобретает неожиданный, непредсказуемый характер и делает общий ход курса гораздо интереснее.

Следует отметить, что чувствительность и эмоциональность занимает чрезвычайно важное место в музыкальной практике. Без эмоционального окраса невозможно получить яркое, художественное полотно, создать красочный «музыкальный спектакль». Студенты постепенно учатся управлять своими эмоциями и контролировать их. Задача в процессе обучения требует особого внимания, психологического подхода и педагогического мастерства со стороны преподавателя: необходимо научить студентов управлять эмоциями, психологическими триггерами, «повторяющимися ситуациями». Важно интерпретировать различные характеры, присущие музыкальному произведению, в соответствии с замыслом композитора.

Студент, представляя себе различные эмоциональные музыкальные образы, формирует свою собственную эмоциональную палитру. Отсутствие эмоций, как и их преувеличение, может стать серьёзным препятствием во время музыкального исполнения. При обучении ансамблевой музыке следует добиваться эмоциональной синхронизации исполнителей-участников вокального ансамбля. Разный эмоциональный

настрой участников ансамбля мешает созданию единого образа. Музыковеды даже разработали примерную шкалу эмоциональности. Например, русский музыковед, педагог и психолог XX века Валентин Иванович Петрушин пытался разделить эмоциональные образы в музыке в следующем порядке:

1. Медленный темп + минорная окраска звучания в обобщенном виде моделируют эмоцию печали и передают настроения грусти, уныния, скорби, сожаления об ушедшем прекрасном прошлом.

2. Медленный темп + мажорная тональность имитируют эмоциональные состояния покоя, умиротворения и удовлетворения. В этом случае характер музыкального произведения будет уравновешенным и миролюбивым.

3. Быстрый темп + минорная тональность имитируют эмоцию гнева в обобщенном виде. Характер музыки в этом случае будет напряженным, драматичным, возбужденным, страстным, героическим.

4. Быстрый темп + мажорная тональность имитируют эмоцию радости. Характер музыки оптимистичный, радостный, жизнерадостный [11, 142].

В процессе ансамблевого обучения, знакомя студентов с различными стилями джазового искусства (классический джаз, блюз, свинг, бип-боп, соул, фанк), преподаватель развивает джазовое мышление будущих музыкантов, предлагает создать сценический стиль, соответствующий произведению, а также подготовить концертный репертуар.

Правильный подбор экзаменационных и концертных программ чрезвычайно важен для ансамблевого обучения. Для сложившихся ансамблевых коллективов можно выбрать блестящие образцы всемирно известной классической джазовой музыки, таких как произведения Джорджа Гершвина, Луи Армстронга, Чик Кореа, Дэйва Брубека, Стиви Уандера, Эл Джарроу, Куинси Джонса, Бенни Гудмена и других. В качестве обязательной программы для выступлений и экзаменов

джазового вокального ансамбля желательно выбирать отрывки из знаменитых опер и мюзиклов: «Вестсайдская история» Л. Бернстайна, «Чикаго» М. Далласа, «Поющие под дождём» Натцио Херба Брауна, «Порги и Бесс» Дж. Гершвина, «Джаз в городе Джон Кендер» Роя Шайдера, а также джазовые стандарты из так называемой «Real Book», в которой записывается мелодия и номера аккордов (так называемые «цифровки»).

Возможно, идея произведения понятна студенту, но интерпретация музыкального материала совершенно не соответствует джазовому стилю. Из-за этого исполнение теряет динамику. Ориентироваться можно, обращая внимание на синкопы, а также на особенности, присущие языку свинга, характерному для джаза. Также можно использовать свинговые и скейтовые (слоговые) упражнения, что будет способствовать стилистической точности интерпретации джазовой музыки.

Перед исполнением ансамблевого джазового произведения в классе преподаватель должен изучить его, объяснив различия между мелодией и параллельными голосами, обратив внимание на гармонические цепочки: правильное распределение голосов обеспечивает гармоничное звучание произведения. Преподаватели кафедры джазовой и эстрадной музыки консерватории подбирают и разрабатывают программы джазового ансамбля, опираясь также на творчество выдающихся композиторов, внесших большой вклад в армянскую джазовую музыку: Артемия Айвазяна, Мартина Вардазаряна, Ерванда Ерзнкяна, Мелика Мависакаляна, Роберта Амирханяна, Степана Шакаряна, Арно Бабаджаняна и других. Как отмечает музыковед С. Саргсян: «Концепция сохранения национальной идентичности охватывает многое. С одной стороны, сохранение отдельных культурных ветвей, свободную интерпретацию материала музыкального наследия, использование народных инструментов, жанров, исполнительских традиций и форм, и, наконец, взаимодействие с духовно-творческой культурой прошлого, с многообразием её историко-музыкальных, поэтических и культовых

пластов. С другой стороны, под «сохранением национальной идентичности» можно понимать и активное вмешательство в устоявшиеся представления о национальном, поиск структурных и ментальных внутренних закономерностей, художественной логики» [12, 22].

Включение в программы образцов этнической, фольклорной музыки с присущим ей неповторимым музыкальным языком и ритмическим разнообразием способствует расширению музыкального мышления студентов, развитию их исполнительских возможностей. На ансамблевых занятиях очень полезно слушать выступления всемирно известных джазовых музыкантов, фольклорных ансамблей, сравнивать, обсуждать, изучать ритмические образы, обращать внимание на звуковые балансы, принципы развития мелодии. Также полезно прослушивать и сразу же воспроизводить отрывок джазового стандарта, включать в занятия диктанты, которые прекрасно развивают музыкальную память.

Невозможно говорить о методике преподавания ансамблевого предмета на кафедре джазово-популярной музыки, не отметив большой вклад преподавательского состава в воспитание студентов. Каждый преподаватель кафедры джазово-популярной музыки занимается исполнительской деятельностью, что, естественно, влияет на педагогическую методику.

Основываясь на традициях мировой, а также армянской джазовой музыки, преподаватели передают молодым музыкантам свои профессиональные навыки. Курс каждого преподавателя имеет свои особенности и специфику, затрагивающие вопросы интерпретации различных джазовых исполнителей, свинговой и слоговой техники (профессор, композитор, пианист Мартин Вардазарян), классических и современных блюзовых композиций (профессор, дирижер, художественный руководитель Джаз-эстрадного оркестра Гостелерадио

Армении Ерванд Ерзнкян), принципов формообразующего построения музыкального произведения, выразительности гармонического мышления, грамотной инструментовки, точной передачи текста и интонационной чистоты звукоизвлечения (профессор, композитор, заведующий кафедрой Нарине Зарифян).

Заключение

Таким образом, предмет «Джазовый ансамбль» занимает важное место в учебной программе джаз-эстрадного ансамбля. Он формирует академическое и джазовое мышление, расширяя музыкальный кругозор студентов. В рамках предмета «Ансамбль» студент знакомится со структурой произведений, гармонией, ритмом и тонкостями исполнительского искусства. Этот предмет является своего рода музыкальным сотрудничеством, благодаря которому музыканты учатся «разговаривать» посредством музыки, проявлять профессиональную этику и умение работать в команде. Предмет «Ансамбль» формирует у студентов навыки организации музыкальных репетиций и участия в публичных выступлениях. Джазовый ансамбль – это мост между академическими и джазовыми традициями, что делает профессиональную подготовку музыканта более полной и актуальной.

Список литературы

1. Музыкальная энциклопедия в 6 т. / гл. ред. Ю. В. Келдыш. – Москва : Советская энциклопедия, 1974. – Т. 2 : Гондольера – Корсов. – 960 стб.
2. Шнитке, А. Г. Статьи о музыке / – Москва: Композитор, 2004. – 408 с.
3. Стернс, М. История джаза. – Москва: Омега – 1997. – 288 с.
4. Овчинников, П. Л., Зайцева, М. Л. Московская джазовая школа: история формирования и развития. – Москва: Научный консультант, 2023. – 154 с.

5. Готлиб А. Д. Основы ансамблевой техники. – Москва: Музыка, 1971. – 94 с.

6. Чугунов Ю. Н. Гармония в джазе: учебное пособие – Москва: Советский композитор, 1988. – 152 с.

7. Варга Б. Димень, Ю. Лопариц, Э. Язык. Музыка. Математика / пер. с венг. – Москва: Мир, 1981. – 247 с.

8. Մուրադյան, Ն. Երգիչ-կատարող : Ուսումնական ձեռնարկ – Երևան : Կրթության ազգային ինստիտուտ, 2015. – 200 էջ. Стернс, М. История джаза. – Москва: Омега – 1997 [Мурадян Н. Певец-исполнитель: учебное пособие – Ереван: Национальный институт образования, 2015. – 200 с.]

9. Гаккель Л. Е. Фортепианная музыка XX века: очерки. – Ленинград : Советский композитор, 1976. – 295 с.

10. Стравинский И. Ф., Крафт Р. Диалоги. Воспоминания, размышления, комментарии. Пер. с англ. – Ленинград: Музыка, 1971. – 414 с.

11. Петрушин В. И. Музыкальная психология: учебное пособие – Москва: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 1997. – 384 с.

12. Саркисян С. К. На рубеже веков. Музыка и ее сферы – Москва: ООО ПКЦ Альтекс, 2014. – 256 с.

© Микаелян С.М.

Коллектив авторов:

Богданова Е.А., Бондаренко А.И., Буряков Н.П., Гулай А.В., Гуляев М.Д., Дупляк В.В., Козлов С.С., Корчажкина О.М., Максимова Е.А., Микаелян С.М., Милованова М.В., Морозова О.Н., Полянская И.С., Раскильдина Г.З., Рыбинец А.Г., Саенко О.Н., Салех Х., Соков С.А., Хамви М.Н., Худякова О.Ю., Шамне Н.Л., Шаповалов С.О.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ НАУКА: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Монография
Подписано в печать 02.06.2026.
Тираж 500 экз.
Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 27.03.
МЦНП «НОВАЯ НАУКА»
185002, г. Петрозаводск,
ул. С. Ковалевской, д.16Б, помещ. 35.
office@sciencen.org
www.sciencen.org

16+

ISBN 978-5-00215-476-0