

ISSN 1996-3440

ВЕСТНИК ТОГУ. 2025. № 3 (78)



ТИХООКЕАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ВЕСТНИК
ТОГУ Сентябрь, 2025 **№ 3(78)**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЕСТНИК
ТИХООКЕАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА



DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3>

Научный журнал
Основан в июле 2005 г. Выходит четыре раза в год

№ 3 (78) • Сентябрь • 2025

Редакционная коллегия:

А. В. Левенец, д-р техн. наук (гл. редактор);
В. В. Алексеев, д-р техн. наук;
С. Н. Иванченко, д-р техн. наук;
И. А. Кривошеев, д-р техн. наук;
Е. А. Шеленок, д-р техн. наук;
В. А. Луговой, д-р физ.-мат. наук;
В. И. Римлянд, д-р техн. наук., канд. физ.-мат. наук;
Чье Ен Ун, д-р техн. наук;
С. В. Шалобанов, д-р техн. наук;
Цинь Хуну, канд. техн. наук;
С. В. Сай, д-р техн. наук;
В. В. Воронин, д-р техн. наук;
Е. А. Жуков, д-р физ.-мат. наук;
А. Е. Зубарев, д-р экон. наук;
И. В. Брянцева, д-р экон. наук;
О. Г. Иванченко, д-р экон. наук;
А. Е. Карлик, д-р экон. наук;
В. Г. Ларионов, д-р экон. наук;
Гасанов Эйваз Али оглы, д-р экон. наук;
В. С. Лосев, д-р экон. наук;
Го Шухун, канд. экон. наук

Редакция журнала

А. В. Левенец –
главный редактор

Е. П. Плетников –
технический директор

Т. А. Кулешова –
корректор английского текста

Т. Ю. Горелова –
технический редактор

Журнал издается с 2005 г.

С апреля 2008 г. журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство ПИ № ФС 77-43112 от 20 декабря 2010 г.
Учредитель Тихоокеанский государственный университет

© ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», 2025

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER
EDUCATION



BULLETIN

OF PACIFIC
NATIONAL UNIVERSITY

Scientific Journal

Founded in July, 2005 Published four times a year

№ 3 (78) • September • 2025

Editorial Board:

A. V. Levenets, Dr. of Engineering (editor-in-chief);
V. V. Alekseev, Dr. of Engineering;
S. N. Ivanchenko, Dr. of Engineering;
I. A. Krivosheev, Dr. of Engineering;
E. A. Shelenok, Dr. of Engineering;
V. A. Lugovoy, Dr. of Physics and Mathematics;
V. I. Rimlyand, Dr. of Engineering, Ph. D. of Physics and Mathematics;
Chie En Un, Dr. of Engineering;
S. V. Shalobanov, Dr. of Engineering;
Qin Hongwu, Ph. D. of Engineering;
S. V. Sai, Dr. of Engineering;
V.V. Voronin, Dr. of Engineering;
E. A. Zhukov, Dr. of Physics and Mathematics;
A. E. Zubarev, Dr. of Economics;
I. V. Bryantseva, Dr. of Economics;
O. G. Ivanchenko, Dr. of Economics;
A. E. Karlik, Dr. of Economics;
V. G. Larionov, Dr. of Economics;
Eivaz Ali ogly Gasanov, Dr. of Economics;
V. S. Losev, Dr. of Economics;
Guo Shuhong, Ph. D. of Economics

The Editors of the
journal

A. V. Levenets –
editor-in-chief

E. P. Pletnikov –
the technical director

T. A. Kuleshova –
*the proof-reader
of English texts*

T. Yu. Gorelova –
the layout editor

The journal is issued since 2005

Since April 2008 the journal has been included in a list of leading reviewed scientific journals and editions, where the main research results of dissertations to pursue the academic degree of Doctor of Science and Candidate of Science should be published.

The journal is registered by Federal Service on supervision in sphere of information technologies and mass communications and protection of cultural heritage.

The Certificate PI № FS 77-43112 of December 20, 2010.
The founder is Pacific National University

© FSBEI HE “Pacific National University”, 2025

Вестник

ТИХООКЕАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

СОДЕРЖАНИЕ

Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

Вайнер Б. Г. Современное матричное тепловидение высокого разрешения в научных исследованиях 7

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Харченко Е. А. Функция расстояния для морфологического метода прогнозирования технико-экономических показателей перспективных образцов техники 17

Цинь Хуну, Цай Мин, Не Линьлинь, Лю Сяоли, Чье Ен Ун, Воронин В. В. Алгоритм классификации зрительных сигналов вызванных потенциалов в стабильном состоянии на основе CFSC-FBCCA 33

Сай С. В., Митасов Д. О. Методы оптимизации алгоритма поиска множества шаблонов в данных 47

Богачев И. В., Подтергера А. А., Мацибурский Н. В. Разработка системы передачи измерительных данных с адаптивным выбором циклического помехозащищенного кода 55

Левенец А. В., Пожидаев Д. А. Влияние способа кодирования данных на эффективность работы программ-архиваторов 65

Никифорова Л. В., Самохвалова С. Г. Синтез алгоритмов децентрализованного управления объектами с запаздываниями нейтрального типа и по управлению	73
---	----

Экономика и менеджмент

Зубарев А. Е., Гасанов Э. А., Гасанов М. А., Спицын В. В. Стратегическое поведение малых технологических компаний в координатах «Индустрии 4.0» и достижения технологического лидерства	87
Степченкова О. С. Разработка экосистемной основы экономической безопасности промышленности	97
Гу Эркин Исследования по углублению сотрудничества в области гуманитарного образования как способа повышения экономической эффективности проекта «Один пояс и один путь» ..	105
Трапезникова Е. М. Взаимодействие университетов и регионов: теоретический аспект	113
Степанова Е. Н. Использование методов инновационного менеджмента в международном бизнесе	123
Сяфар Мухаммад, Калашникова И. В. Внедрение ESG-повестки в деятельность компаний	131
Мизова Э. М. Привлечение молодых кадров в науку: управленческие практики и системные вызовы	141
Ивашкин М. В. Современные модели сельского туризма в России ...	149
Червова Н. В. Проблемы оценки и контроля качества товаров и услуг на потребительском рынке	157
Шестакова Г. А., Яценко В. В. Реализация механизма комплексной оценки персонала с учетом профессионального и поведенческого аспектов	169

Bulletin

OF PACIFIC NATIONAL UNIVERSITY

CONTENTS

Instrument Engineering, Metrology & Instrumentation Devices and Systems

- Vainer B. G. A Modern Focal Plane Array-Based Infrared High-Resolution Thermography in the Scientific Research 7

System Analysis, Control and Information Processing, Statistics

- Kharchenko E. A. The Distance Function for the Morphological Method of Forecasting the Technical and Economic Indicators of Promising Samples of Equipment 17
- Qin Hongwu, Cai Ming, Nie Linlin, Liu Xiaoli, Chye En Un, V. V. Voronin CFSC-FBCCA Based Steady State Visual Evoked Potentials Signal Classification Algorithm 33
- Sai S. V., Mitasov D. O. Optimization Methods for Searching for Multiple Patterns in Data 47
- Bogachev I. V., Podtergera A. A., Matsibursky N. V. Combined Streaming Compression Algorithm of Measurement Data Frames 55
- Levenets A. V., Pozhidaev D. A. Influence of Data Encoding Method on Archiving Programs Work Efficiency 65

Nikiforova L. V., Samohvalova S. G. Synthesis of Algorithms for the Decentralized Control of Plant with Time Delays of Control and Neutral Type	73
---	----

Economics and Management

Zubarev A. E., Gasanov E.A., Gasanov M.A., Spitsyn V. V. Strategic Behavior of Small Technological Companies in Terms of Industry 4.0 and Techological Leadership	87
Stepchenkova O. S. Development of an Ecosystem Framework for the Economic Security of Industry	97
Gu Erkang Research on Deepening Cooperation in the Field of Humanitarian Education As a Way to Increase the Economic Efficiency of the "One Belt and One Road" Project	105
Trapeznikova E. M. Interaction Between Universities and Regions: Theoretical Aspect	113
Stepanova E. N. The Use of Innovative Management Methods in International Business	123
Syafar Muhammad, Kalashnikova I. V. Implementation of the Esg Agenda in Activities of Companies	131
Mizova E. M. Attracting Young People to Science: Management Practices and System Challenges	141
Ivashkin M.V. Modern Models of Rural Tourism in Russia	149
Chervova N. V. Problems of Assessment and Quality Control of Goods and Services in the Consumer Market	157
Shestakova G. A., Yatsenko V. V. Implementation of a Comprehensive Personnel Assessment Mechanism Subject to Professional and Behavioral Aspects	169



УДК 53.082.52:53.083.94:544.723.212
DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-7-16>

Б. Г. Вайнер

СОВРЕМЕННОЕ МАТРИЧНОЕ ТЕПЛОВИДЕНИЕ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Вайнер Б. Г. – д-р физ.-мат. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник ИФП СО РАН, профессор СУНЦ НГУ, г. Новосибирск, e-mail: boris-stmt@yandex.ru

В настоящей обзорной статье современный уровень развития матричного тепловидения представлен на примерах использования этого экспериментального метода в, казалось бы, разнотипных, но, как можно увидеть, связанных друг с другом приложениях – относящихся к химической физике и к физиологии млекопитающих. Впервые прецизионный метод сорбционно-усиленной инфракрасной (ИК) термографии (Sorption-Enhanced Infrared Thermography – SEIRT) использовался для наблюдения кардиогенных осцилляций легочного дыхания у животных. Наглядно продемонстрировано, что современное тепловидение, построенное на использовании матричных ИК детекторов высокого температурного и временного разрешения, является уникальным по информативности инструментом научных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: тепловидение, инфракрасная (ИК) термография, высокоинформативный инструмент исследования, адсорбция, десорбция, метод сорбционно усиленной ИК термографии, низкотемпературный катализ, динамика дыхания млекопитающих, кардиогенные осцилляции дыхания

Введение

Слово “тепловизор” стало в современном мире уже привычным понятием. Такими оптическими приборами оснащают легковые автомобили, пополняют аксессуары для охоты (в дополнение к приборам ночного видения), применяют в строительстве для обнаружения утечек тепла из зданий, с середины 50-х годов 20 века [1, 2] применяют в медицинской диагностике и т. д. Тепловизионными изображениями стали “оживлять” кинематограф и разнообразные шоу. Из всего этого можно сделать ошибочный вывод, что рассматриваемая техно-

© Вайнер Б. Г., 2025

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, тема № FWGW-2025-0014

логия годится лишь для сугубо практических применений и достижения очевидной цели – визуализировать то, что, вопреки долгой эволюции, глаз человека так и остался неспособным воспринимать – тепловое электромагнитное излучение низкой интенсивности, испускаемое телами.

Тепловидение в настоящее время переживает этап своего третьего поколения. По поколениям этот метод условно делят в соответствии с форматом используемых здесь фотоприемников. Тепловизионные ИК детекторы ранней эпохи были построены на базе одноэлементных и линейчатых фоточувствительных структур, что требовало иметь в составе тепловизионной системы специальное механическое устройство, осуществляющее сканирование изображения. Сканер обеспечивал возможность получения двумерной тепловой картины интересующего объекта, сфокусированного в фокальную плоскость тепловизионной камеры. Из-за низкого быстродействия характерным для тепловизоров того времени было получение лишь одиночных температурных портретов и их ограниченных групп с дальнейшим интеллектуальным анализом результатов измерения на уровне субъективных рассуждений и оценок.

Благодаря быстрому развитию полупроводниковой технологии в 90-х годах прошлого столетия исследователям стали доступны матричные тепловизионные системы, которые принято относить к новейшему, третьему, поколению рассматриваемых оптических систем. Они довольно быстро появились на мировом рынке и сейчас служат основным продуктом, выпускаемым в этой отрасли. Немалую роль здесь, безусловно, сыграло и параллельно развиваемое их компьютерное оснащение.

Наиболее продвинутые матричные тепловизоры с охлаждаемыми полупроводниковыми детекторами ИК излучения сегодня характеризуются температурной чувствительностью на уровне сотых и тысячных долей градуса, быстродействием, достигающим в оконном режиме тысяч кадров в секунду, и форматом матрицы порядка 1000×1000 пикселей. Конечно, приборы с такими рекордными параметрами пока еще остаются весьма дорогостоящими, а потому малодоступными для широкого использования. Поэтому для решения прикладных задач, упоминавшихся в начале настоящего раздела, их практически не применяют.

Но бесспорная польза тепловизионных камер, предоставляющих человеку возможность видеть невидимое, вовсе и не ограничивается вышеприведенными примерами, о чем далеко не всем известно и чему посвящена настоящая статья. Как продемонстрировано ниже, тепловизионный метод, называемый также методом инфракрасной (ИК) термографии, способен успешно служить в качестве высокоинформативного инструмента научных исследований и эффективно использоваться для изучения разнообразных физико-химических и биологических процессов, протекающих в живой и неживой природе. Причем информацию, извлекаемую с применением этого уникального экспериментального подхода, практически невозможно получить никакими другими измерительными средствами в силу самого физического принципа, заложенного в тепловизионную технологию.



Тепловидение в физико-химических исследованиях

Углубленное изучение адсорбционно-десорбционных и каталитических процессов с привлечением нестандартных скоростных высокочувствительных и высокоинформативных экспериментальных методов и подходов не теряет своей актуальности в силу высокой значимости таких исследований для многочисленных научно-технических приложений. Доступность матричных тепловизоров для проведения разнообразных научных исследований [3], облегчило, в том числе, экспериментальное изучение экзотермических и эндотермических процессов, протекающих на поверхности твердых тел [4-6].

Физическая идея, лежащая в основе привлечения ИК термографии в эту область, состоит в том, что при адсорбции (десорбции) инородных молекул на границе твердого тела, а также при протекании ряда поверхностных химических реакций, происходит выделение или поглощение теплоты, и этот процесс может быть зарегистрирован современным тепловизором. В частности, значительная удельная теплота фазового перехода на уровне 2.3 кДж/г при конденсации/испарении воды способна привести к существенным изменениям температуры адсорбента.

Выигрышная сторона тепловизионного контроля здесь состоит, в частности, в следующем:

1. Достаточное для регистрации теплового эффекта количество (масса) адсорбента, как правило, на несколько порядков меньше, чем обычно требуется для классических физико-химических методов анализа.

2. Появляется возможность наблюдать и количественно оценивать не только интегральный тепловой эффект (как, скажем, при записи изотерм адсорбции), но и быструю (на уровне сотых долей секунды) кинетику тепловыделения и/или поглощения теплоты [6].

Молекулы газов-адсорбатов разной природы, получившие доступ к поверхности твердых материалов варьируемых в эксперименте химического состава и структуры, вызывают разный по интенсивности и кинетическим характеристикам тепловой эффект. Качественный и количественный анализ динамики этих проявлений способен помочь лучше разобраться в изучаемом процессе на уровне межмолекулярного взаимодействия.

В качестве наиболее производительной измерительной тепловизионной технологии в отношении скорости контроля и распознавания новых эффектов следует отметить эксперименты с, так называемыми, библиотеками образцов. Образцы, разные по физико-химическим свойствам, помещают в многочисленные ячейки (кюветы) и применяют к ним одно и то же воздействие (к примеру, взаимодействие с газом-реагентом). Используя свойство обзорности тепловизионной камеры, процессы, протекающие в каждом образце индивидуально, можно при этом синхронно сравнивать друг с другом в одних и тех же экспериментальных условиях в реальном масштабе времени [6, 7]. Подобные библиотеки могут содержать от единиц и десятков до нескольких тысяч образцов, подвергнутых тепловизионному скринингу.

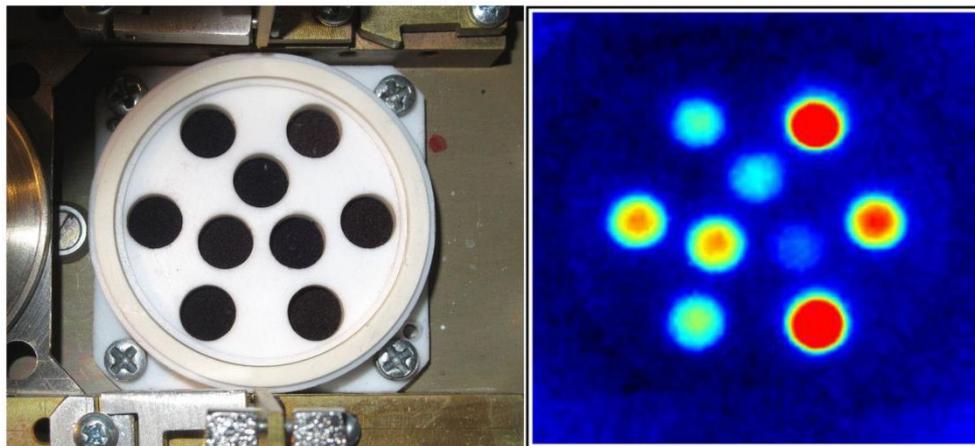


Рис. 1. Слева – установленная в реактор библиотека из 9 образцов, представляющих собой гранулы γ - Al_2O_3 с нанесенными на их поверхность наночастицами Au одинакового среднего размера для каждой ячейки. Справа – термограмма этой библиотеки (“каталитический калейдоскоп”) после напуска в реактор газовой смеси $\text{CO} + \text{O}_2 + \text{N}_2$. Синие оттенки на изображении соответствуют низкой температуре системы, красные – высокой. Эксперимент проведен при комнатной температуре системы. Эта и следующие термограммы получены с использованием тепловизора ТКВр-ИФП/СВИТ, оснащенного охлаждаемым матричным детектором ИК излучения, изготовленным на основе арсенида индия [11]

В физико-химических исследованиях мы успешно применяли матричное тепловидение для изучения разнообразных гетерогенных систем “газ – твердое тело”. Были визуализированы и количественно представлены процессы адсорбции и десорбции молекул водяного пара на развитой поверхности промышленных тканей [3], изучено взаимодействие молекул воды с тонкими пленками пористого кремния [8] и другими материалами [9]. Также обсуждаемый подход был применен к исследованию тепловых процессов, протекающих в низкотемпературных каталитических реакциях окисления CO до CO_2 на наночастицах золота [6, 10].

На рис. 1 изображена библиотека из 9 образцов, помещенная в лабораторный реактор. Каждый образец представляет собой мелкие (доли миллиметра) гранулы γ - Al_2O_3 с нанесенными на поверхность наночастицами Au. Технология их изготовления описана в [12]. Такие структуры служат эффективным катализатором для низкотемпературного окисления CO до CO_2 [13].

Из литературы известно [13, 14], что а) чем выше температура прокалики (отжига) подобных структур (несколько сотен градусов), тем наночастицы металла получаются крупнее (эффект спекания), и б) чем размеры наночастиц меньше (единицы нанометров), тем структуры обладают большей каталитической активностью, сопровождаемой, в свою очередь, более высокой теплопродукцией в рассматриваемом экзотермическом процессе.

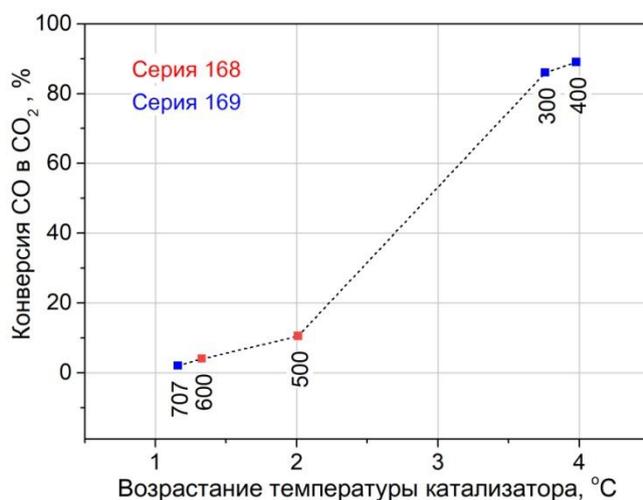


Рис. 2. График соответствия температуры образцов (γ -Al₂O₃+Au), измеренной тепловизором, и стандартно измеренного уровня их каталитической активности после напуска в реактор газа (CO+O₂+N₂). Под экспериментальными точками указана температура (°C) прокалики соответствующих образцов, взятых из двух разных серий

Последний факт подтверждается графиком, изображенным на рис. 2, наглядно демонстрирующим, что тепловизионные измерения адекватно отражают особенности протекания данной каталитической реакции окисления. Адекватность подтверждается сравнением с результатами измерения каталитической активности, полученными при помощи газоанализатора ПЭМ-2М, считающегося золотым стандартом для таких измерений.

Как подробно представлено в [6], современное тепловидение обладает высоким потенциалом в отношении информативности применительно к изучению каталитических реакций. Следует отметить, что подобные исследования соответствуют решению одной из наиболее актуальных задач физической химии – поиску и разработке катализаторов с наибольшей рабочей эффективностью [15, 16].

Биомедицинские приложения современной ИК термографии

Несмотря на то, что медицина впервые близко познакомилась с ИК термографией почти 70 лет назад [1, 2], нельзя, к сожалению, утверждать, что за истекший длительный период уровень знаний и практических навыков в этом диагностическом направлении существенно продвинулся [17]. До сих пор тепловизионные обследования проводят в мире на весьма упрощенном уровне, практически не пользуясь беспрецедентными техническими возможностями современных матричных тепловизионных систем. Проведение же глубоких биомедицинских исследований, где основной акцент делается на получении тепловизионных результатов – еще более редкое событие.

В качестве основной причины недооценивания широких возможностей

тепловидения для изучения биофизических свойств живых систем можно назвать сложность интерпретации температурного отклика в ответ на разнообразные провоцирующие интервентные воздействия, оказываемые на организм. В диагностической процедуре такие воздействия, по нашему убеждению, непременно должны содержаться в протоколе (рецепте) обследования, выполняющая роль триггера, порождающего ответные информационные диагностически значимые сигналы [18]. Развиваемый нами подход – интервентная тепловизионная диагностика – всегда сопровождается записью непрерывных “термофильмов” с частотой сохранения термограмм порядка 100 кадров в секунду (то есть в реальном масштабе времени). В режиме интервентных воздействий на испытуемых (организм человека или животных) было получено немало интересных научных результатов [19, 20].

Нами было впервые предложено (и успешно применено при исследовании разнообразных млекопитающих, включая человека) применить скоростную тепловизионную камеру для измерения динамики легочного дыхания, воспользовавшись сильным температурным эффектом, вызванным сорбцией воды на поверхности твердых гидрофильных материалов [21, 22]. О последнем подробно говорилось в предыдущем разделе настоящей статьи.

Биофизическая идея разработанного здесь прецизионного метода [22] заключается в том, что влага, содержащаяся в выдыхаемом воздухе, способна интенсивно адсорбироваться (конденсироваться) на “холодных” предметах, расположенных рядом с внешними дыхательными отверстиями, что сопровождается выделением значительного количества теплоты. В качестве такого предмета, в частности, может выступать обычный медицинский бинт. На вдохе, в свою очередь, осевшие в фазе выдоха молекулы воды десорбируются, что приводит к охлаждению адсорбента. Регистрируемая тепловизором сильная (несколько градусов) вариация температуры сорбционного индикатора (бинта) позволяет при этом наблюдать и количественно анализировать тонкие нюансы дыхательного процесса, поскольку температурная чувствительность современных матричных тепловизоров составляет сотые доли градуса. В англоязычном варианте описанный метод сорбционно усиленной ИК термографии был нами назван Sorption-Enhanced Infrared Thermography, или SEIRT. На рис. 3 показано, как выглядят тепловизионные изображения дыхания человека в фазах вдоха и выдоха при использовании метода SEIRT.

Помимо многих других интересных в научном отношении респираторных эффектов (см. [20, 23]) мы впервые при поддержке SEIRT зарегистрировали и представили в количественной форме такое немаловажное для биологии млекопитающих явление, как кардиогенные осцилляции легочного дыхания. У человека следы сердца на респираторном профиле были продемонстрированы в [23]. Аналогичные осцилляции, выявленные у лабораторной минисвиньи, изображены на рис. 4.

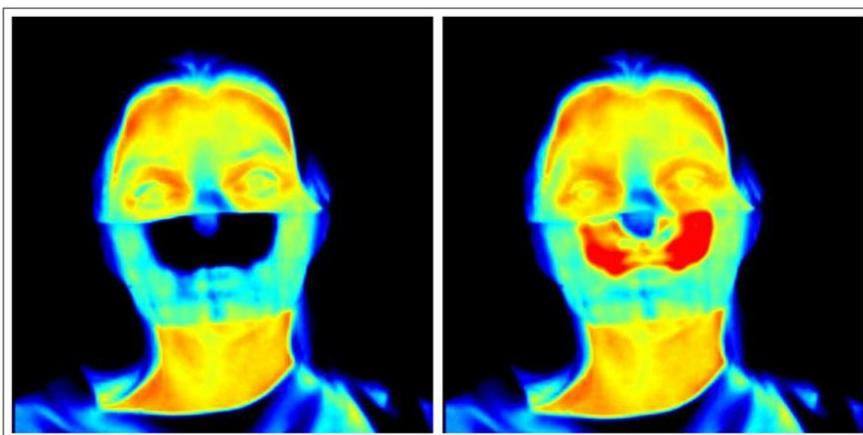


Рис. 3. Тепловизионные термограммы лица человека, совершающего вдох (слева) и выдох (справа) в присутствии сорбционного индикатора (медицинский бинт), расположенного перед внешними дыхательными отверстиями

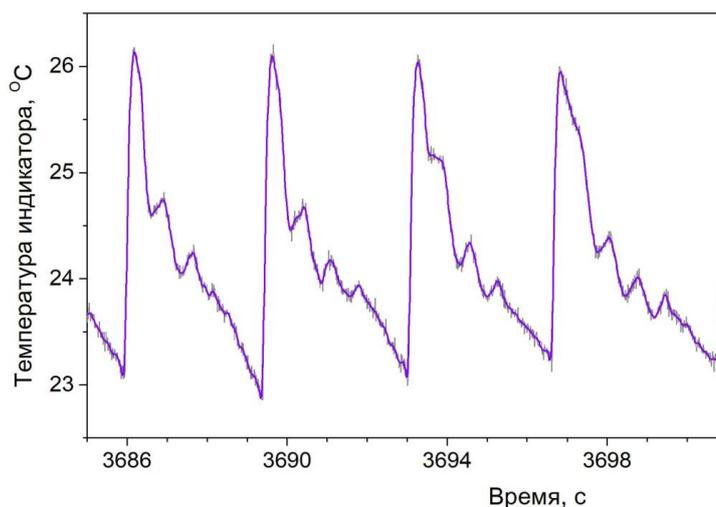


Рис. 4. Проявление кардиогенных осцилляций дыхания на регулярном респираторном профиле у минисвиньи. Увеличение температуры соответствует фазе выдоха (выделение теплоты адсорбции при попадании влажного воздуха из легких на сорбционный индикатор – кусочек ваты), понижение – фазе вдоха (испарение влаги)

Академический интерес к изучению кардиогенных осцилляций дыхания обусловлен, в частности, тем, что, несмотря на десятки лет наблюдений (с применением преимущественно инвазивных методов исследования), внутренняя механика этого явления до сих пор окончательно не установлена. С учетом неинвазивности тепловизионного подхода, а также нечувствительности и невос-

приимчивости испытуемого к процедуре измерений, презентабельность и информативность, демонстрируемая графиком рис. 4, вселяет вполне оправданную надежду, что с помощью применения тепловизионной технологии данная проблема физиологии человека и животных вскоре сможет существенно продвинуться в сторону разрешения.

Заключение

Тепловидение (ИК термография) нового поколения, построенное на использовании ИК детекторов матричного типа, является мощным инструментом научного исследования объектов живой и неживой природы. Особую значимость этот экспериментальный подход представляет для решения ряда актуальных задач химической физики, физической химии и биомедицины. Разработанный на основе современного тепловидения метод сорбционно усиленной ИК термографии SEIRT позволяет прецизионно контролировать особенности дыхания млекопитающих, включая человека, в том числе неинвазивно исследовать у людей и животных тонкие нюансы респираторной динамики, такие, как кардиогенные осцилляции. ИК термография наделена большими перспективами занять одно из ведущих мест в арсенале высокоэффективных и высокоинформативных измерительных средств для проведения физических исследований в разных сферах человеческой деятельности.

Благодарности

Автор искренне признателен Б. Л. Морозу за приготовление экспериментальных образцов катализатора Al_2O_3+Au , П. А. Пыряеву за измерение каталитической активности на газоанализаторе ПЭМ-2М, Д. С. Сергеевичеву за предоставление лабораторных минисвиней для проведения исследований и за техническую работу с ними.

Библиографические ссылки

1. Lawson R. Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast cancer // Canadian Medical Association Journal. 1956. Vol. 75 (4). P. 309-311.
2. Lawson R. Thermography; a new tool in the investigation of breast lesions // Canadian services medical journal. 1957. Vol. 8 (8). P. 517-524.
3. Vainer B. G. Focal plane array based infrared thermography in fine physical experiment // Journal of physics D: Applied Physics. 2008. Vol. 41. P. 065102.
4. Open cell foam catalysts for CO_2 methanation: Presentation of coating procedures and in situ exothermicity reaction study by infrared thermography / Frey M., Romero T., Roger A.-C., Edouard D. // Catalysis Today. 2016.
5. In situ temperature measurements in microwave-heated gassolid catalytic systems. Detection of hot spots and solid-fluid temperature gradients in the ethylene epoxidation reaction / Ramirez A., Hueso J. L., Mallada R., Santamaria J. // Chemical Engineering Journal. 2017.
6. Vainer B. G. Infrared thermography as a powerful, versatile and elegant research tool in chemistry: Principles and application to catalysis and adsorption // ChemPlusChem. 2020. Vol. 85 (7). P. 1438-1454.



7. Li W., Gracia F. J., Wolf E. E. Selective combinatorial catalysis; challenges and opportunities: the preferential oxidation of carbon monoxide // *Catalysis Today*. 2003. Vol. 81. P. 437-447.

8. Synchronous use of FPA-based infrared thermography and fast ellipsometry for high-sensitive investigation of the adsorption-desorption processes rapidly progressing on solid surfaces / Vainer B. G., Guzev A. A., Mogilnikov K. P., Romanov S. I., Shvets V. A. // Proc. of QIRT 2014 Conference, 7-11 July 2014, Bordeaux, France – Available at QIRT Open Archives. URL: <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2014/QIRT2014.html> (дата обращения: 10.05.2025).

9. Vainer B. G., Volodin A. M., Shepelin A. V. Hydration-induced thermal behavior of crystalline and amorphous dispersed alumina // *Thermochimica Acta*. 2021. Vol. 706. P. 179066.

10. Вайнер Б. Г., Мороз Б. Л. Наночастицы Au разной дисперсности на поверхности Al_2O_3 : тепловизионные исследования каталитической активности в реакции окисления CO // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXVIII междунар. науч.-практ. конф.; под общ. ред. В. М. Панарина. Тула: Инновационные технологии. 2020. С. 119-121.

11. Медицинский тепловизор на основе матричного ФПУ 128×128 для диапазона длин волн 2.8-3.05 мкм / Курьшев Г. Л., Ковчавцев А. П., Вайнер Б. Г., Гузев А. А., Базовкин В. М., Строганов А. С., Субботин И. М., Захаров И. М., Ефимов В. М., Постников К. О., Ли И. И., Валишева Н. А., Панова З. В. // *Автометрия*. 1998. № 4. С. 5-12.

12. Nanodispersed Au/ Al_2O_3 catalysts for low-temperature CO oxidation: Results of research activity at the Boreskov Institute of catalysis / Moroz B. L., Pyrjaev P. A., Zaikovskii V. I., Bukhtiyarov V. I. // *Catalysis Today*. 2009. Vol. 144. P. 292-305.

13. Low-Temperature oxidation of CO over gold supported on TiO_2 , $\alpha-Fe_2O_3$, and Co_3O_4 / Haruta M., Tsubota S., Kobayashi T., Kageyama H., Genet M. J. // *Journal of Catalysis*. 1993. Vol. 144. P. 175-192.

14. Cao A., Lu R., Veser G. Stabilizing metal nanoparticles for heterogeneous catalysis // *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2010. Vol. 12. P. 13499.

15. Loskyll J., Stöwe K., Maier W. F. Infrared thermography as a high-throughput tool in catalysis research // *ACS Combinatorial Science*. 2012. Vol. 14. P. 295-303.

16. Пячин С. А., Круглов М. С. Установка для измерения эффективности фотокатализаторов // *Вестник ТОГУ. Хабаровск*, 2025. № 2 (77). С. 17-22.

17. Vainer B. G. Applications of infrared thermography to medicine / Chapter 3 in *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends* / Allouis C., Carlomagno G. M., Gottschalk K., Grinzato E., Knizkova I., Kunc P., Meola C., Pagliara R., Rinaldi R., Rotolante R. A., Vainer B. G. / Carosena Meola, Editor // Bentham Science Publishers Ltd., Bentham e-Books, 2012. P. 61-84. eISBN: 978-1-60805-143-4.

18. Vainer B. G. Interventional infrared thermal diagnostics in medicine and physiology // Proceedings of QIRT 2012 Conference, 11-14 June 2012, Naples, Italy. URL: <http://qirt.gel.ulaval.ca/dynamique/index.php?idD=60&Lang=0> (дата обращения: 10.05.2025).

19. Vainer B. G., Markel A. L. Systemic vascular response to brachial arteries crossclamping may prognosticate the outcome of remote ischemic preconditioning // *Medical Hypotheses*. 2015. Vol. 84. P. 298-300.



20. Vainer B. G. Radial artery pulse wave velocity: a new characterization technique and the instabilities associated with the respiratory phase and breath-holding // *Physiological Measurement*. 2023. Vol. 44. P. 015004.

21. Vainer B. G. Lasers and infrared thermography: advantageous cooperation // *Applied Optics*, 2016. Vol. 55 (34). P. D95-D100.

22. Vainer B. G. A novel high-resolution method for the respiration rate and breathing waveforms remote monitoring // *Annals of Biomedical Engineering*. 2018. Vol. 46 (7). P. 960-971.

23. Вайнер Б. Г. Современная тепловизионная фотоника // XI Международный семинар по волоконным лазерам : материалы семинара, 19-25 авг. 2024 г., Академгородок, Новосибирск / орг. Комитет : М. П. Федорук [и др.]. Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т автоматки и электротрии [и др.]. Новосибирск, 2024. С. 258-259.

Title: A Modern Focal Plain Array-Based Infrared High-Resolution Thermography in the Scientific Research

Author's affiliations:

Vainer B. G. – Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract: In the article, the current level of the focal plain array (FPA)-based infrared thermography is demonstrated by means of the use of this experimental method in seemingly different, but, as can be seen, interconnected applications – related to chemical physics and mammalian physiology. For the first time, the high-precision method Sorption-Enhanced Infrared Thermography (SEIRT) is applied to observe cardiogenic oscillations of pulmonary respiration in laboratory pigs. It is clearly shown that modern FPA-based infrared thermography is a unique highly informative tool for different experimental research.

Keywords: thermal imaging, infrared (IR) thermography, highly informative tool for scientific research, adsorption, desorption, Sorption-Enhanced Infrared Thermography (SEIRT), low-temperature catalysis, mammalian respiration dynamics, respiratory cardiogenic oscillations



УДК 303.732:519.816

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-17-32>

Е. А. Харченко

ФУНКЦИЯ РАССТОЯНИЯ ДЛЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕХНИКИ

Харченко Е. А. – старший преподаватель кафедры инфокогнитивных технологий, Московский политехнический университет, Москва, e-mail: elenakhaa@yandex.ru

Работа развивает теорию принятия решений в части совершенствования методов обработки и сравнения экспертных оценок. Разнотипность составляющих технико-экономических показателей (ТЭП) привела к необходимости их совместного рассмотрения при обработке результатов опроса экспертов в качественной шкале, т.е. областей однородности комбинаций значений ТЭП (в терминах элементов декартова произведения). При этом оценивалось, в какую область попадает оценка значений ТЭП конкретного эксперта. Поэтому задача определения близости оценок экспертов (т.е. расстояния между ними) эквивалентна задаче оценки близости (расстояния) областей, содержащих эти оценки. Различные варианты обобщения понятия расстояния в математике рассматриваются над элементами векторных пространств. Вектора этих пространств имеют однородные составляющие, природа которых определяется природой поля, над которым определено конкретное векторное пространство. Поскольку совместное рассмотрение составляющих ТЭП осуществляется в качественной шкале, постольку для оценки расстояния между любыми двумя произвольно взятыми оценками экспертов вводится векторное пространство, состоящее из двоичных чисел. В настоящей работе вырабатывается и обосновывается предъявленная в предыдущих работах автора метрика расстояния. Предложенная метрика универсальна и адаптивна для работы с любыми структурированными данными, имеющими в своём составе как качественные, так и количественные показатели. Значения метрики информативны и легко трактуются: расстояние между двумя ответами экспертов равно количеству показателей, по которым ответы экспертов расходятся. Область её применения может быть расширена до решения некоторых задач системного анализа и машинного обучения, в частности многоуровневой кластеризации.

Ключевые слова: инженерное прогнозирование, системный анализ, экспертные оценки, линейное пространство, расстояние Хэмминга

Введение

В прикладной теории систем давно известен факт, что конкретно говорить можно только о том, что возможно измерить [1]. Нечёткость измерений и расчётов позволяют любую точку зрения объяснить экспериментальными методами. При этом в зависимости от природы измеряемой величины применяются различные измерительные шкалы.

Измерительная шкала является множеством символов (конечным или бесконечным) [1-3]. Под измерением параметра объекта (или явления) понимают процесс приписывания данному параметру конкретного элемента шкалы по определённому правилу. Вид применяемой шкалы и правило приписывания выбираются в зависимости от природы конкретного параметра рассматриваемого объекта. Каждая шкала имеет своё правило, в соответствии с которым приписываются её символы. Это обстоятельство делает измерительные шкалы универсальными.

Измерительные шкалы построены таким образом, что каждая последующая шкала обладает всеми свойствами предыдущей и некоторыми дополнительными. В теории систем используются следующие основные типы измерительных шкал [1-3]: номинальные, ранговые, интервалов и отношений. Номинальные и ранговые шкалы являются качественными измерительными шкалами, а шкалы интервалов и отношений – количественными.

В соответствии с [1], параметры (показатели, признаки) объектов разных типов (т.е. измеренных в различных шкалах) можно соразмерить двумя различными способами: 1) приведением признаков с более развитой шкалой измерений к наименее развитой (например, количественных к качественным); 2) измерением влияния одной группы признаков (признаков-факторов) на признаки другой группы (результативные признаки).

Контекстом данной работы являются работы [4-6], в них предложен морфологический метод принятия управленческих решений в условиях неопределённости, в частности – прогнозирования технико-экономических показателей (ТЭП) новой техники. Главными причинами неопределённости при проектировании перспективного образца техники выступает не только его принципиальная новизна, но и принципиальная новизна процесса функционирования промышленности. Для решения задачи выбора в условиях нехватки информации неизбежно используются экспертные оценки ТЭП.

Приведение признаков с более развитой шкалой измерений к менее развитой может быть осуществлено различными способами. Для обеспечения возможности принятия решения при прогнозировании ТЭП в случае наличия несогласованности ответов экспертов (т.е. при многовершинности статистических плотностей распределения параметров) удобно использовать гистограммы распределения значений параметров [4-6]. Тогда область значений количественного параметра разбивается на градации, каждой из которых соответствует своя вершина гистограммы (т.е. свой интервал однородных оценок



данного параметра). Границами интервалов однородных оценок параметра являются точки минимума рассматриваемой гистограммы.

Второй способ соизмерения разнотипных параметров базируется на совместном использовании методов регрессионного анализа, многомерной классификации, дисперсионного и факторного анализа и других методов статистики. Размерность задачи прогнозирования значений ТЭП и неточность исходной информации не позволяют эффективно применить указанные методы.

Совокупность значений ТЭП образца техники аналогична понятию вектора, рассматриваемому в линейной алгебре [4-6]. Но в отличие от вектора, имеющего однотипные составляющие, совокупность ТЭП чаще всего имеет разнотипные составляющие (качественные и количественные). Чтобы воспользоваться хорошо отработанными методами линейной алгебры для измерения близости или удалённости друг от друга двух произвольно взятых комбинаций значений ТЭП (т.е. для измерения расстояния между ними), необходимо эти комбинации привести к виду, в котором все их составляющие будут однотипны. Этим в работе и обусловлен выбор первого способа сравнения параметров.

Измерение расстояний в линейных пространствах

Обзорно опишем разработанные и принятые в линейной алгебре методы измерений расстояний.

Первоначально, по естественным причинам, рассматривалось только обычное трёхмерное пространство \mathbb{R}^3 , каждая из осей которого являлась осью вещественных чисел \mathbb{R} . Расстояние в нём определялось и измерялось на основании теоремы Пифагора:

$$l(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2},$$

где \mathbf{x} и \mathbf{y} – точки (т.е. векторы) пространства \mathbb{R}^3 , x_i – составляющие вектора \mathbf{x} , а y_i – составляющие вектора \mathbf{y} .

Со временем встала необходимость изучения пространств \mathbb{R}^n , где $n > 3$, но в них уже невозможно определить расстояние, имеющее наглядный физический смысл. И для цели измерения расстояний в таких пространствах было введено расстояние на основании обобщения теоремы Пифагора на многомерный случай:

$$l_2(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad (1)$$

где x_i и y_i – составляющие векторов \mathbf{x} и \mathbf{y} соответственно.

Для решения многих практических задач введённое таким образом расстояние оказалось либо неудобным, либо неприменимым. Неудобным, поскольку для больших n вычисление расстояния по формуле (1) затруднительно. Неприменимым, т.к. часто необходимо измерять расстояние не только

между двумя векторами в целом, но и между отдельными одноимёнными их составляющими x_i и y_i , которое равно $|x_i - y_i|$.

Так появились различные определения расстояния в линейном пространстве \mathbb{R}^n . В данном случае – n -местные функции, измеряющие в каком-либо смысле близость или удалённость друг от друга двух произвольно взятых точек пространства. Например, частными случаями такого обобщённого подхода к расстоянию являются [7]:

$$l_\infty(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i - y_i|,$$
$$l_1(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|.$$

Формальным выражением обобщённого подхода к определению расстояния между двумя точками линейного пространства является аксиоматическое определение расстояния. На первый план здесь выступает взаимосвязь понятий нормы вектора, скалярного произведения двух векторов и расстояния между ними. Так получили три частных случая линейных пространств \mathbb{R}^n : евклидово, метрическое и нормированное.

Пространство \mathbb{R}^n называется евклидовым, если каждой паре векторов \mathbf{x} и \mathbf{y} из \mathbb{R}^n поставлено в соответствие вещественное число (\mathbf{x}, \mathbf{y}) , называемое скалярным произведением этих векторов, причем должны выполняться следующие аксиомы [7, 8]:

1. $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (\mathbf{y}, \mathbf{x})$.
2. Если $\lambda \in \mathbb{R}$, то $(\lambda\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \lambda(\mathbf{x}, \mathbf{y})$.
3. $(\mathbf{x} + \mathbf{y}, \mathbf{z}) = (\mathbf{x}, \mathbf{z}) + (\mathbf{y}, \mathbf{z})$.
4. $(\mathbf{x}, \mathbf{x}) \geq 0$; $(\mathbf{x}, \mathbf{x}) = 0$ тогда и только тогда, когда $\mathbf{x} = \mathbf{0}$.

Пусть:

$$\mathbf{x} = x_1\mathbf{e}_1 + x_2\mathbf{e}_2 + \dots + x_n\mathbf{e}_n,$$
$$\mathbf{y} = y_1\mathbf{e}_1 + y_2\mathbf{e}_2 + \dots + y_n\mathbf{e}_n.$$

где x_i и y_i – составляющие векторов \mathbf{x} и \mathbf{y} соответственно, а $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_n$ – базис (базисные векторы) пространства \mathbb{R}^n .

Одним из возможных способов введения скалярного произведения (т.е. получения частного случая евклидова пространства) является задание его формулой вида

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = x_1y_1 + x_2y_2 + \dots + x_ny_n. \quad (2)$$

Пространство \mathbb{R}^n называется нормированным, если каждому вектору \mathbf{x} из \mathbb{R}^n поставлено в соответствие вещественное число $\|\mathbf{x}\|$, называемое нормой вектора \mathbf{x} , при этом должны выполняться следующие аксиомы [7, 8]:

1. $\|\mathbf{x}\| \geq 0$; $\|\mathbf{x}\| = 0$ тогда и только тогда, когда $\mathbf{x} = \mathbf{0}$.
2. $\|\lambda\mathbf{x}\| = \lambda \cdot \|\mathbf{x}\|$, где $\lambda \in \mathbb{R}$.
3. $\|\mathbf{x} + \mathbf{y}\| \leq \|\mathbf{x}\| + \|\mathbf{y}\|$.

Понятие нормы вектора является обобщением понятия длины вектора.



Пространство \mathbb{R}^n называется метрическим, если каждой паре векторов \mathbf{x} и \mathbf{y} из \mathbb{R}^n поставлено в соответствие число $\rho(\mathbf{x}, \mathbf{y})$, называемое расстоянием, или метрикой, между векторами, также должны выполняться аксиомы [7, 8]:

1. $\rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \rho(\mathbf{y}, \mathbf{x})$.
2. $\rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \geq 0$; $\rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 0$ тогда и только тогда, когда $\mathbf{x} = \mathbf{y}$.
3. $\rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \leq \rho(\mathbf{x}, \mathbf{z}) + \rho(\mathbf{z}, \mathbf{y})$.

В случае евклидова пространства, в котором скалярное произведение векторов введено формулой (2), норма вектора может быть введена следующим образом:

$$\|\mathbf{x}\| = \sqrt{(\mathbf{x}, \mathbf{x})} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}.$$

Тогда расстояние между двумя произвольными векторами \mathbf{x} и \mathbf{y} из \mathbb{R}^n может быть введено как

$$\rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\| = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2}.$$

Отметим, что такой подход к вычислению расстояний в контексте нашей задачи уместен только, когда все составляющие ТЭП разрабатываемой техники являются количественными.

Измерение расстояний в векторных пространствах над полями Галуа характеристики два

В математике рассматриваются линейные пространства, составляющие векторов которых не являются числами (натуральными, вещественными, комплексными и проч.). В них составляющие векторов и скаляры, на которые умножаются вектора, являются элементами поля, которое в общем случае задается аксиоматически.

В каждом конкретном случае необходимо проверять, является ли рассматриваемое множество полем. Если это множество содержит конечное число элементов, то оно называется конечным, или полем Галуа.

Множество Λ вместе с определёнными на нём операциями сложения (+) и умножения (\cdot) называется полем, если для любых его элементов $\lambda, \lambda_1, \lambda_2$ и λ_3 выполняются следующие аксиомы [7]:

1. $\lambda_1 + (\lambda_2 + \lambda_3) = (\lambda_1 + \lambda_2) + \lambda_3$.
2. Среди элементов множества Λ существует единственный элемент (обозначаемый 0), для которого $\lambda + 0 = 0 + \lambda = \lambda$.
3. Для каждого элемента λ существует единственный обратный по сложению элемент (обозначается $-\lambda$): $\lambda + (-\lambda) = (-\lambda) + \lambda = 0$.
4. $\lambda_1 + \lambda_2 = \lambda_2 + \lambda_1$.
5. $\lambda_1 \cdot (\lambda_2 \cdot \lambda_3) = (\lambda_1 \cdot \lambda_2) \cdot \lambda_3$.
6. Среди элементов множества Λ существует единственный элемент (обозначаемый 1), для которого: $1 \cdot \lambda = \lambda \cdot 1 = \lambda$.
7. Для каждого элемента $\lambda \neq 0$ существует единственный обратный по умножению элемент (обозначается λ^{-1}): $\lambda \cdot \lambda^{-1} = \lambda^{-1} \cdot \lambda = 1$.
8. $\lambda_1 \cdot \lambda_2 = \lambda_2 \cdot \lambda_1$.



$$9. \lambda_1 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3) = \lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3.$$

В таких линейных пространствах, в зависимости от их природы, расстояние между векторами (точками пространства) вводится аксиоматически (через аксиомы из предыдущего раздела) одним из трёх способов: непосредственно, через норму разности двух векторов или через скалярное произведение двух векторов.

Далее будем рассматривать линейное пространство, состоящее из двоичных векторов, т.е. векторов, каждая составляющая которых принадлежит множеству $\{0, 1\}$. Над скалярными множителями и элементами этих векторов определены две операции (задаваемые таблицами истинности): сумма по модулю два и конъюнкция (табл. 1). В терминах абстрактной алгебры такие пространства называются векторными пространствами размерности k над полями Галуа характеристики два [7].

Таблица 1

Совмещённая таблица истинности для суммы по модулю 2 и конъюнкции

λ_1	λ_2	$\lambda_1 + \lambda_2$	$\lambda_1 \cdot \lambda_2$
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Перечислим свойства суммы по модулю два:

1. Ассоциативность: $\lambda_1 + (\lambda_2 + \lambda_3) = (\lambda_1 + \lambda_2) + \lambda_3$.
2. Коммутативность: $\lambda_1 + \lambda_2 = \lambda_2 + \lambda_1$.
3. Наличие нейтрального элемента (им является 0): $\lambda + 0 = 0 + \lambda = \lambda$.
4. Наличие обратного по сложению элемента для каждого элемента (им является тот же элемент): $\lambda + \lambda = 0$, что следует из анализа таблицы 1.

Из свойства 4 следует, что в рассматриваемом векторном пространстве вычитание из одного вектора другого эквивалентно их сумме, т.е.

$$\begin{aligned} \mathbf{x} - \mathbf{y} &= \begin{pmatrix} \lambda_{11} \\ \lambda_{21} \\ \vdots \\ \lambda_{n1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \lambda_{12} \\ \lambda_{22} \\ \vdots \\ \lambda_{n2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_{11} - \lambda_{12} \\ \lambda_{21} - \lambda_{22} \\ \vdots \\ \lambda_{n1} - \lambda_{n2} \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \lambda_{11} + \lambda_{12} \\ \lambda_{21} + \lambda_{22} \\ \vdots \\ \lambda_{n1} + \lambda_{n2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_{11} \\ \lambda_{21} \\ \vdots \\ \lambda_{n1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \lambda_{12} \\ \lambda_{22} \\ \vdots \\ \lambda_{n2} \end{pmatrix} = \mathbf{x} + \mathbf{y} \end{aligned}$$

Т.к. поле, над которым определено рассматриваемое линейное пространство, содержит ровно один ненулевой элемент ($\lambda = 1$), то выполнение аксиом умножения 5-8 очевидно. Выполнение аксиомы 9 доказывается с помощью построения таблицы истинности [9].



В линейных пространствах, у которых составляющие векторов и скалярные множители принадлежат нечисловым полям, аксиомы нормы, меры и расстояния выглядят аналогично представленным в предыдущем разделе. Рассматриваемые пространства двоичных векторов являются одновременно нормированными и метрическими.

Норма произвольного двоичного вектора \mathbf{x} обычно вводится как количество (арифметическая сумма) его ненулевых составляющих. Например, если $\mathbf{x} = (01011)$, то $\|\mathbf{x}\| = 3$.

В качестве расстояния между двумя произвольными двоичными векторами \mathbf{x} и \mathbf{y} зачастую (например, в теории кодирования) используется расстояние Хэмминга, определяемое как количество их неравных одноимённых составляющих. Например, если $\mathbf{x} = (01011)$ и $\mathbf{y} = (10010)$, то $\rho_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 3$, поскольку у этих векторов не совпадают (слева направо) первый, второй и пятый разряды.

На практике для вычисления расстояния Хэмминга производится по-рядное сложение двух векторов по модулю два с подсчётом числа единиц в получившейся сумме (т.к. при суммировании по модулю два $1 + 1 = 0 + 0 = 0$).

Непосредственной проверкой можно доказать, что определённые таким образом норма вектора и расстояние между двумя векторами (точками) удовлетворяют соответствующим аксиомам. Проверим на соответствие аксиомам используемое далее расстояние Хэмминга между двоичными векторами (для нормы двоичного вектора справедливость аксиом доказывается аналогично):

1. $\rho_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \rho_{\mathbf{x}}(\mathbf{y}, \mathbf{x})$, т.к. число несовпадающих одноимённых составляющих не зависит от порядка рассмотрения векторов.
2. $\rho_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \geq 0$ по определению расстояния Хэмминга.
3. $\rho_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \leq \rho_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}, \mathbf{z}) + \rho_{\mathbf{x}}(\mathbf{z}, \mathbf{y})$.

Неравенство третьей аксиомы проверим с помощью таблицы 2, рассмотрев i -ые разряды соответствующих векторов.

Таблица 2

Расстояния между i -ми разрядами двоичных векторов

x_i	y_i	z_i	$\Delta(x_i, y_i)$	$\Delta'(x_i, z_i)$	$\Delta''(z_i, y_i)$
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0

В этой таблице $\Delta(x_i, y_i)$ – аддитивный вклад i -ых составляющих векторов \mathbf{x} и \mathbf{y} в расстояние Хэмминга, т.е.:

$$\rho_X(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^k \Delta(x_i, y_i),$$
$$\Delta(x_i, y_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i = y_i, \\ 1, & \text{если } x_i \neq y_i, \end{cases}$$

где k – размерность рассматриваемых векторов.

Аналогично $\Delta'(x_i, z_i)$ – аддитивный вклад i -ых составляющих векторов \mathbf{x} и \mathbf{z} в расстояние Хэмминга:

$$\rho_X(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = \sum_{i=1}^k \Delta'(x_i, z_i),$$
$$\Delta'(x_i, z_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i = z_i, \\ 1, & \text{если } x_i \neq z_i. \end{cases}$$

И $\Delta''(z_i, y_i)$ – аддитивный вклад i -ых составляющих векторов \mathbf{z} и \mathbf{y} в расстояние Хэмминга:

$$\rho_X(\mathbf{z}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^k \Delta''(z_i, y_i),$$
$$\Delta''(z_i, y_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } z_i = y_i, \\ 1, & \text{если } z_i \neq y_i. \end{cases}$$

Поскольку при любых комбинациях значений x_i , y_i , и z_i выполнено неравенство (проверяется просмотром каждой строки таблицы)

$$\Delta(x_i, y_i) \leq \Delta'(x_i, z_i) + \Delta''(z_i, y_i),$$

постольку выполняется и неравенство третьей аксиомы.

Как правило, за расстояние Хэмминга между двоичными векторами принимают норму их разности (т.е. суммы):

$$\rho_X(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \|\mathbf{x} + \mathbf{y}\|,$$

т.к. у вектора $\mathbf{x} + \mathbf{y}$ только те составляющие равны единице, для которых $x_i \neq y_i$. Например, для тех же $\mathbf{x} = (01011)$ и $\mathbf{y} = (10010)$, получим расстояние $\rho_X(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \|\mathbf{x} + \mathbf{y}\| = \|(11001)\| = 3$.

Поясним, что в линейных пространствах двоичных векторов справедливо тождество $\mathbf{x} - \mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{y}$, это вытекает из свойства суммы по модулю два для $\lambda \in \{0, 1\}$.

Здесь также отметим, что такой подход к вычислению расстояний в контексте нашей задачи уместен только, когда все составляющие ТЭП разрабатываемой техники являются качественными.

Измерение расстояний между альтернативными решениями в морфологическом методе прогнозирования ТЭП

В работах [4-6] используется иначе определённое расстояние между точками линейного пространства двоичных векторов, введённое следующим образом:

$$\rho_*(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{1}{2} \cdot \rho_X(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{1}{2} \cdot \|\mathbf{x} + \mathbf{y}\|. \quad (3)$$



Другими словами, оно равно половине не равных друг другу разрядов сравниваемых векторов.

Непосредственной подстановкой можем убедиться, что для него также справедливы все аксиомы расстояния:

1. $\rho_*(x, y) = \frac{1}{2} \cdot \rho_X(x, y) = \frac{1}{2} \cdot \rho_X(y, x) = \rho_*(y, x)$.
2. $\rho_*(x, y) = \frac{1}{2} \cdot \|x + y\| \geq 0$.
3. $\rho_*(x, y) = \frac{1}{2} \cdot \rho_X(x, y) \leq \frac{1}{2} \cdot \rho_X(x, z) + \frac{1}{2} \cdot \rho_X(z, y) = \rho_*(x, z) + \rho_*(z, y)$.

Кратко опишем множества D и \tilde{D} из [4-6]. Множество D является декартовым произведением областей допустимых значений всех параметров (и качественных, и количественных), а потому – областью допустимых комбинаций значений ТЭП:

$$D = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n,$$

где D_j – область допустимых значений j -ого параметра (качественного или количественного), обозначаемого как x_j (т.е. j -ой составляющей ТЭП). В свою очередь, область D_j представляет собой объединение непересекающихся качественно однородных подобластей:

$$D_j = D_{1j} \cup D_{2j} \cup \dots \cup D_{k_j j},$$

где k_j – число элементов множества D_j .

Элементами множества \tilde{D} являются подобласти комбинаций значений ТЭП, подозреваемые на однородность оценок значений ТЭП:

$$\tilde{D} = \tilde{D}_1 \times \tilde{D}_2 \times \dots \times \tilde{D}_n,$$

где

$$\begin{cases} \tilde{D}_1 = \{D_{11}, D_{21}, \dots, D_{k_{11}}\}, \\ \tilde{D}_2 = \{D_{12}, D_{22}, \dots, D_{k_{22}}\}, \\ \dots, \\ \tilde{D}_n = \{D_{1n}, D_{2n}, \dots, D_{k_{nn}}\}. \end{cases}$$

Для возможности измерения расстояний между комбинациями значений ТЭП производится формирование линейного пространства L двоичных векторов:

$$\dim L = k_1 + k_2 + \dots + k_n.$$

Часть векторов этого пространства будет соответствовать элементу множества \tilde{D} . При этом, если конкретный элемент множества \tilde{D} содержит в j -ой позиции подмножество $D_{v_j j}$, то соответствующая этому подмножеству компонента вектора равна 1, в противном случае она равна 0.

Рассмотрим подробнее составляющие векторов введённого двоичного пространства. На рисунке 1 показано взаимно-однозначное соответствие компонент векторов и подмножеств разбиений областей допустимых значений параметров.



Рис. 1. Структура двоичных эквивалентов ответов экспертов

Поскольку j -ая составляющая комбинации оценок ТЭП, данной конкретным экспертом, попадёт только в одно из подмножеств разбиения области допустимых значений D_j параметра x_j , постольку в группе компонент вектора, соответствующих подмножествам разбиения D_j , только одна компонента будет равна 1, а остальные – 0. Например, если $x_1 \in D_{21}$, то $y_2 = 1$, а $y_1 = y_3 = y_4 = \dots = y_{k_1} = 0$.

Поэтому каждому элементу множества \tilde{D} будет соответствовать свой двоичный вектор рассматриваемого пространства, причём различным элементам множества \tilde{D} будут соответствовать различные двоичные вектора.

Если найти расстояние Хэмминга между двумя векторами, соответствующими двум экспертным оценкам комбинаций значений ТЭП, то оно будет в два раза больше числа параметров, по которым эксперты дали различные оценки (т.е. параметров, оценки которых попали в различные подобласти допустимых экспертных оценок D). Поясним это следующим образом.

Пусть область допустимых значений D_1 параметра x_1 разбита на непересекающиеся подмножества $D_{11}, D_{21}, \dots, D_{k_11}$, и этим подмножествам соответствуют составляющие y_1, y_2, \dots, y_{k_1} двоичных векторов. Т.к.

$$\begin{cases} D_1 = D_{11} \cup D_{21} \cup \dots \cup D_{k_11}, \\ D_{\mu_1} \cap D_{\nu_1} \neq 0 \text{ тогда и только тогда, когда } \nu_1 = \mu_1, \end{cases}$$

оценка x_i^* конкретным экспертом значения параметра x_j принадлежит только одному из этих подмножеств. Поэтому в двоичном векторе, соответствующем оценкам конкретного эксперта, только одна из позиций y_1, y_2, \dots, y_{k_1} содержит единицу, а остальные содержат нули.

Если взять два двоичных вектора, соответствующих сравниваемым оценкам экспертов, и произвести их почленное сложение по модулю два, то возможны два взаимоисключающих результата.

В случае, когда два эксперта одинаково оценили параметр x_1 (т.е. их оценки параметра x_1 принадлежат одному из подмножеств D_{11}, D_{21}, \dots ,



D_{k_1}), все составляющие y_1, y_2, \dots, y_{k_1} результата будут равны нулю: $(00001) \oplus (00001) = (00000)$, здесь $k_1 = 5$.

В случае, когда эксперты по-разному оценили параметр x_1 (их оценки параметра x_1 принадлежат двум разным подмножествам из $D_{11}, D_{21}, \dots, D_{k_1}$), ровно две компоненты результата будут равны единице, а остальные – нулю: $(01000) \oplus (00100) = (01100)$.

Поэтому, если за расстояние между двумя комбинациями значений ТЭП принять число параметров, по-разному оценённых экспертами в этих комбинациях, то оно будет равно половине расстояния Хэмминга между двумя двоичными векторами (3), соответствующими этим двум комбинациям значений ТЭП.

Расчётный пример сравнения альтернативных комбинаций значений ТЭП

Рассмотрим пример применения предложенной функции (3), позволяющей вычислять расстояния между альтернативами. Воспользуемся тем, что морфологический метод принятия решений [4-6] базируется на оригинальном способе кластеризации экспертных оценок. Оставаясь в рамках предметной области, в качестве расчётных данных изучим технические характеристики (оценки) некоторых уже произведённых и актуальных в настоящее время видеокарт компании AMD [10]. Выделим основные профили (альтернативы) образцов и сравним их между собой.

Концептуально различных архитектур графических процессоров (для разных сегментов рынка) относительно немного, и на базе каждой из них выпускается множество версий видеокарт (под разные задачи). Модели видеокарт внутри одной серии редко радикально отличаются друг от друга, зачастую это точечные модификации одного и того же устройства (оптимизирующие одни его свойства в ущерб другим). Очевидно, что для видеокарты как сложной системы будет наблюдаться несколько состояний качественной устойчивости (альтернатив).

Для расчётов были отобраны 98 образцов видеокарт с преобладающими типами памяти (GDDR5 и GDDR6) и наиболее полным описанием – с указанием предельной частоты процессора, а также скорости, максимального объёма, ширины шины и пропускной способности памяти. Гистограммы значений скорости и ширины шины памяти показали качественную (категориальную) однородность подавляющего большинства образцов видеокарт, и для компактности (обозримости) примера эти признаки были исключены из дальнейшего рассмотрения.

Сведения о названии (включая семейство и серию), дате выпуска видеокарты и классе устройства, для которого она предназначена, присутствуют как вспомогательные – для сверки результатов (как условная разметка). Вариантами использования отобранных видеокарт указаны: 1) "Desktop" – только для стационарных персональных компьютеров; 2) "Notebook" – только для ноутбуков; 3) "Desktop, Notebook" – и для стационарных компьютеров, и для ноутбуков (условно универсальные); 4) "Component" – как компоненты более сложных вычислительных машин (специализированные).

На рисунке 2 представлены гистограммы для количественных признаков Frequency (частота процессора) и Memory Size (максимальный объём памяти), а также столбчатая диаграмма для качественного признака Memory Type (тип памяти). Здесь область допустимых значений любого из признаков явно разбивается на две качественно однородные подобласти. Это означает, что по каждому из признаков отдельно (а также в совокупности) видеокарты существенно различны.

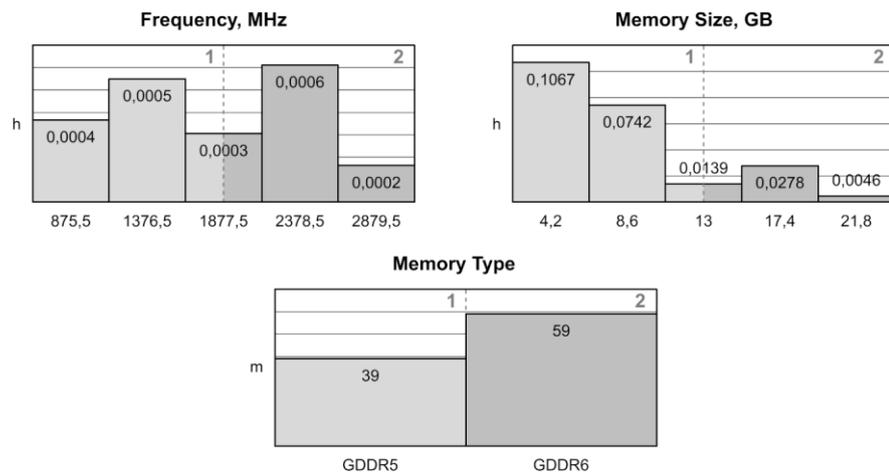


Рис. 2. Распределение значений каждого признака

Для рассматриваемого случая вспомогательное пространство двоичных векторов имеет размерность 6: первые два бита отводятся для описания области допустимых значений признака Frequency, следующие два – признака Memory Size, последние два – Memory Type (порядок перечисления признаков значения не имеет). Только пять таких векторов имеют ненулевую частоту, все они (с интерпретацией значений) приведены в таблице 3. Пробелы в записях векторов декоративные, для упрощения визуального восприятия.



Таблица 3

Альтернативы комбинаций значений признаков				
Номер	Область	Значения	Вектор	<i>P</i>
1	Frequency (1)	$\mu = 1135.49, \sigma = 175.43$, МГц	10 10 10	0.40
	Memory Size (1)	$\mu = 4.82, \sigma = 1.80$, ГБ		
	Memory Type (1)	GDDR5		
2	Frequency (2)	$\mu = 2349.59, \sigma = 292.46$, МГц	01 10 01	0.33
	Memory Size (1)	$\mu = 8.06, \sigma = 2.62$, ГБ		
	Memory Type (2)	GDDR6		
3	Frequency (2)	$\mu = 2470.38, \sigma = 295.01$, МГц	01 01 01	0.13
	Memory Size (2)	$\mu = 16.92, \sigma = 2.30$, ГБ		
	Memory Type (2)	GDDR6		
4	Frequency (1)	$\mu = 1630.15, \sigma = 166.72$, МГц	10 10 01	0.13
	Memory Size (1)	$\mu = 5.54, \sigma = 2.06$, ГБ		
	Memory Type (2)	GDDR6		
5	Frequency (1)	1825 МГц	10 01 01	0.01
	Memory Size (2)	16 ГБ		
	Memory Type (2)	GDDR6		

Таким образом, изучаемые объекты (видеокарты) распределяются по пяти группам, каждая из которых представляется своим двоичным вектором. В пятую группу попал только один образец – AMD Radeon RX 7900M (для ноутбуков, 2023 года выпуска). Каждая из единиц в соответствующем ему векторе указывает на принадлежность значения соответствующего признака к определённой подобласти области допустимых значений (рис. 2): первая единица – частоты процессора к области Frequency (1), вторая единица – объёма памяти к Memory Size (2), третья – типа памяти к Memory Type (2).

Для количественных признаков в таблице 3 приведены средние значения (μ) и среднеквадратические отклонения (σ) по всем группам, поскольку значения количественных признаков обобщённо описываются доверительными интервалами, вычисляемыми по правилу «трёх сигм»:

$$(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma).$$

Самой представительной оказалась первая группа, в неё попало 39 объектов. Их характеризует частота процессора из интервала (609.2; 1661.78), максимальный объём памяти из (0; 10.22) и тип памяти GDDR5 (рис. 2). Для примера, к ним относятся модели Radeon 610 (для ноутбуков, 2019 года выпуска), Radeon RX 540X (универсальная, 2018 года выпуска) и Radeon RX 550 (специализированная, 2017 года выпуска). Имея близкие характеристики, карты относятся к разным классам компьютеров, что объясняется их принадлежностью разным поколениям.

Рисунок 3 демонстрирует распределение всех образцов по выявленным группам сущностной однородности (не включая пятую). Здесь прослеживается та же закономерность: специализированные видеокарты одного поколения сопоставимы по производительности с картами для ноутбуков и настольных компьютеров более старших поколений (внутри одного поколения карты для ноутбуков обычно менее

производительны, чем специализированные). Отметим, что на диаграммы перенесены только имеющиеся в исходных данных метки даты выпуска.

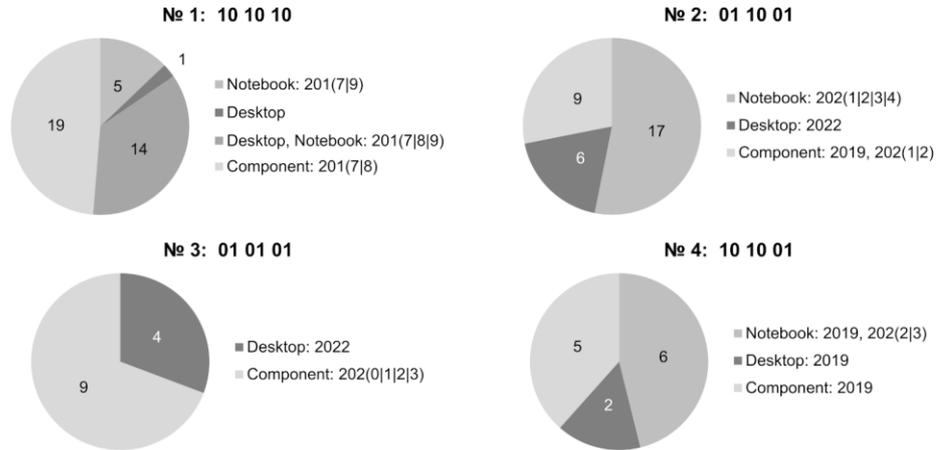


Рис. 3. Соответствие оценок альтернативам

Признак характеризует конкретное свойство объекта, что явно учитывает формула (3). С её помощью можно сравнить свойства (все или только часть) объектов из полученных групп (через представляющие их двоичные вектора). Так, наиболее удалёнными друг от друга являются видеокарты первой и третьей группы: они категориально различны по всем трём признакам. А расстояние между объектами второй группы и четвёртой равно 1, что свидетельствует о принципиальном различии объектов по частоте процессора (рис. 2). Расстояние же между любыми двумя объектами любой группы равно нулю.

Таблица 4 представляет собой полную матрицу расстояний между выявленными группами (альтернативами).

Таблица 4

Расстояния между альтернативами					
Альтернатива	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
№ 1	0	2	3	1	2
№ 2	2	0	1	1	2
№ 3	3	1	0	2	1
№ 4	1	1	2	0	1
№ 5	2	2	1	1	0

На рассмотренном, упрощённом, примере проиллюстрирована специфичность предложенной метрики расстояния (3): 1) унифицируется описание качественных и количественных признаков; 2) не искажаются исходные масштаб и размерность признаков; 3) результат поддаётся буквальной интерпретации; 4) представление результата позволяет непосредственно его уточнять для любого



набора признаков (обработанных); 5) алгоритм обладает низкой вычислительной сложностью.

Учёт каждого нового признака (как качественного, так и количественного) детализирует описание изучаемых объектов и расслаивает многомерную область допустимых значений объектов. Признак не является информативным, если показывает качественную однородность значений (по нему объекты неразличимы).

Заключение

Предложенный в серии работ [4-6] метод экспертных оценок является развитием классического метода морфологического анализа, подробно освещённого в [11, 12]. Его выделяет, в частности, возможность прогнозировать значения технико-экономических показателей сложных технических систем в общем случае, т.е. с учетом принадлежности показателей к различным типам (качественным и количественным). Выбор окончательного решения из числа возможных комбинаций значений ТЭП обеспечивается возможностью измерять близость друг к другу двух произвольно взятых альтернатив.

Для этих целей было адаптировано хорошо зарекомендовавшее себя при решении прикладных задач расстояние Хэмминга: в работе оперируемые двоичные вектора имеют общую структуру (в рамках отдельной задачи) – они фрагментированы, разделены на смысловые части. К достоинствам предложенной метрики можно отнести наглядность и информативность результата для лица, принимающего окончательное решение.

В первую очередь настоящая работа служит подкреплением математического аппарата ранее разработанного морфологического метода принятия решений в части обоснования корректности подобранной метрики расстояния. В то же время предложенная метрика носит универсальный характер и может использоваться для работы с любыми структурированными данными, имеющими в своём составе одновременно как качественные, так и количественные признаки.

По существу, работа представляет собой руководство для разработки метрики расстояния и может найти своё применение не только в теории принятия решений, но и в смежных областях. Например, в системном анализе и машинном обучении она может быть востребована при решении задачи многоуровневой кластеризации.

Библиографические ссылки

- 1.Тарасенко Ф.П., Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ. М. : Высшая школа, 1989. 367 с.
- 2.Литвак Б. Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. М. : Радио и связь, 1982. 184 с.
- 3.Теория выбора и принятия решений / Макаров И. М., Виноградская Т. М., Рубчинский А. А., Соколов В. Б. М. : Наука, 1982. 328 с.
- 4.Харченко Е. А. Морфологический подход к принятию обоснованных решений по экспертным суждениям // Вестник ТвГУ. Сер. : Прикладная математика. 2019. № 2. С. 42-56. DOI: 10.26456/vtprmk531.
- 5.Харченко Е. А. Алгоритм морфологического метода экспертных оценок для решения задачи прогнозирования // Компьютерные инструменты в образовании. 2023.



№ 2. С. 5-20. DOI: 10.32603/2071-2340-2023-2-5-20.

6. Харченко Е. А. Механическая модель морфологического метода принятия решений в условиях неопределенности // Компьютерные инструменты в образовании. 2024. № 3. С. 14-32. DOI: 10.32603/2071-2340-2024-3-14-32.

7. Ван дер Варден Б.Л. Алгебра. М. : Наука, 1976. С. 648.

8. Воеводин В. В. Линейная алгебра. М. : Наука, 1980. С. 400.

9. Кикоть П. Б. Курс дискретной математики. Ч. I. Множества, группы, кольца. М. : МГИУ, 1999. С. 197.

10. Graphics Specifications. URL: <https://www.amd.com/en/products/specifications/graphics.html> (дата обращения: 16.07.2025).

11. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. М. : Машиностроение, 1988. С. 368.

12. Одрин В. М. Метод морфологического анализа технических систем. М. : ВНИИПИ, 1989. С. 312.

Title: The Distance Function for the Morphological Method of Forecasting the Technical and Economic Indicators of Promising Samples of Equipment

Authors' affiliation:

Kharchenko E. A. – Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

Abstract: The work develops the theory of decision-making in terms of improving the methods of processing and comparing expert assessments. The heterogeneity of the components of technical and economic indicators (TEI) has led to the need for their joint consideration when processing the results of a survey of experts on a qualitative scale, i.e. areas of homogeneity of combinations of TEI values (in terms of elements of a Cartesian product). In this case, it has been estimated which area the assessment of the TEI values of a specific expert falls into. Therefore, the problem of determining the proximity of expert assessments (i.e. the distance between them) is equivalent to the problem of assessing the proximity (distance) of areas containing these assessments. Various versions of generalizing the concept of distance in mathematics are considered over elements of vector spaces. The vectors of these spaces have homogeneous components, the nature of which is determined by the nature of the field over which a specific vector space is defined. Since the joint consideration of the TEI components is carried out on a qualitative scale, a vector space consisting of binary numbers is introduced to assess the distance between any two arbitrarily taken expert assessments. In this paper, the distance metric presented in the author's previous works is developed and substantiated. The proposed metric is universal and adaptive for working with any structured data containing both qualitative and quantitative indicators. The metric values are informative and easy to interpret: the distance between two expert responses is equal to the number of indicators by which the expert responses diverge. Its scope of application can be expanded to solve some problems of system analysis and machine learning, in particular multi-level clustering.

Keywords: engineering forecasting, system analysis, expert assessments, linear space, Hamming distance



УДК 681.2.083

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-33-46>

Qin Hongwu, Cai Ming, Nie Linlin, Liu Xiaoli, Chye En Un, V. V. Voronin

CFSC-FBCCA BASED STEADY STATE VISUAL EVOKED POTENTIALS SIGNAL CLASSIFICATION ALGORITHM

Qin Hongwu – PhD, Professor, College of Electronic and Information Engineering, Changchun University, Changchun, e-mail: hongwuqin@live.cn (China); *Cai Ming* – Master of Engineering, College of Electronic and Information Engineering, Changchun University, Changchun, e-mail: ev1034597jush@163.com (China); *Nie Linlin* – PhD, Lecturer, College of Electronic and Information Engineering, Changchun University, Changchun, e-mail: niell@ccu.edu.cn (China); *Liu Xiaoli* – Master of Engineering; College of Electronic and Information Engineering, Changchun University, Changchun, e-mail: 844070307@qq.com (China); *Chye En Un* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Higher School of Cybernetics and Digital Technologies, Pacific National University, e-mail: 000487@togudv.ru; *Voronin V. V.* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Higher School of Cybernetics and Digital Technologies, Pacific National University (Russia), e-mail: 004183@togudv.ru

Brain-computer interface (BCIs) realizes human-computer interaction by decoding electroencephalogram (EEG) signals, among which steady-state visual evoked potential (SSVEP) has become a basic interaction paradigm in this field because of its high signal-to-noise ratio. To address the limitation of traditional filter bank canonical correlation analysis (FBCCA) in underutilizing frequency-domain information, this paper proposes an SSVEP signal classification algorithm that integrates complex frequency spectrum characteristics (CFSC) with FBCCA. The method introduces two key innovations: 1) simultaneous extraction of amplitude and phase information via fast Fourier transform (FFT) to construct frequency-domain complex features; 2) second-order sections (SOS) filter bank design to enhance computational efficiency and system stability. Experiments were conducted on the Tsinghua BCI Lab benchmark dataset. The results demonstrate that the proposed CFSC-FBCCA achieves a peak classification accuracy of 96.26 % and an information transfer rate (ITR) of 73.46 bpm, representing improvements of 16.21 % and 20.26 bpm over traditional FBCCA, respectively. The comparison results with the existing methods further demonstrate the superiority of the proposed scheme in terms of classification stability, accuracy, and ITR. This study

© Qin Hongwu, Cai Ming, Nie Linlin, Liu Xiaoli, Chye En Un, Voronin V. V., 2025

This work were supported by the project of Jilin Provincial Education Department (Grant No.: SJZD23-01), the project of Innovation and Entrepreneurship Talent Funding project of Jilin Province (Grant No.: 2023RY17).

provides a novel solution for high-precision, real-time SSVEP-BCI systems with broad application prospects.

Keywords: complex frequency spectrum characteristics, SSVEP, filter bank canonical correlation analysis, brain-computer interface

Introduction

Brain-computer interfaces (BCIs) enable direct communication between the human brain and external devices by decoding electrophysiological (EEG) signals produced by brain activity. The core principle involves bypassing peripheral nerves and muscle tissues to create a "brain-machine" pathway. BCIs are classified into invasive and non-invasive types [1]. Compared to invasive BCIs, which require surgical implantation, non-invasive BCIs are extensively researched due to their low cost and non-traumatic nature. A typical BCI workflow consists of three stages:

- 1) neurophysiological feature extraction from EEG signals during specific cognitive tasks (e.g., event-related potentials or spectral energy of rhythmic waves);
- 2) classification of features using machine learning algorithms;
- 3) translation of classification results into control commands for external devices (e.g., robotic prosthetics, wheelchairs, or virtual interfaces) [2].

Among non-invasive neuroimaging techniques, scalp EEG is the most extensively researched due to its non-invasiveness, high temporal resolution (millisecond-level), and cost-effectiveness. While functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), functional magnetic resonance imaging (fMRI), and magnetoencephalography (MEG) offer higher spatial resolution (centimeter-level localization), EEG remains dominant in portable BCI development due to its practicality for real-time interaction [3]. SSVEP-based BCIs typically consists of three components: visual stimulation, EEG acquisition, and signal processing. The system workflow involves feature extraction and recognition of SSVEP signals. After a subject focuses on a visual stimulus, the BCI collects EEG signals generated by SSVEP, preprocesses them, extracts features, and classifies the signals to produce control outputs [4]. SSVEP classification faces challenges in requiring robust and accurate algorithms. To address the demand for training-free methods compatible with template matching paradigms, unsupervised classification approaches have emerged as a focus. These methods directly compute the similarity metrics between test data and target frequencies for recognition, offering advantages in real-time applications [5]. Canonical correlation analysis (CCA) – a classical training-free method – extracts features by constructing correlation coefficient matrices between reference and test signals. Enhanced variants like filter bank CCA (FBCCA) employ subband decomposition through multiple frequency-selective filters to improve short-time classification [6]. Power spectral density (PSD) analysis further diversifies SSVEP recognition strategies [7]. FBCCA, with its innovative time-frequency fusion design, has become the most widely adopted solution across scenarios [8].



However, the traditional FBCCA uses sine and cosine functions to construct reference signals, and only pays attention to time domain processing, ignoring amplitude-frequency and phase information [9]. This limitation restricts its ability to fully exploit frequency-domain information, leading to suboptimal classification performance and scalability for complex data. To overcome this fundamental limitation, we propose a CFSC-FBCCA fusion model, which integrates amplitude and phase information from complex frequency spectrum characteristics into FBCCA. CFSC enhances frequency-domain characterization, enabling better capture of signal periodicity and phase information, thus improving classification accuracy.

The main contributions of this study include:

1). In view of the fact that the FBCCA algorithm does not consider the amplitude-frequency and phase information, the complex spectrum feature (CFSC) is introduced, and the classification accuracy is improved by using the amplitude and phase features.

2) SOS-based filtering and vectorized processing to enhance computational efficiency and stability.

1. Brief introduction of method

1.1 Canonical correlation analysis

Canonical correlation analysis (CCA) is a statistical method to measure the potential correlation between two multidimensional variables, which has been widely used in the detection of SSVEP signals [10]. CCA method is to find a set of vectors W_X, W_Y for two sets of multi-dimensional variable signals X, Y , so that the correlation between $x = X^T W_X, y = Y^T W_Y$ and X and Y is the maximum. For W_X and W_Y , there is a relationship as shown in (1).

$$\max_{W_X, W_Y} \rho(x, y) = \frac{(W_X^T X Y^T W_Y)}{\sqrt{(W_X^T X X^T W_X)(W_Y^T Y Y^T W_Y)}}, \quad (1)$$

where ρ is the correlation, when ρ is the maximum, the maximum canonical correlation coefficient of W_X and W_Y can be obtained.

In the analysis of SSVEP signal by CCA, the multi-channel EEG signal is usually set as variable X , and the corresponding reference signal group is set as variable Y . In order to detect the frequency of SSVEP in an unsupervised manner, a sinusoidal signal is used as the reference signal Y_f , as shown in (2).

$$Y_f = \begin{bmatrix} \sin(2\pi ft) \\ \cos(2\pi ft) \\ \vdots \\ \sin(2\pi N_h ft) \\ \cos(2\pi N_h ft) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

where f is the stimulation frequency, N_h is the harmonic number and t is the time.

In order to identify the frequency of SSVEP, CCA calculates the typical correlation between multichannel SSVEP and the reference signal corresponding to each stimulation frequency. The frequency of the reference signal with the greatest correlation is regarded as the frequency of SSVEP.

1.2 Canonical correlation analysis of filter banks

Filter bank canonical correlation analysis (FBCCA) is an improved algorithm for CCA algorithm to ignore harmonic components when analyzing SSVEP signals [11]. First, filter bank analysis performs subband decomposition using multiple filters with different passbands. Secondly, after the filter bank analysis, the standard CCA process is applied to each subband component separately, so as to generate correlation values between subband components and predefined reference signals corresponding to all stimulation frequencies.

For k reference signals, the correlation vector ρ_k can be expressed as consisting of N correlation coefficients, as shown in (3).

$$\rho_k = \begin{bmatrix} \rho_k^1 \\ \rho_k^2 \\ \vdots \\ \rho_k^N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho(X_{(SB_1)}^T W_X(X_{(SB_1)} Y_{(fk)}), Y^T W_Y(X_{(SB_1)} Y_{(fk)})) \\ \rho(X_{(SB_2)}^T W_X(X_{(SB_2)} Y_{(fk)}), Y^T W_Y(X_{(SB_2)} Y_{(fk)})) \\ \vdots \\ \rho(X_{(SB_N)}^T W_X(X_{(SB_N)} Y_{(fk)}), Y^T W_Y(X_{(SB_N)} Y_{(fk)})) \end{bmatrix}, \quad (3) \quad (1-3)$$

where $\rho(x, y)$ represents the correlation coefficient between the original data x and the reference signal y , and SB_N represents the N -th subband.

Calculate the weighted sum of squares of correlation values corresponding to all sub-band components (i.e. $\rho_k^1, \dots, \rho_k^N$) as the feature of target recognition, as shown in (4).

$$\tilde{\rho}_k = \sum_{n=1}^N w(n) \cdot (\rho_k^n)^2, \quad (4)$$

where n is the sequence number of the subband and $w(n)$ is the weight of the subband components.

The weight definition of subband components is shown in (5).

$$w(n) = n^{-a} + b, n \in [1, N], \quad (5)$$

where a and b are the parameters that maximize the classification performance.

In this paper, grid search is used to determine the optimal parameters in off-line analysis. When a and b are 1.25 and 0.25 respectively, the accuracy of FBCCA classification can reach the maximum [12].

Finally, the frequency corresponding to the reference signal with the largest $\tilde{\rho}_k$ value is regarded as the target frequency, as shown in (6).



$$f_{target} = \max(\tilde{\rho}_k), k = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

For different reference signals k , find the maximum $\tilde{\rho}_k$, and the corresponding frequency is the identification result of SSVEP signal.

1.3 Complex frequency spectrum characteristics

Complex frequency spectrum characteristics (CFSC) are composed of the amplitude and phase obtained by fast Fourier transform (FFT), so the construction of complex spectral features can be decomposed into the following steps:

1). FFT the EEG signal to obtain a complex frequency spectrum $X(k)$.

Perform fast Fourier transform (FFT) on multi-channel EEG signal $X(t) \in R^{C \times T}$ (C is the number of channels and T is the number of time points) to extract complex frequency spectrum, as shown in (7).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j2\pi kn/N}, k = 0, 1, \dots, K-1, \quad (7)$$

where $N = T$ is the number of time points, $K = N/2$ is the number of positive frequency points reserved, and $X(k) \in C^{C \times K}$ represents the complex frequency spectrum at the k -th frequency point.

2). Calculate the amplitude $A(k)$ and phase $\varphi(k)$ of each frequency point.

Decompose the complex frequency spectrum $X(k)$ into an amplitude spectrum $A(k)$ and a phase spectrum $\varphi(k)$, as shown in (8).

$$\begin{cases} A_c(k) = \sqrt{\text{Re}(X_c(k))^2 + \text{Im}(X_c(k))^2} \\ \varphi_c(k) = \arctan\left(\frac{\text{Im}(X_c(k))}{\text{Re}(X_c(k))}\right) \end{cases}, \quad (8)$$

where $A_c(k) \in R^{C \times K}$ represents the amplitude of the c -th channel and the k -th frequency point; $\varphi_c(k) \in R^{C \times K}$ represents the phase value of the c channel and the k frequency point.

3). Taking the amplitude and phase as a part of the feature vector, stitching them into the final feature vector.

Splicing the amplitude spectrum and the phase spectrum along the channel dimension to form a high-dimensional feature matrix, as shown in (9).

$$F = [A \quad \varphi]^T \in R^{2C \times K}, \quad (9)$$

where $A = [A_1(0), A_1(1), \dots, A_C(K-1)] \in R^{C \times K}$ represents the amplitude spectrum of all channels; $\varphi = [\varphi_1(0), \varphi_1(1), \dots, \varphi_C(K-1)] \in R^{C \times K}$ represents the phase spectrum of all channels; Transpose operation $[\cdot]^T$ adjusts the feature dimension to $K \times 2C$, which meets the input requirements of subsequent classifiers.

In SSVEP signal classification, the correlation between complex spectral feature F and reference signal Y_f is calculated by CCA, and the specific process is shown in Formula (10).

$$\rho_f = \max_{w_x, w_y} \frac{w_x^T F^T Y_f w_y}{\sqrt{(w_x^T F^T F w_x)(w_y^T Y_f^T Y_f w_y)}}. \quad (10)$$

The frequency corresponding to the maximum correlation coefficient ρ_f is the recognition result.

2. Realization of SSVEP signal classification based on CFSC-FBCCA

The CFSC-FBCCA fusion algorithm proposed in this paper further improves the performance of SSVEP signal classification. The specific steps are as follows:

1). Complex frequency spectrum characteristics construction.

Perform FFT transform on EEG signal to extract amplitude spectrum and phase spectrum, as shown in (11).

$$\begin{cases} A_{c,f} = |FFT(X_c)| \\ P_{c,f} = \angle FFT(X_c) \end{cases}, \quad (11)$$

where X_c is the time domain signal of the c -th channel, and $A_{c,f}$ and $P_{c,f}$ are the amplitude and phase at the frequency f , respectively.

2). Filter bank processing.

Sub-band signals are extracted by multiple band-pass filters, as shown in (12).

$$X^{(k)} = Filter_k(X), k = 1, 2, \dots, K, \quad (12)$$

where $X^{(k)}$ is the filtered signal of the k -th subband.

3). Target signal construction.

Generate a complex reference signal for each target frequency f_i , as shown in (13).

$$Y_i(t) = e^{j2\pi f_i t} = \cos(2\pi f_i t) + j \sin(2\pi f_i t). \quad (13)$$

Separate the real part from the imaginary part as the target variable of CCA, as shown in (14).

$$Y_{target} = [\text{Re}(Y_i), \text{Im}(Y_i)]. \quad (14)$$

4). Multi-subband CCA fusion.



CCA is performed on the filtered signal of each subband k , and the scores of each subband are weighted and fused, as shown in (15).

$$\rho_{total} = \sum_{k=1}^K w_k \cdot \rho_k^2, \quad (15)$$

where w_k is the subband weight and ρ_k is the maximum correlation coefficient of subband CCA.

5). Classification decision.

Select the frequency with the highest total score as the recognition result, as shown in (16).

$$\hat{f} = \arg \max_{f_i} \rho_{total}(f_i). \quad (16)$$

The CFSC-FBCCA fusion algorithm extracts the amplitude, frequency and phase of the preprocessed EEG signal through FFT transformation, then splices it into feature vectors, then decomposes it through filter banks to generate target signals, and finally makes classification decisions and outputs classification results through multi-subband CCA fusion.

3.Experimental design and result analysis

3.1 Experimental design

1). Introduction to data set.

The data set of this study comes from the benchmark data set of Tsinghua University Brain-Computer Interface Research Group (Tsinghua BCI Lab) [13]. The data set was collected from 35 healthy subjects (Among them, 17 women, aged 17-34, with an average age of 22), and the neuroelectrophysiological signals were obtained by using a 64-lead EEG recording system at the original sampling rate of 1000 Hz. In the experiment, the visual stimuli are classified and coded by the joint frequency-phase modulation paradigm. The design includes 40 spelling types of characters, corresponding to 40 characteristic frequencies at intervals of 0.2 Hz in the 8-15.8 Hz frequency band. After six repetitions of each visual stimulus condition, a total of 240 valid test data were obtained. The time sequence structure of a single experiment in the experimental process includes: 0.5 second target prompt, 5 second steady visual stimulus presentation and 0.5 second post-stimulus rest period, with a total duration of 6 seconds. The original data is down-sampled to 250 Hz after pre-processing, so that each trial time series contains 1500 sampling points. In order to suppress power frequency interference, a 50 Hz notch filter was used to eliminate real-time noise throughout the experiment.

2). Data preprocessing.

Firstly, the EEG data matrix is extracted from the .mat file obtained from the data set, and then the signals of 0.5 seconds before stimulation and 0.5 seconds after stimulation are removed, and the valid data of the middle 5 seconds are retained. In

channel selection, because the SSVEP signal is closely related to the parietal lobe and occipital lobe cortex, the 9-channel electrode positions of PZ, PO5, PO3, POz, PO4, PO6, O1, Oz and O2 are adopted in this experiment. Select the EEG channels (numbered 47, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61) in the parietal lobe and occipital lobe. The electrode position of that data set 64 are shown in Fig. 1.

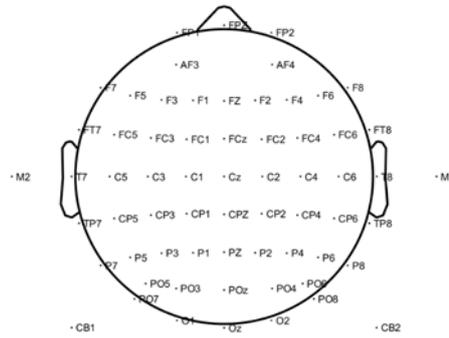


Fig. 1. Schematic diagram of electrode position

3). Design of filter banks.

The filter bank consists of five Chebyshev I bandpass filters. The pass-band frequencies are $[5, 90]$, $[14, 90]$, $[22, 90]$, $[30, 90]$ and $[38, 90]$ Hz, respectively, and the order is 15, and the pass-band ripple is 0.5 dB. The transfer function is expressed in SOS form, as shown in (17).

$$H_m(s) = \frac{\prod_{k=1}^{N_z} (s - z_k)}{\prod_{k=1}^{N_p} (s - p_k)} = \frac{b_0 + b_1s + \dots + b_M s^M}{a_0 + a_1s + \dots + a_N s^N}, \quad (17)$$

where s is a complex frequency variable, z_k is a zero, p_k is a pole, N_z is the number of zeros, and N_p is the number of poles.

The weight coefficient is calculated according to the center frequency of the filter, and the formula is $(i + 1)^{-1.25} + 0.25$, where i is the filter number.

4). Classification method.

Firstly, the complex frequency spectrum characteristics are calculated for the signals processed by each filter. Secondly, the target signal is constructed, and the frequency range is consistent with the stimulation frequency. Then, CCA is used to calculate the correlation between the signal characteristics and the target signal, and the score of each frequency is obtained. Finally, the scores of all filters are weighted and summed, and the frequency with the highest score is selected as the classification result.



5). Performance evaluation.

The performance of BCI based on SSVEP can be measured by different indicators. The most commonly used are recognition accuracy and information transmission rate (ITR). ITR comprehensively reflects the efficiency of the system, and the calculation formula is shown in (18).

$$ITR = \frac{60}{T} \left[\log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \frac{1 - P}{N - 1} \right], \quad (18)$$

where T represents the time (in minutes) required to identify a single test target, N represents the number of targets to be identified, and P represents the identification accuracy. ITR is expressed as bpm in bits per minute.

In this study, two experiments are designed to evaluate the performance of this algorithm:

1. One is ablation experiment, which evaluates the performance of this algorithm by comparing the classification accuracy and ITR of traditional FBCCA algorithm and CFSC-FBCCA fusion algorithm.

2. One is a comparative experiment, which compares with two popular fusion algorithms: FBCCA algorithm based on power spectral density analysis (PSD-FBCCA) and FBCCA algorithm based on adaptive multi-dimensional expansion (AME-FBCCA), and evaluates the performance of this algorithm by comparing the accuracy and ITR of the three algorithms.

3.2 Experimental results and analysis

In the ablation experiment and contrast experiment, the control algorithm and FBCCA adopt the same set of filter banks to form AME-FBCCA and PSD-FBCCA methods. The experimental results of each accuracy obtained by the four algorithms on Benchmark Dataset are shown in Fig. 2.

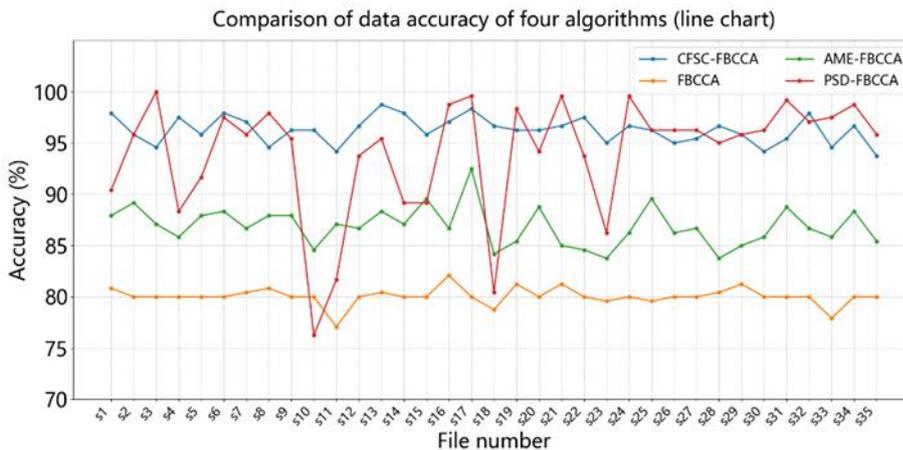


Fig. 2. Comparison of data accuracy of four algorithms (line chart)

From the comparison of the accuracy of the four algorithms, we can see that the CFSC-FBCCA fusion algorithm proposed in this paper has higher accuracy in identifying and classifying SSVEP signals of each file in the data set than the traditional FBCCA algorithm and AME-FBCCA algorithm. Compared with PSD-FBCCA algorithm, although the accuracy of individual files is higher than that of this algorithm, PSD-FBCCA is unstable in identifying and classifying SSVEP signals of different files, and even has anomalies lower than traditional FBCCA algorithm. Compared with PSD-FBCCA algorithm, the CFSC-FBCCA fusion algorithm in this paper is more stable in identifying and classifying SSVEP signals of each file. The experimental results show that the introduction of amplitude-frequency and phase information can effectively improve the classification accuracy and make the classification more stable.

On the average accuracy of SSVEP signal classification, the accuracy of CFSC-FBCCA algorithm proposed in this paper is as high as 96.26 %, which is 16.21 %, 9.37 % and 2.18 % higher than the traditional FBCCA algorithm, AME-FBCCA algorithm and PSD-FBCCA algorithm respectively. The average accuracy of the four algorithms is shown in Fig. 3.

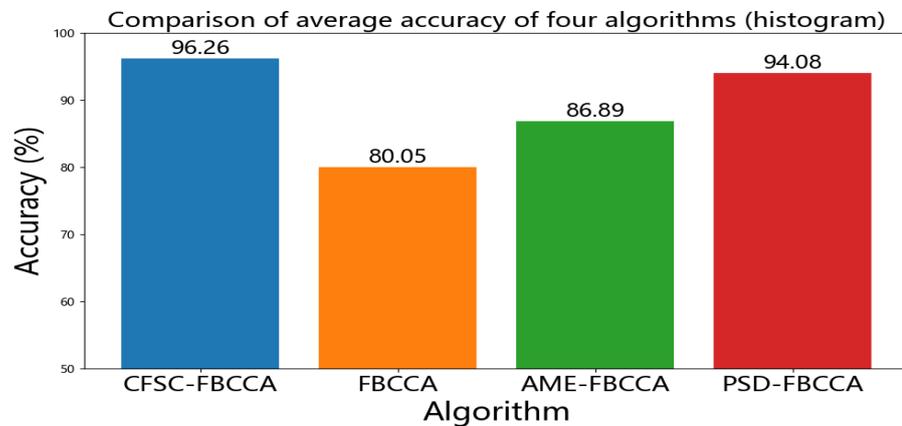


Fig. 3. Average accuracy of four algorithms



The experimental results of each ITR obtained by the four algorithms on Benchmark Dataset are shown in Fig. 4.

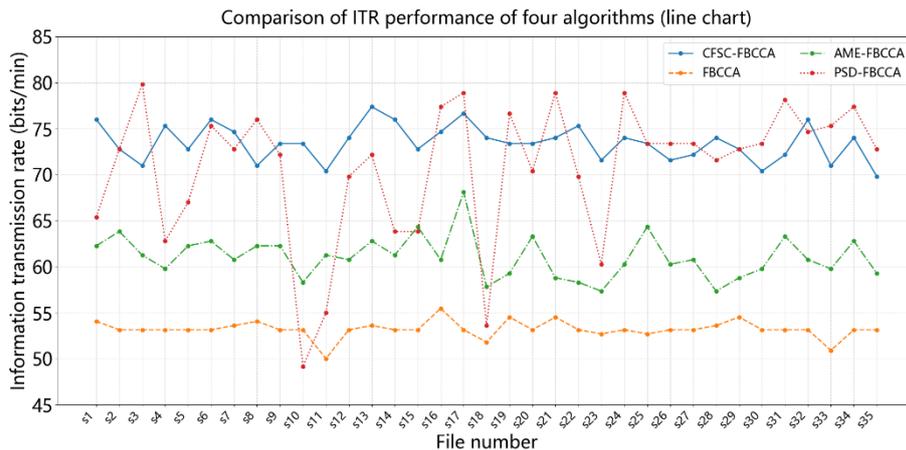


Fig. 4. Comparison of ITR performance of four algorithms (line chart)

From the comparison chart of ITR of the four algorithms, we can see that, similar to the accuracy, the fusion algorithm proposed in this paper has higher ITR than the traditional FBCCA algorithm and AME-FBCCA algorithm, and is more stable than PSD-FBCCA algorithm in identifying and classifying the SSVEP signal of each file. The PSD-FBCCA algorithm has abnormal points in the signal classification of some files, which may be caused by data quality, algorithm characteristics or parameter setting problems.

On the average ITR of SSVEP signal classification, the ITR of the proposed CFSC-FBCCA algorithm is as high as 73.46 bpm, which is 20.26 bpm, 12.39 bpm and 2.64 bpm higher than the traditional FBCCA algorithm, AME-FBCCA algorithm and PSD-FBCCA algorithm respectively. The average ITR of the four algorithms is shown in Fig. 5.

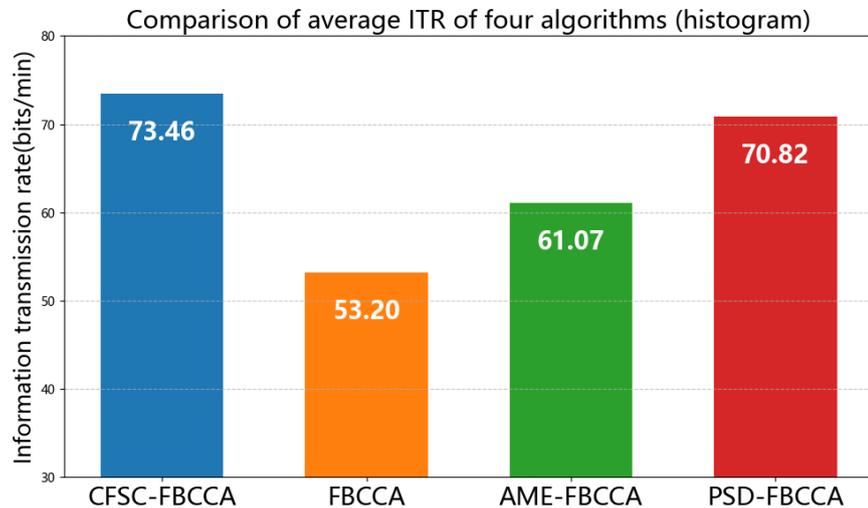


Fig. 5. Average ITR of four algorithms

It can be intuitively seen from the experimental results that the accuracy and ITR of the CFSC-FBCCA fusion algorithm proposed in this paper are higher and faster than the traditional FBCCA algorithm and AME-FBCCA algorithm in the classification of SSVEP signals. Although PSD-FBCCA algorithm has higher accuracy and ITR in the identification and classification of SSVEP signals of individual files, it is unstable and abnormal points will appear. The CFSC-FBCCA fusion algorithm proposed in this paper has better stability.

Conclusion

Aiming at the bottleneck problem of classification performance caused by insufficient utilization of frequency domain features of SSVEP signals, this paper innovatively proposes an SSVEP signal classification algorithm that combines complex frequency spectrum characteristics (CFSC) and filter bank canonical correlation analysis (FBCCA). Different from the traditional FBCCA processing method that only depends on time domain features, CFSC-FBCCA extracts amplitude spectrum and phase spectrum synchronously through fast Fourier transform (FFT), and constructs complex feature vectors to enhance the frequency domain representation ability. At the same time, SOS filter design and vectorization processing strategy are adopted, which effectively improves the computational efficiency and implementation stability of the algorithm. Comparative experiments on benchmark data sets show that CFSC-FBCCA model is superior to existing methods: 1) Compared with traditional FBCCA algorithm, the average classification accuracy is improved by 16.21% (reaching 96.26%), and the information transmission rate (ITR) is improved by 20.26 bpm (reaching 73.46 bpm); 2) Compared with the Adaptive Multidimen-



sional Extension Algorithm (AME-FBCCA) and the Power Spectrum Density Algorithm (PSD-FBCCA), the accuracy is increased by 9.37 % and 2.18 % respectively, and the ITR is increased by 12.39 bpm and 2.64 bpm; 3) In terms of stability, CFSC-FBCCA has no significant performance fluctuation in the classification of 40 frequency categories. Compared with PSD-FBCCA, CFSC-FBCCA solves the problem of outliers, shows stronger robustness and has broad application prospects. However, the algorithm proposed in this paper is only limited to template matching and cannot be applied to the classification model that needs training. Therefore, we will continue to study the classification methods that need training in the future.

References

1. Zhang Xuejun, Yang Jingru. Recognition method of FBCCA EEG signals based on PSD features // *Science, Technology and Engineering*. 2024. Vol. 4. P.1411–1417.
2. Nuri K., Tamer O., Zumray D. Generating ten BCI commands using four simple motor imageries and classification by divergence-based DNN // *Neural Computing and Applications*. 2023. Vol. 35. P.1303–1322.
3. Examining the impact of VR and MR on future teachers' creativity performance and influencing factors by scene expansion in instruction designs / Lu J., Luo T., Zhang M., et al. // *Virtual Reality*. 2022. Vol. 26. P. 1615–1636.
4. EEG-MFNet: a lightweight multi-branch fusion network for EEG signal analysis / Ye Xiaoya, Wang Xiuqing, Ma Haibin, et al. // *Journal of Shandong University (Science Edition)*. 2025. Vol. 1. P. 3–7.
5. Li Xiaoming, Gao Dongrui, Jun Chen. Classification model of SSVEP neural network based on ICEEMDAN decomposition // *Software Guide*. 2025. Vol. 1. P. 3–7.
6. Benda M., Volosyak I. Comparison of different visual feedback methods for SSVEP-based BCIs // *Brain Sciences*. 2020. Vol. 10.
7. Niu S., Zhai D. H., Xia Y. An Improved Multidimensional Filter Bank Canonical Correlation Analysis for Recognition of SSVEP-based BCIs // *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2024.
8. Dong Yanhua, Jing Chenyang, Wang Dadong. Classification method of SSVEP based on one-dimensional neural network and fast Fourier transform // *Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition)*. 2025. Vol. 46. P. 117–124.
9. Guney O. B., Oblokulov M., Ozkan H. A deep neural network for ssvep-based brain-computer interfaces // *IEEE transactions on biomedical engineering*. 2021. Vol. 69. P. 932–944.
10. Cross-subject fusion based on time-weighting canonical correlation analysis in SSVEP-BCIs / Sun Y., Ding W., Liu X., et al. // *Measurement*. 2022. Vol. 199.
11. Filter bank canonical correlation analysis for implementing a high-speed SSVEP-based brain-computer interface // *Journal of neural engineering*. 2015. Vol. 12.
12. Deng Yang. Research on brain-computer interface decoding method of steady-state visual evoked potentials combined with data-driven and knowledge model // *China University of Science and Technology*. 2024.
13. Beta: A large benchmark database toward SSVEP-BCI application / B. Liu, X. Huang, Y. Wang, X. Chen and X. Gao // *Front. Neurosci*. 2020, Vol. 14, Art. № 627.



Заглавие: Алгоритм классификации зрительных сигналов вызванных потенциалов в стабильном состоянии на основе CFSC–FBCCA

Авторы:

Цинь Хуну – Чанчуньский университет, Чанчунь, КНР

Цай Мин – Чанчуньский университет, Чанчунь, КНР

Не Линьлин – Чанчуньский университет, Чанчунь, КНР

Лю Сяоли – Чанчуньский университет, Чанчунь, КНР

Чье Ен Ун – Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

Воронин В. В. – Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

Аннотация: Интерфейс мозг–компьютер (BCI) реализует взаимодействие человека с компьютером путем декодирования сигналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ), среди которых стационарный вызванный зрительный потенциал (SSVEP) стал основой для взаимодействия в этой области из-за его высокого отношения сигнал/шум. Для устранения ограничения традиционного канонического корреляционного анализа банка фильтров (FBCCA) в этой статье предлагается алгоритм классификации сигналов SSVEP, который интегрирует характеристики комплексного частотного спектра (CFSC) с FBCCA. Метод вводит два ключевых новшества: во-первых: одновременное извлечение амплитудной и фазовой информации с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT) для построения сложных признаков в частотной области; во вторых: создание банка фильтров секций второго порядка (SOS) для повышения вычислительной эффективности и стабильности системы. Эксперименты проводились на эталонном наборе данных лаборатории BCI Tsinghua. Результаты показывают, что предлагаемый CFSC–FBCCA достигает пиковой точности классификации 96,26 % и скорости передачи информации (ITR) 73,46 ударов в минуту, что представляет собой улучшение на 16,21 % и 20,26 ударов в минуту по сравнению с традиционным FBCCA соответственно. Результаты сравнения с существующими методами показывают преимущество предлагаемого подхода с точки зрения надежности классификации, точности и ITR. Представляется, что данное исследование предоставляет новое решение для высокоточных систем SSVEP–BCI в реальном времени с широкими перспективами применения.

Ключевые слова: зрительный потенциал, частотный спектр, SSVEP, анализ канонической корреляции банка фильтров, интерфейс мозг–компьютер



УДК 004.896

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-47-54>

С. В. Сай, Д. О. Митасов

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПОИСКА МНОЖЕСТВА ШАБЛОНОВ В ДАННЫХ

Сай С. В. – д-р техн. наук, профессор высшей школы кибернетики и цифровых технологий, ТОГУ, г. Хабаровск, e-mail: 000493@togudv.ru; *Митасов Д. О.* – аспирант высшей школы кибернетики и цифровых технологий, ТОГУ, г. Хабаровск, e-mail: 2019105092@togudv.ru

В статье рассматриваются способы решения задачи эффективного поиска множества шаблонов в массивах данных. Описывается алгоритм Ахо-Корасик. Приводятся различные варианты реализации алгоритма, рассматриваются их плюсы и минусы. Приводятся методы оптимизации алгоритма и конкретная реализация, эффективная как в плане вычислительной, так и в плане пространственной сложности. Представленные в статье результаты измерений позволяют сделать вывод об эффективности приведенных в статье методов.

Ключевые слова: хэш-таблица, открытая адресация, Ахо-Корасик, поиск шаблонов, алгоритмы на строках, префиксное дерево

Введение

Поиск шаблонов в больших массивах данных является одной из ключевых задач в области обработки информации [1]. Данная задача охватывает множество приложений: поиск определенного множества ключевых слов или фраз в текстовых файлах; поиск записей в базе данных, соответствующих множеству шаблонов; поиск вредоносных программ по их сигнатурам в файлах и потоках данных; анализ сетевого трафика по определенному набору ключевых слов в целях обеспечения безопасности или сбора статистики и т.д.

С увеличением объема данных и требований к скорости обработки информации, традиционные методы поиска становятся неэффективными. Несмотря на наличие специализированных алгоритмов для решения данной задачи, чаще всего разработчику приходится выбирать между вычислительной и пространственной сложностью алгоритма.

В случае если информация хранится на каком-то носителе и меняется редко, целесообразно использовать индексирование информации (именно

предварительное индексирование чаще всего обеспечивает быстрый поиск в текстовых файлах в популярных операционных системах).

В случае если поиск приходится выполнять «на лету» (примером может служить анализ сетевого трафика), предварительное индексирование может оказаться неприемлемым. Наивный алгоритм поиска шаблонов [2] в строке (путем прямого перебора) имеет временную сложность (в «O – нотации») $O(M * N)$ где M – длина строки, в которой выполняется поиск (в рамках данной статьи будем считать любой массив информации строкой) а N – общая длина всех шаблонов. Более быстрым вариантом является использование специализированных алгоритмов поиска шаблона в тексте, например алгоритм Кнута-Морриса-Пратта или алгоритм Бойера-Мура [3]. Поиск всех шаблонов с использованием специализированного алгоритма для каждого шаблона даст временную сложность $O(M * S + N)$ где S – количество шаблонов, что значительно лучше наивного решения. Однако более правильным подходом является использование алгоритмов, в которых шаблоны не рассматриваются независимо друг от друга. Одним из таких алгоритмов является алгоритм Ахо-Корасик [4]. Данный алгоритм позволяет получить вычислительную сложность $O(M + N)$ и используется, например, в системной утилите `grep` ОС Linux [5] при одновременном поиске нескольких шаблонов. В данной статье рассмотрим принцип работы данного алгоритма, плюсы и минусы различных вариантов реализации алгоритма, а также опишем методы оптимизации алгоритма для решения распределенных проблем.

Описание алгоритма Ахо-Корасик

Алгоритм Ахо-Корасик предполагает построение из набора шаблонов [6] специальной структуры данных – «префиксного дерева» (другое название – «бор», также часто используется английское обозначение «trie» - соединение слов «tree» — дерево, и «information retrieval» — поиск информации). Каждая вершина (узел) в дереве соответствует определенной комбинации символов, то есть фактически является отдельной подстрокой, входящей в один или несколько шаблонов (рис. 1).

В дереве имеется корневой узел, соответствующий пустой строке, терминальные (конечные) узлы, соответствующие определенному шаблону (на рисунке отмечены белым цветом) и промежуточные узлы (на рисунке отмечены серым цветом). Каждый узел должен хранить указатели на свои дочерние узлы, являющиеся продолжением текущей строки (дополняющие текущую вершину каким-либо символом). Например, в дереве, представленном на рис. 1, записаны шаблоны `a`, `c`, `ab`, `bc`, `bca`, `caa`. Корневой узел хранит указатели (переходы) на узлы `a`, `b`, `c` (переходы помечены черным цветом).

Изначально дерево содержит только корневой узел. Для добавления шаблона в дерево (на примере шаблона `bca`): берется первый символ в шаблоне (символ `b`); -если из корневого узла есть переход по символу `b`, переходим в узел, соответствующий `b`, иначе добавляем в дерево новый узел, а в список



переходов корневого узла добавляем переход на b; аналогичным образом появляются узлы bc и bca; при добавлении либо переходе в узел, соответствующий последнему символу в шаблоне, данный узел помечается как терминальный.

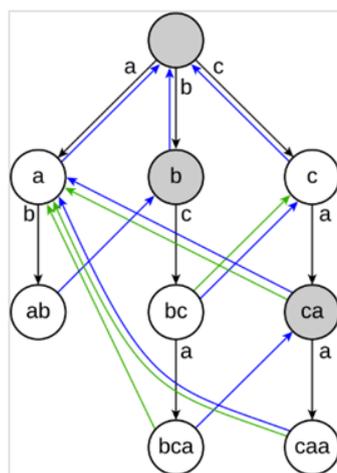


Рис. 1. Префиксное дерево

Процесс поиска шаблонов в тексте осуществляется похожим способом. Последовательно перебираются все символы строки, и для каждого символа проверяется наличие перехода из текущего узла. Если переход есть – переходим в нужный узел, иначе – пропускаем символ и начинаем поиск в боре с корня. Если в ходе движения по бору встречается терминальный узел – отмечаем наличие данного шаблона в тексте. При этом использовать для поиска только прямые переходы недостаточно.

Чтобы иметь возможность добраться до всех шаблонов, в боре должны быть расставлены суффиксные ссылки. Суффиксной ссылкой называется переход в другой узел, соответствующий максимальному собственному суффиксу строки текущего узла. Каждый узел бора помимо прямых переходов в обязательном порядке хранит суффиксную ссылку. Помимо суффиксных ссылок, в боре, как правило, расставляются финальные (конечные) ссылки. Финальной ссылкой называется переход на ближайший доступный через суффиксные ссылки терминальный узел.

Основное различие между различными вариантами реализации алгоритма Ахо-Корасик заключается в способе хранения переходов в узлах. Именно способ хранения переходов в большей степени определяет эффективность алгоритма, его вычислительную и пространственную сложность. Можно выделить четыре способа хранения переходов: - в списке ребер; в бинарном дереве поиска; в хэш-таблице; в массиве переходов длины S , где S – размер используемого алфавита. При использовании списка переходов, каждый узел содержит список пар ключ – значение, где ключом является искомый символ, а значе-

нием указатель на нужный узел. При появлении нового узла в процессе построения дерева, в список переходов родительского узла добавляется пара с указателем на новый узел. Для перехода к следующему узлу при продвижении по бору, необходимо найти ребро, помеченное соответствующим символом, для чего требуется полный перебор списка. При таком способе хранения сложность поиска нужного перехода в каждом узле составляет $O(S)$, где S – размер алфавита.

При использовании бинарных деревьев поиска (далее – BST, англ. binary search tree) сложность поиска перехода в каждом узле составляет $O(\log S)$, скорость поиска перехода выше, чем при использовании списка переходов. Однако при увеличении размера алфавита, скорость данной реализации снижается.

При использовании хэш-таблиц сложность поиска перехода в узле составляет в среднем $O(1)$. Скорость алгоритма выше, чем при использовании BST, особенно для реализаций, предполагающих перебор всех возможных значений байта (где размер алфавита соответственно равен 256).

При использовании массива переходов длины S , на позиции с индексом i хранится ссылка на ребро, соответствующее i -му символу алфавита. Переход по каждому символу выполняется за $O(1)$. При этом не требуется вычисление хэша, как в случае с хэш-таблицами. Реализации, предполагающие использование массивов фиксированной длины, как правило, самые эффективные по скорости, однако имеют существенный недостаток – крайне неэффективное расходование памяти. Каждый узел хранит массив фиксированной длины независимо от того, какое количество переходов действительно существует из данного узла.

На практике, как правило, приходится выбирать между скоростью алгоритма и потребляемой памятью:

- при необходимости обеспечить максимальную скорость поиска шаблонов используют реализацию на массивах фиксированной длины. Пример реализации алгоритма Ахо-Корасик с использованием массивов фиксированной длины можно найти на популярном среди разработчиков ресурсе habr.com [7]. Данный пример будем использовать для сравнения эффективности различных вариантов реализации (далее по тексту данная реализация именуется как `fixed_array_aho`);

- при необходимости обеспечить максимально эффективное расходование памяти используют реализации на BST. Пример классической реализации алгоритма Ахо-Корасик с использованием BST можно найти на сайте wikipedia.org [8]. Данный пример также будем использовать для сравнения эффективности различных вариантов реализации (далее по тексту данная реализация именуется как `bst_aho`).

Реализация эффективного алгоритма поиска шаблонов

В классических реализациях алгоритма [6], процедура поиска шаблонов (выполняемая после построения дерева) как правило, включает следующие



подзадачи: проверить наличие прямого перехода по текущему символу строки; в случае отсутствия прямого перехода, двигаться по суффиксным ссылкам в поисках перехода на нужный символ из узлов, являющихся суффиксами начального узла; - в случае, если узел, на который был выполнен переход, является терминальным, отметить наличие данного шаблона в тексте; в случае, если в узле, на который был выполнен переход, имеются финальные ссылки, пройти по финальным ссылкам и отметить наличие в тексте всех шаблонов, на которые они указывают.

Первое отличие нашего алгоритма (назовем его `fast_aho`) заключается в способе хранения переходов. Вместо классической древовидной структуры бора с хранением списка переходов в каждом узле, будем использовать одну структуру данных для хранения всех возможных переходов из всех узлов. В качестве хранилища будем использовать хэш-таблицу с открытой адресацией. Данный способ хранения выгодно отличается от всех вышеперечисленных по следующим причинам: размещение информации обо всех переходах в одном непрерывном участке памяти позволяет эффективно использовать кэш процессора (в отличие от любого варианта реализации с отдельным хранилищем в каждом узле); скорость поиска нужного перехода составляет $O(1)$ в среднем, однако, в отличие от варианта с массивами фиксированной длины (`fixed_array_aho`), память расходуется только на те переходы, которые действительно существуют и никак не зависит от размера алфавита; более эффективно расходуется память ввиду отсутствия накладных расходов на хранение служебных полей в случае использования отдельных контейнеров в каждом узле (например, в `bst_aho` размер `std::map<char, int>` составляет 24 байта, при этом в контейнере может храниться всего несколько элементов).

Первый вопрос, который возникает при выборе данного способа хранения – как однозначно идентифицировать переход из конкретного узла по конкретному символу (что использовать в качестве ключей)? Для получения ключа будем использовать комбинацию из номера узла в боре, из которого осуществляется переход (узлы будем нумеровать по порядку добавления в бор) и номера символа, по которому осуществляется переход (согласно таблице ASCII). Например, имеется узел `sa` (рис. 1). Допустим, узел `sa` имеет индекс 7 (в порядке добавления в бор). Из узла имеется переход по символу `a` в узел `саа`. Узел `саа` имеет индекс 8. Символ `a` имеет номер 97 согласно таблице ASCII. С учетом того, что каждый символ кодируется одним из 256 возможных значений, ключ можно представить комбинацией: $7 * 1000 + 97$. Таким образом, уникальный ключ, по которому можно проверить наличие перехода из узла с индексом 7 по символу `a`, получает номер 7097. Однако более предпочтительным вариантом является использование битовых операций, например, сдвиг значения индекса на 8 байт и запись в младшие 8 байт значения символа: $7 \ll 8 + 97$. В результате данной операции получим ключ 1889, а в хэш-таблицу будет записана пара `{1899, 8}`.

Следующей оптимизацией является исключение цикла (либо рекурсии) для движения по суффиксным ссылкам. В классическом варианте алгоритма

(`fixed_array_aho`, `bst_aho`), в случае отсутствия прямого перехода по нужному символу, выполняется (итеративно или рекурсивно) движение по суффиксным ссылкам в поисках нужного перехода вплоть до корневого узла. Вместо этого, в нашей реализации, для каждого узла, на этапе инициализации, проверим, по каким символам имеются переходы из данного узла через суффиксные ссылки. Информацию обо всех переходах запишем в ту же хэш-таблицу, в которой хранится информация о прямых переходах.

Еще одной оптимизацией является способ обхода финальных ссылок. В приведенных реализациях (`fixed_array_aho`, `bst_aho`), при переходе в очередной узел, выполняется проверка, является ли он терминальным, после чего выполняется обход финальных ссылок. При этом, в одни и те же узлы бора можно попадать сотни раз (особенно актуально проверки наличия шаблонов в массиве информации большого объема). Стоит обратить внимание, что для каждого узла бора, при очередном прохождении через данный узел будет выполняться один и тот же цикл прохода по финальным ссылкам. Вместо этого, в нашей реализации, заведем счетчик прохода узлов бора. Каждый раз при проходе определенного узла, счетчик для данного узла будет увеличиваться на единицу. После прохода всего текста, если, например, узел N был пройден 10 раз, цикл обхода его финальных ссылок будет запущен один раз, а для каждого шаблона, на который указывает финальная ссылка, число вхождений будет увеличено на 10 (вместо запуска цикла 10 раз в случае стандартной реализации).

Таким образом, все необходимые расчеты будут выполнены на этапе инициализации класса `fast_aho`. Благодаря кэшированию, из операции поиска шаблонов будут исключены циклы прохода по суффиксным и финальным ссылкам. Скорость получения информации о наличии любого перехода (как прямого так и через суффиксные ссылки) составляет $O(1)$, однако, в отличие от `fixed_array_aho`, память расходуется значительно более эффективно и выделяется для хранения информации только о существующих переходах. Ознакомиться с полной реализацией алгоритма можно в репозитории GitHub по ссылке https://github.com/danil35657/fast_aho.git

Сравнение скорости работы

В ходе тестирования использовались тестовые наборы данных различной длины. На графиках представлены результаты замеров скорости поиска шаблонов в тестовой строке размером 17000 символов при изменении общей длины шаблонов от 500 до 5000 символов. Также проводились измерения объема используемой памяти в зависимости от размера шаблонов. На рисунке 2 представлен график зависимости скорости поиска шаблонов в тексте от общей длины всех шаблонов.

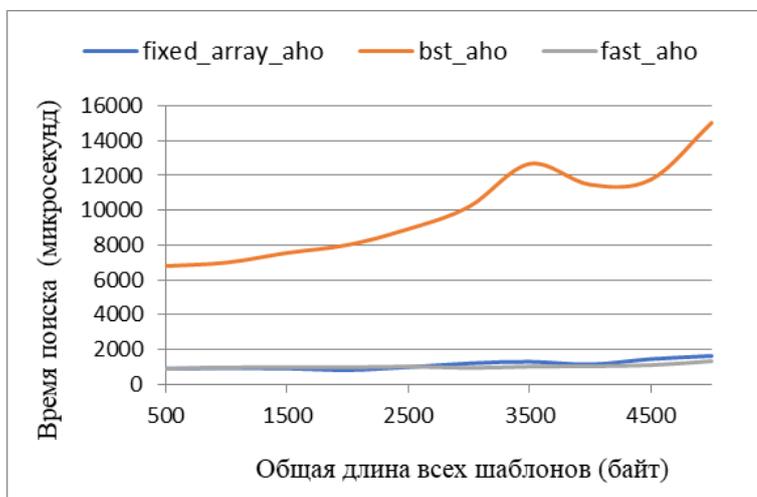


Рис. 2. Зависимость скорости поиска от общей длины шаблонов

Представленный график наглядно демонстрирует низкую скорость поиска шаблонов при использовании бинарных деревьев поиска и высокую скорость работы алгоритма с использованием массивов фиксированной длины. При этом скорость алгоритма fast_aho сопоставима со скоростью fixed_array_aho.

На рисунке 3 представлен график зависимости размера используемой памяти от общей длины всех шаблонов.

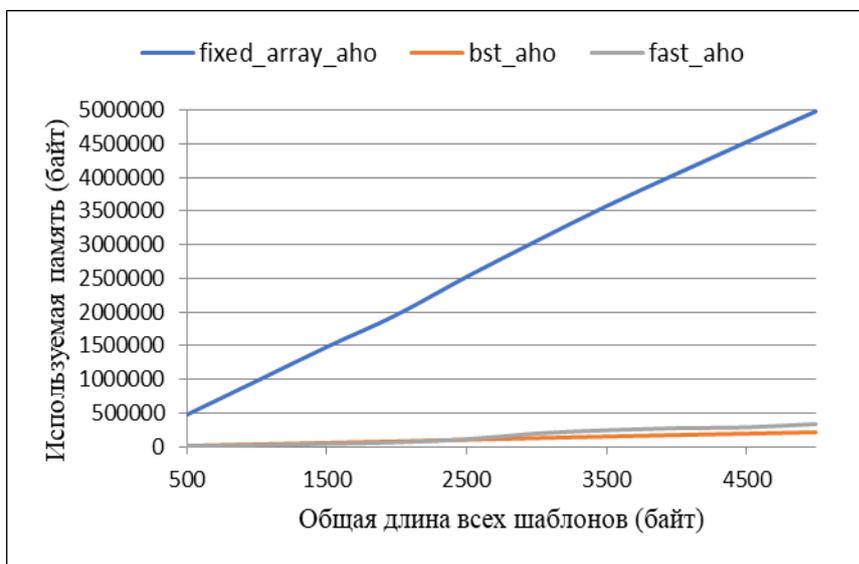


Рис. 3. Зависимость объема потребляемой памяти от общей длины шаблонов

На данном графике алгоритмы fixed_array_aho и bst_aho буквально меняются местами. Отчетливо наблюдается главный недостаток использования массивов фиксированной длины, в то время как алгоритм bst_aho показывает свою эффективность в



плане использования памяти. Пространственная сложность алгоритма `fast_aho` при этом сопоставима с реализациями на BST.

Из представленных графиков можно сделать вывод об эффективности представленных в статье методов оптимизации.

Заклучение

В статье дано описание алгоритма поиска множества шаблонов в тексте Ахо-Корасик. Рассмотрены плюсы и минусы различных вариантов реализации алгоритма. Приведены методы оптимизации алгоритма и конкретный вариант реализации, эффективный одновременно как в плане вычислительной, так и в плане пространственной сложности, что выгодно отличает его от остальных реализаций по скорости работы и вычислительной сложности.

Библиографические ссылки

1. Кнут Д. Э. Искусство программирования. Т. 3. Сортировка и поиск. 3-е изд. М. : Вильямс, 2019. 834 с.
2. Смит Б. Методы и алгоритмы вычислений на строках : пер. с англ. М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2006. 496 с.
3. Боровский А. Алгоритмы поиска в тексте. URL : <https://www.rsdn.org/article/alg/textsearch.xml> (дата обращения: 06.06.2025).
4. Ахо А., Корасик Г. Быстрый множественный поиск строк // Информационные процессы. 1975. Т. 1. С. 155-166.
5. Стивенс У. Р., Раго С. А. UNIX. Профессиональное программирование. 3-е изд. СПб. : Питер, 2018. 1065 с.
6. Алгоритм Ахо-Корасика для поиска шаблонов. URL : <https://www.geeksforgeeks.org/aho-corasick-algorithm-pattern-searching/> (дата обращения: 07.05 2025).
7. Алгоритм Ахо-Корасик. URL : <https://habr.com/ru/articles/198682/> (дата обращения: 06.06.2025).
8. Алгоритм Ахо-Корасик. URL : https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Ахо_—_Корасик#cite_note-2 (дата обращения: 06.06.2025).

Title: Optimization Methods for Searching for Multiple Patterns in Data

Authors' affiliation:

Sai S. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Mitasov D. O. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: In the article the authors consider ways to solve the problem of efficient searching for multiple patterns in data arrays. The Aho-Korasik algorithm is described. Various variants of the algorithm implementation are given, their pros and cons are considered. Optimization methods of the algorithm and a specific implementation, effective both in terms of computational and spatial complexity, are presented. The measurement results presented in the article allow us to conclude that the methods described in the article are effective.

Keywords: hash table, open addressing, Aho-Korasik, pattern search, string algorithms, prefix tree



УДК 681.518

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-55-64>

И. В. Богачев, А. А. Подтергера, Н. В. Мацибурский

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ С АДАПТИВНЫМ ВЫБОРОМ ЦИКЛИЧЕСКОГО ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОГО КОДА

Богачев И. В. – канд. техн. наук, доцент высшей школы кибернетики и цифровых технологий, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: 010608@togudv.ru; *Подтергера А. А.* – студент высшей школы кибернетики и цифровых технологий, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: 2020101924@togudv.ru; *Мацибурский Н. В.* – студент высшей школы кибернетики и цифровых технологий, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: 2021103925@togudv.ru

В работе предлагается и исследуется алгоритм адаптивного выбора как помехоустойчивого кода из некоторого их множества, так и их параметров с целью обеспечения эффективной и надежной передачи данных в помехозащищенной телеметрической системе. В процессе исследования предложенных решений было показано, что использование адаптивного алгоритма позволяет значительно повысить эффективность и быстроту системы передачи данных, который в лучшем случае увеличивает эффективность передачи на 300%, а в худшем случае на 15%.

Ключевые слова: телеметрическая система, передача данных, канал связи, помехозащищенное кодирование

Введение

В современном мире объемы передаваемых и обрабатываемых данных постоянно растут [1]. Это связано с развитием интернет-технологий, увеличением количества пользователей мобильных устройств, развитием облачных технологий и т.д. В таких условиях особенно важно обеспечить надежную передачу данных, минимизируя вероятность ошибок и потерю информации. При этом условия, в которых должны функционировать каналы связи могут значительно варьироваться в зависимости от множества факторов.

© Богачев И. В., Подтергера А. А., Мацибурский Н. В., 2025

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-20063, <https://rscf.ru/project/24-21-20063/> и Министерства образования и науки Хабаровского края (Соглашение № 113С/2024)

Адаптивный выбор помехозащищенного кода позволяет системе автоматически подстраиваться под текущие условия передачи, выбирая оптимальный код для обеспечения максимальной надежности и эффективности [2, 3]. Важно заметить, что современные телеметрические системы часто работают в условиях недостаточности вычислительных ресурсов и ограниченной скорости каналов связи. В таком случае адаптивный выбор помехозащищенного кода может способствовать более эффективному использованию этих ресурсов, позволяя снизить нагрузку на канал связи и в том числе уменьшить технико-экономические затраты.

Исследование влияния состояния канала связи на эффективность работы помехозащищенных кодов

В данной работе исследуется эффективность комбинированного применения кодов Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ) и Рида-Соломона (РС). Этот выбор обосновывается особенностью данного типа кодов, заключающейся в том, что они позволяют исправлять не менее некоторого заранее известного числа ошибок [4], что в свою очередь позволяет выбирать их параметры на основе оценки состояния канала связи.

Основные параметры БЧХ кода задаются образующим полиномом, для построения которого необходимо знать длину кода n и его корректирующую способность t . Следует учитывать, что длина кода не может быть задана произвольным образом, а число кодируемых бит k определяется парой значений n и t . При этом наибольшее распространение получили простые БЧХ коды, кодовая длина которых удовлетворяет следующему условию: $2^m - 1$, для $m \geq 3$, где m – степень порождающего полинома. Для таких кодов нет простого выражения, позволяющего напрямую связать их параметры с требуемым уровнем помехоустойчивости, поэтому параметры БЧХ кодов для $3 \leq m \leq 8$, длина которых не превышает 255, приведены в работе [5].

Параметры РС кода также задаются тройкой чисел n , k и t . Данный код формирует один из n символов поля Галуа $GF(n)$, для каждой группы, содержащей последовательно информационные символы. Коды РС называют линейными кодами потому, что они образованы набором блоков фиксированной длины, в которых каждый элемент кодового слова выбирается из алфавита q – символов. Коды РС имеют максимально возможные минимальные кодовые расстояния, обеспечивающие наибольшую корректирующую способность по сравнению с другими линейными кодами. Параметры РС кода выбираются оптимальными в зависимости от пропускной способности канала связи и требуемой помехоустойчивости. При этом важно заметить, что РС код кодирует в символах $GF(n)$, в связи с чем необходимо переводить символы из поля $GF(n)$ в двоичный вид.

С целью определения возможности эффективности совместного использования РС и БЧХ кодов предлагается провести следующее исследование, приняв ширину полосы пропускания канала связи равной 64 бита. В таком случае для БЧХ кода оптимальным будет выбор кода с $n = 63$, а для РС кода – кода с $n = 15$ в поле $GF(4)$, что в переводе в двоичный вид даст $n = 60$.



На рис. 1-2 изображены графики зависимости количества передаваемых данных от максимально возможного количества ошибок, которое коды могут восстановить, при этом для первого исследования размер блока был выбран равный 63 битам для БЧХ кода и 60 бит для РС кода (рис. 1).

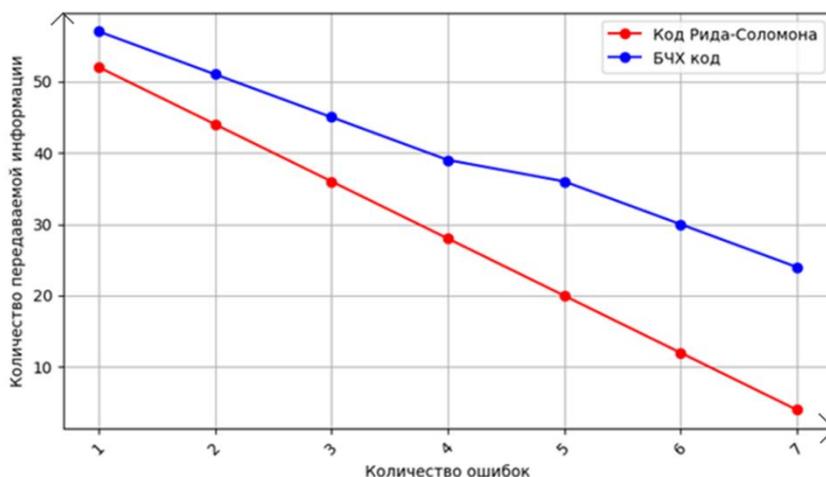


Рис. 1. График зависимости количества ошибок от размера данных (64 бита)

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что БЧХ код оказывается эффективнее при передаче данных на всем интервале количества ошибок. Это обусловлено тем, что при таком значении ширины пропуска канала связи, она наиболее близка к значению n параметра БЧХ кода.

В следующем исследовании размер блока был выбран равный 127 бит для БЧХ кода и 155 бит для РС кода (рис. 2).

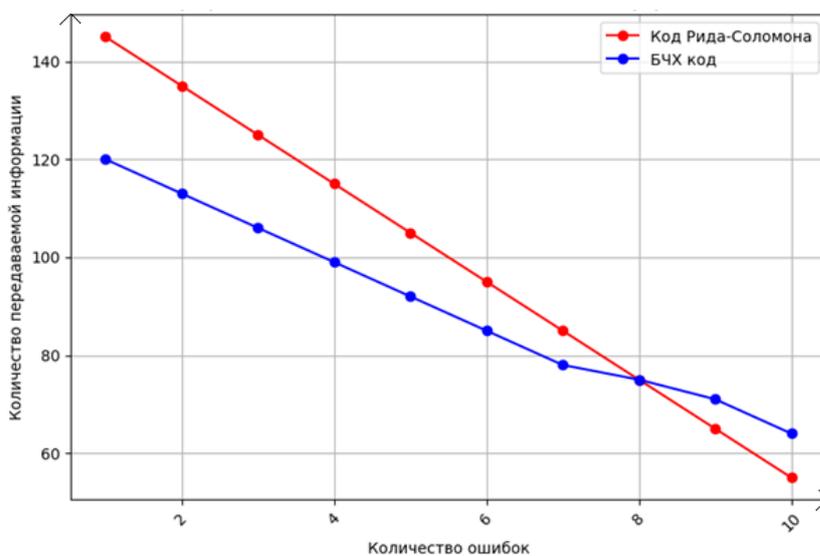


Рис. 2. График зависимости количества ошибок от размера данных (155 бит)

Теперь анализ полученных результатов показал, что РС код оказывается эффективнее для передачи данных практически на всем интервале ошибок. Это обусловлено тем, что при таком значении ширины пропускания канала связи, ближе к значению n параметра РС кода.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что если скорость канала связи лежит между степенью числа 2, то использовать РС код эффективнее, если же скорость канала близка к степени 2, то следует использовать БЧХ.

Разработка алгоритма адаптивного помехоустойчивого кодирования

В данной работе описан алгоритм, который позволяет адаптивно выбирать помехоустойчивый код в зависимости от состояния канала связи, при этом для вычисления ошибки используется косвенный метод оценки канала связи. Адаптивный алгоритм выбирает оптимальный БЧХ или РС код, который способен передать наибольшее количество символов и одновременно с этим, длина которого наиболее близка к пропускной способности канала связи, при условии, что он обладает способностью восстановить то количество ошибок, которое может принести передача данных по каналу связи в его текущем состоянии.

В общем виде тестовая модель телеметрической системы с блоками адаптивного помехоустойчивого кодирования представлена на рис. 3.

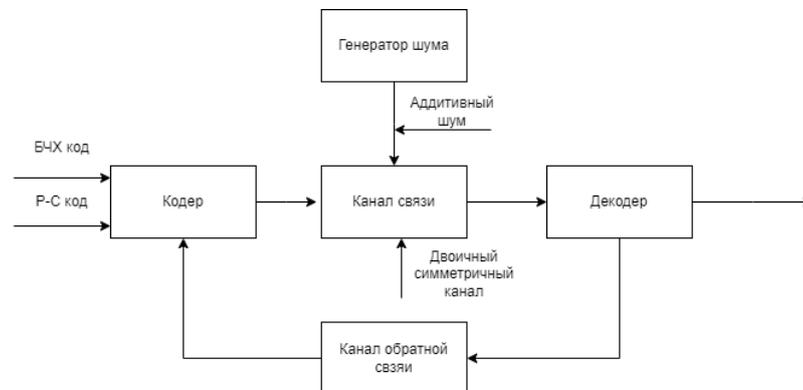


Рис. 3. Модель помехозащищенной телеметрической системы

В качестве математической модели канала связи был выбран двоичный симметричный канал, представляющий собой дискретный канал без памяти, имеющий симметричные вероятности перехода, двоичный алфавит для входа и выхода. Такая модель включает в себя некоторый источник ошибок с равномерным законом распределения, генерирующий случайную битовую последовательность, каждый элемент которой суммируется по модулю два с соответствующим элементом передаваемого по каналу отсчета.



Процесс передачи данных начинается с отправки незакодированных эталонных данных. В процессе передачи данные искажаются в соответствии с равномерно с некоторой известной (заранее заданной) вероятностью. После чего по результату приема, вычисляется вероятность ошибки в канале связи по каналу обратной связи это значение поступает в кодер, который на основе полученных данных выбирает оптимальный код. Далее данные кодируются этим кодом и отправляются в канал связи, после чего декодер производит декодирование данных и подсчет количества ошибок для последующего анализа. Через заданное количество итераций, эталонные данные передаются заново и на основании полученной вероятности ошибки выбирается новый код. Таким образом процесс повторяется пока не будут переданы все данные.

При проведении исследования были выбраны следующие предельные значения параметров: пропускная способность канала связи ограничивалась величиной в 192 бита, заданная вероятность ошибки составила 0,05, размер данных составил 1000 бит, а для оценки кодов использовалась тестовая выборка размером равной ширине полосы пропускания канала связи.

Результат оценки эффективности адаптивного выбора помехозащищенного кода представлен на рис. 4.

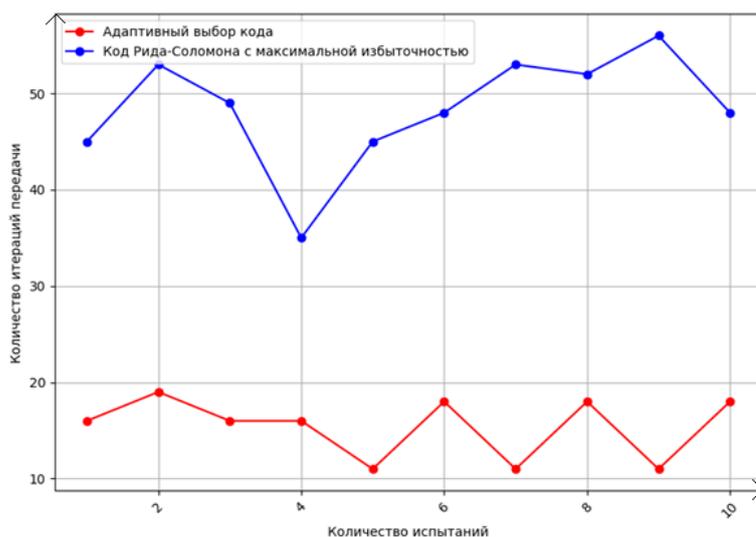


Рис. 4. Графики оценки эффективности работы адаптивного алгоритма

Предложенный в работе алгоритм сравнивался со случаем, когда оценка не производится, а данные кодируются кодом с максимальной избыточностью, способным целиком их закодировать, в данном исследовании с этой целью использовался РС код с параметрами $n = 31$, $k = 11$, $t = 10$. Данное решение было принято ввиду того, что такой подход наиболее часто применяется в системах, не использующих адаптацию к состоянию канала, и тем самым относительно него наиболее рационально сравнивать предложенный в работе алгоритм. Анализ полученных результатов показывает, что, адаптивный алгоритм передает данные за наименьшее количество итераций, обеспечивая при этом требуемую помехоустойчивость.

Графики фактической, заданной и ошибки декодирования данных приведены на рис. 5.

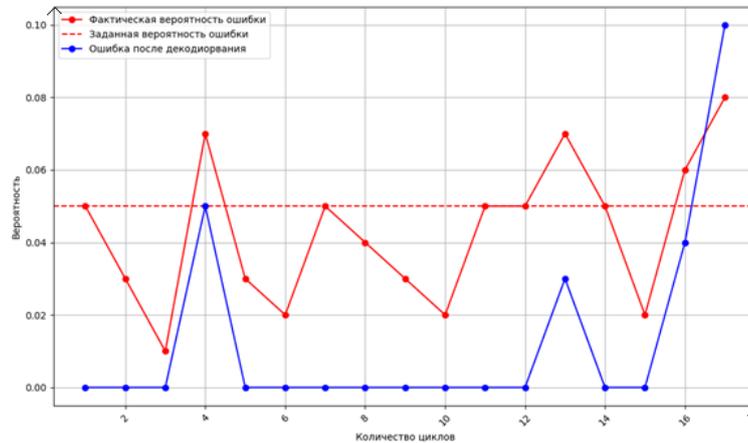


Рис. 5. Графики общей оценки эффективности работы алгоритма

Из представленных результатов видно, что при резком повышении вероятности ошибки, до значения большего, чем при передаче эталонной последовательности, система не может полностью восстановить информацию и в таком случае происходит повторная отправка данных.

Также были проведены исследования, в которых менялось значение ошибки в процессе передачи со значения 0,02 до 0,05 и со значения 0,07 до 0,02, результаты которых приведены на рис. 6 и 7 соответственно.

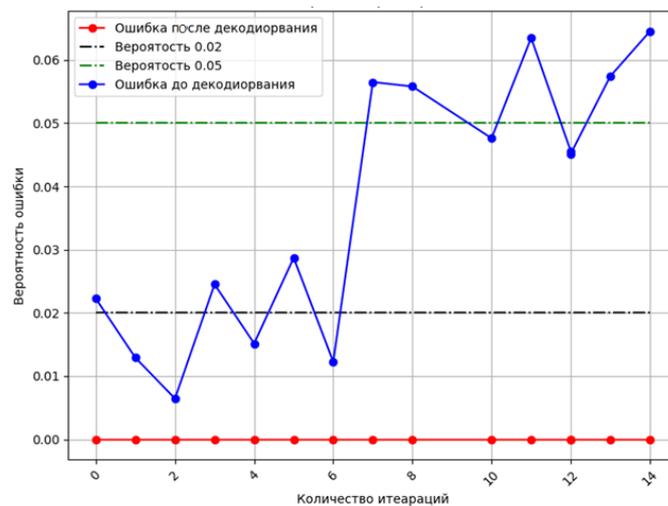


Рис. 6. График оценки эффективности работы адаптивного алгоритма при росте вероятности ошибки

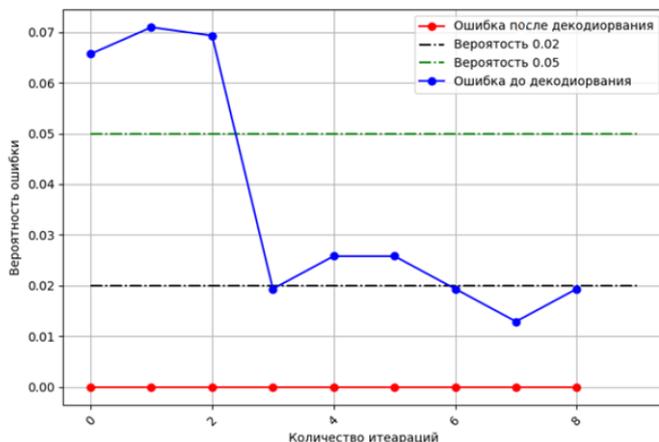


Рис. 7. График оценки эффективности работы адаптивного алгоритма при падении вероятности ошибки

Данные исследования показали, что предложенный адаптивный алгоритм точно подстраивается под вероятность ошибки и обеспечивает полное восстановление данных.

В ходе следующих исследований, результаты которых приведены на рис. 8 и 9, были построены графики выбора БЧХ и РС кодов, при этом был увеличен до 5000 бит размера данных, вероятность ошибки составила 0,05, а пропускная способность канала связи ограничивалась величиной в 192 и 130 бит соответственно.

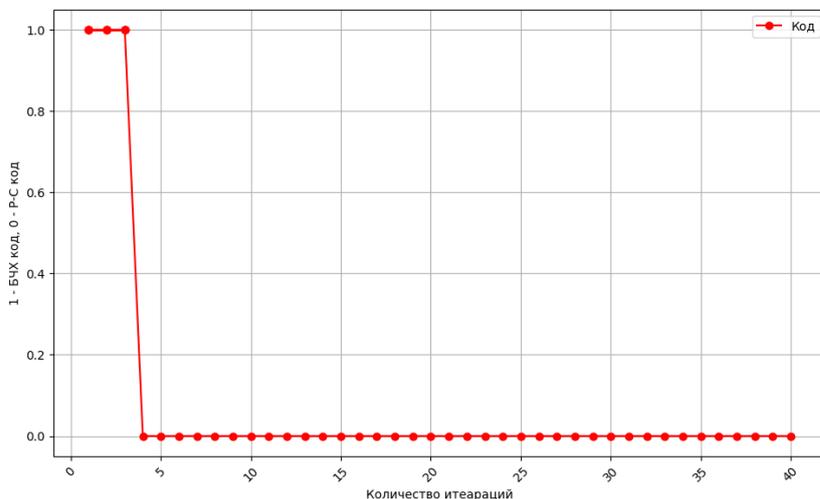


Рис. 8. График выбора БЧХ и РС кодов при повышенной пропускной способности канала связи

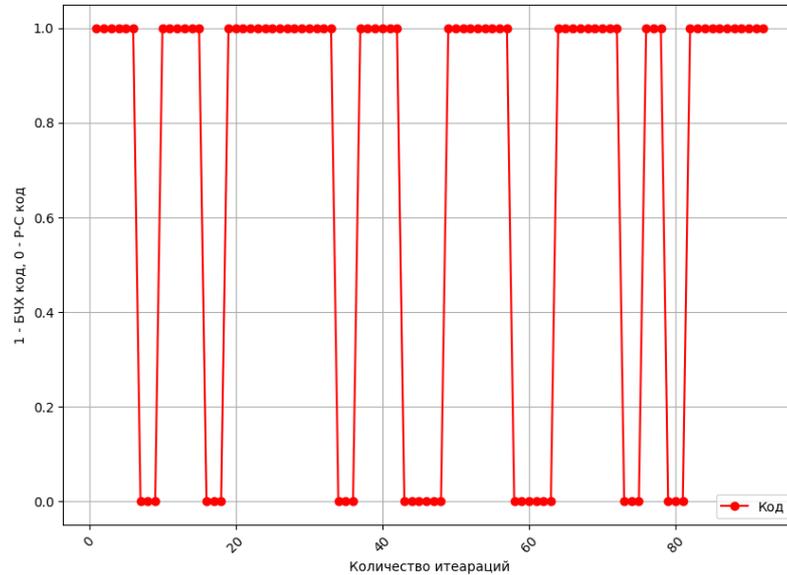


Рис. 9. График выбора БЧХ и РС кодов при пониженной пропускной способности канала связи

Исследование показало, что при размерности канал связи 192 бита и вероятности ошибки 0,05 на первые четыре итерации наиболее оптимальным оказывается выбор БЧХ кода, который один раз и до конца передачи сменяется РС кодом. В случае более низкой пропускной способности канала связи наблюдается уже иная картина, так на первые четыре итерации выбирается БЧХ код, затем РС код, а далее БЧХ и РС коды работают постоянно, поочередно сменяя друг друга.

В таблице 1 приведены результаты исследования, в котором сравнивалась эффективность использования РС кода с максимальной избыточностью, параметры которого приняли следующие значения $n = 31$, $k = 11$, $t = 10$ с использованием адаптивного алгоритма.

В таблице 2 приведены результаты исследования, в котором максимальная избыточность была заменена на оптимальную для данных условий работы канала связи, для чего использовался РС код с параметрами $n = 31$, $k = 21$, $t = 5$.

Исходя из анализа результатов обоих исследований можно сделать вывод, что адаптивный алгоритм передает данные в среднем от 15% до 3 раз быстрее чем соответствующий код со статическими параметрами при сохранении одинаковой достоверности передачи данных.



Таблица 1

Эффективность работы адаптивного алгоритма по сравнению с выбором кода с максимальной избыточностью

№	Количество циклов передачи без адаптации	Количество циклов передачи с адаптацией	Во сколько раз быстрее
1	52	15	3,47
2	36	12	3,00
3	57	17	3,35
3	51	12	4,25
4	45	18	2,50
5	48	21	2,29
6	53	19	2,79
7	43	14	3,07
8	40	16	2,50
9	54	20	2,70
10	42	14	3,00

Таблица 2

Эффективность работы адаптивного алгоритма по сравнению с выбором кода с оптимальной избыточностью

№	Количество циклов передачи, без адаптации	Количество циклов передачи, с адаптацией	Во сколько раз быстрее
1	20	15	1,33
2	15	12	1,25
3	18	17	1,06
3	15	12	1,25
4	19	18	1,06
5	23	21	1,10
6	21	19	1,11
7	15	14	1,07
8	18	16	1,13
9	21	20	1,05
10	16	14	1,14

Заключение

В работе предлагается и исследуется алгоритм адаптивного выбора как помехоустойчивого кода из некоторого их множества, так и их параметров с целью обеспечения эффективной и надежной передачи данных в помехозащищенной телеметрической системе.

Было показано, что использование адаптивного подхода позволяет значительно повысить эффективность и быстроту системы передачи телеметрических данных. Адаптивный алгоритм в лучшем случае увеличивает эффективность их передачи на 300%, а в худшем случае на 15%.

Перспективы дальнейшего развития включают в себя исследование более сложных моделей каналов связи и разработку новых алгоритмов адаптации кодов.

Библиографические ссылки

1. Josh J. DOMO. Data never sleeps 3.0. URL: <https://www.domo.com/blog/2015/08/data-never-sleeps-3-0/> (дата обращения: 21.04.2025).

2. Арбузов В. В. Особенности построения адаптивных систем передачи информации // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. М. : Научно-информационный издательский центр. 2015. № 7-1. С. 41-45.

3. Bogachev I. V., Chye En Un, Levenets A. V. Application of Recurrent Neural Networks for Adaptive Selection of Parameters of Error-correcting Code in Telemetry Data Transmission Systems // 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). Proceedings. Lipetsk, Russia, 2021. 5 p.

4. Morelos-Zaragoza R. H. The Art of error correcting coding. 2nd ed. Chichester : John Wiley & Sons, 2006. 278 p.

5. Богачев И. В. Реализация принципа «отложенной точности» в системах передачи измерительных данных // Приборы. 2021. № 10. С. 28-33.

Title: Combined Streaming Compression Algorithm of Measurement Data Frames

Authors' affiliation:

Bogachev I. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Podtergera A. A. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Matsibursky N. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: The paper proposes and studies an algorithm for adaptive selection of both a noise-resistant code from a certain set of codes and their parameters in order to ensure efficient and reliable data transmission in a noise-resistant telemetry system. In the process of studying the proposed solutions, it has been shown that the use of adaptive algorithms allows for a significant increase in the efficiency and speed of the data transmission system, which in the best case increases the transmission efficiency by 300%, and in the worst case by 15%.

Keywords: telemetry system, data transmission, communication channel, noise-protected coding



УДК 004.627

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-65-72>

А. В. Левенец, Д. А. Пожидаев

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПРОГРАММ-АРХИВАТОРОВ

Левенец А. В. – д-р техн. наук, профессор высшей школы кибернетики и цифровых технологий, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: 000621@togudv.ru; *Пожидаев Д. А.* – студент высшей школы кибернетики и цифровых технологий, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: 2021102256@togudv.ru

В статье рассматривается вопрос влияния способов кодирования числовых и текстовых данных на эффективность работы наиболее распространенных программ-архиваторов. Рассмотрены такие классические способы кодирования как коды Грэя, Айкена, Джонсона и др. Приведены результаты проведенного исследования, показывающие, что применение кодирования исходных данных может заметно увеличить эффективность их сжатия. Показано, что для числовых данных полученный результат характерен для архиватора 7z, а для текстовых – для архиваторов ZIP и RAR.

Ключевые слова: сжатие данных, предварительная обработка, способ кодирования, архиватор, эффективность, числовые данные, текстовые данные

Введение

Программы-архиваторы широко используются в настоящее время в первую очередь для сжатия больших объемов данных различного типа с целью снижения нагрузки на устройства хранения. Так как эта задача чаще всего не предполагает работу с данными в режиме реального времени, в основе архиваторов, как правило, лежит один из словарных алгоритмов сжатия, например, LZW [1, 2]. Для таких алгоритмов характерна несимметричность работы во времени для операций сжатия и восстановления, причем предполагается, что на процедуру сжатия тратится больше времени, чем для восстановления, т.к. основной задачей архиваторов является обеспечение максимально возможного коэффициента сжатия [3]. В таком случае возникает вопрос о возможности некоторой предварительной обработки данных перед сжатием, которая позволила бы поднять эффективность работы архиваторов пусть и при некотором

увеличении общего времени, расходуемого на процессы преобразования данных и собственно их сжатия.

Одним из возможных способов такой предварительной обработки можно считать процедуру кодирования исходных данных некоторым кодом, имеющим такие особенности своей структуры, которые позволили бы сжимать закодированную последовательность данных более эффективно, чем исходную. Очевидно, что такой подход приведет к увеличению как времени, необходимого для проведения процедуры сжатия, так и для обратной процедуры, однако такое увеличение будет несущественным с практической точки зрения.

Можно предположить, что наиболее эффективный для процедуры сжатия способ кодирования исходной последовательности данных будет в первую очередь зависеть от свойств самих данных, а также от базового принципа алгоритма сжатия применяемого архиватора. Синтез такого кода представляет собой достаточно сложную задачу, при этом следует сначала примерно оценить эффект от его применения. В этой связи встает задача оценки эффективности применения существующих способов кодирования в качестве предварительной обработки данных различного типа при их сжатии наиболее распространенными архиваторами.

Применяемые в исследовании способы кодирования

Для проведения исследования были выбраны следующие широко известные способы кодирования [4, 5]:

- динамический код Грея, представляющий собой двоичный код, у которого два значения с минимально возможным расстоянием между ними различаются только одним элементарным символом. Словарь, с помощью которого кодируются данные, динамически формируется в процессе обработки исходных данных. Такой код можно использовать для обработки как числовых, так и текстовых данных;

- статический код Грея, для которого словарь известен заранее и не изменяется в процессе кодирования всего объема исходных данных. Можно предположить, что его применение будет эффективным только при работе с числовыми данными;

- код Хаффмана обеспечивает оптимальное префиксное кодирование с минимальной избыточностью. Разным символам входной последовательности ставятся в соответствие коды различной длины, обладающие свойством префиксности, что обеспечивает в дальнейшем однозначное декодирование. На практике данный код достаточно эффективно применяется для кодирования и сжатия изображений, однако его можно применить и при работе с текстовыми и числовыми данными;

- код Айкена представляющий собой двоично-десятичный код с распределением весов 2-4-2-1. По формальным признакам код предназначен для работы с числовыми данными, однако если символ сначала представить в виде числового кода (например, ASCII), то возможно кодировать и текстовые данные. Очевидно, что в данном случае объем закодированной последовательности будет существенно превышать объем исходных данных;



– динамический код Джонсона, для которого также, как и для кода Грея, два максимально близких значения различаются только одним элементарным символом, при этом способ формирования кодовой последовательности заключается в том, что кодовые комбинации, располагающиеся в первой половине словаря формируются в процессе циклического сдвига влево с добавлением в конец единицы, а остальные – также с применением циклического сдвига влево, однако в конец кодовой последовательности добавляется нуль. Код может быть использован для обработки обоих типов данных;

– три различных варианта кода Грея: статический код О’Брайена, код Томпкинса, код Гликсона. Эти коды различаются только кодирующими словарями. При проведении исследования применялись только для кодирования числовых данных.

Следует отметить, что вне зависимости от применяемого кода каждый символ кодировался одинаковым количеством бит. Такой подход увеличивает избыточность закодированной последовательности данных, что наиболее явно проявляется при работе с текстовыми данными текст, однако это не может служить ограничивающим фактором, т.к. последующее сжатие такой последовательности может быть более эффективным.

Результаты исследования

При проведении исследования были исследовано влияние кодирования на числовые и текстовые данные. В качестве числовых данных использовались байтовые целочисленные равномерно распределенные случайные величины, полученные программным генератором псевдослучайных величин. Объем обрабатываемых данных варьировался в диапазоне от $2,5 \cdot 10^4$ до 10^6 отсчетов. В качестве текстовых данных были взяты тексты из библиотеки классической литературы, при этом объем текстовых данных составлял от 10^5 до 10^6 символов. Для обеспечения статистической репрезентативности формировалось десять исходных наборов данных каждого типа и вычислялась среднее значение объема сжатых данных и, соответственно, коэффициента сжатия.

Данные обоих типов сжимались с помощью трех наиболее распространенных программ-архиваторов: 7z, ZIP и RAR. Важно отметить, что при работе каждый из архиваторов использовал аутентичный метод сжатия. Эффективность применяемого кода оценивалась по отношению средних объемов сжатых данных с кодированием и без кодирования.

Полученные результаты для числовых данных объемом 10^6 отсчетов приведены в табл. 1. Следует отметить, что средний объем сжатых данных в этом случае составил 448742, 458309 и 466888 байт для архиваторов 7z, ZIP и RAR соответственно. Следует отметить, что для архиваторов ZIP и RAR положительной реакции на дополнительное кодирование исходных данных не показывают, в то время как для 7z такое кодирование приводит к небольшому улучшению сжатия, в лучшем случае применения статичного кода Гликсона – примерно на 4,3%. Также положительные результаты для этого архиватора дало применение кодов Грея (как динамического, так и статического), а также кода Хаффмана, обеспечившего наименьшее увеличение эффективности. Максимальное снижение эффективности для всех типов архиваторов обеспечил код Джонсона.

Таблица 1

Эффективность работы архиваторов на числовых данных, объем 10^6 отсчетов

Способ кодирования	7z	ZIP	RAR
Код Грея динамический	1,038	0,996	0,991
Код Айкена	0,969	0,933	0,916
Код Джонсона	0,818	0,785	0,789
Код Хаффмана	1,017	0,927	0,931
Код Грея статичный	1,037	0,996	0,991
Код Брайена	0,969	0,932	0,915
Код Томпкинса	0,969	0,932	0,915
Код Гликсона	1,045	0,997	0,999

Аналогичные результаты были получены для меньших объемов исходных данных, однако при достижении граничного значения объема, равного примерно $7,5 \cdot 10^5$, наблюдается очень слабое (примерно на 0,65%) повышение эффективности работы архиватора RAR в случае применения кода Гликсона.

Результаты, полученные для объема исходных данных $5 \cdot 10^5$, приведены в табл. 2. Здесь следует отметить, что при таком объеме исходных данных также незначительно повысилась эффективность работы архиватора ZIP при кодировании динамическим кодом Грея и кодом Гликсона. При этом код Джонсона продолжает оказывать наиболее неблагоприятное влияние на эффективность работы архиваторов, что можно связать с большой избыточностью, характерной для данного кода.

Здесь необходимо отметить, что средний коэффициент сжатия исходных данных без дополнительного кодирования составляет примерно 2,22, 2,17 и 2,12 для архиваторов 7z, ZIP и RAR соответственно и практически не зависит от объема сжимаемых данных.

Таблица 2

Эффективность работы архиваторов на числовых данных, объем $5 \cdot 10^5$ отсчетов

Способ кодирования	7z	ZIP	RAR
Код Грея динамический	1,037	1,000	0,998
Код Айкена	0,971	0,935	0,918
Код Джонсона	0,811	0,788	0,788
Код Хаффмана	1,018	0,930	0,937
Код Грея статичный	1,037	0,999	0,998
Код Брайена	0,970	0,934	0,917
Код Томпкинса	0,971	0,934	0,917
Код Гликсона	1,045	1,000	1,007



Дальнейшее уменьшение объема исходных данных приводит к увеличению эффективности работы архиваторов ZIP и RAR при одновременном снижении эффективности работы архиватора 7z. Исключением является код Хаффмана, эффективность применения которого для 7z практически не изменяется и даже несколько возрастает при объемах исходных данных менее 10^5 отсчетов. Результаты проведенного исследования для объема исходных данных 10^5 отсчетов приведены в табл. 3., а для объема $2,5 \cdot 10^4$ – в табл. 4.

Анализ полученных данных показывает, что для архиватора 7z лучшим вариантом является код Гликсона, особенно в случае обработки достаточно больших (более 10^5 отсчетов) объемов данных. Также хороший результат показывает применение кодов Грея (как динамического, так и статического), а код Хаффмана менее эффективен, хотя и приводит к заметному положительному эффекту.

Для архиваторов RAR и ZIP положительный результат применения дополнительного кодирования кодом Гликсона проявляется в меньшей степени и только в случае не очень больших объемов сжимаемых данных.

Таблица 3

Эффективность работы архиваторов на числовых данных, объем 10^5 отсчетов

Способ кодирования	7z	ZIP	RAR
Код Грея динамический	1,030	1,020	1,024
Код Айкена	0,964	0,942	0,935
Код Джонсона	0,792	0,801	0,791
Код Хаффмана	1,020	0,951	0,960
Код Грея статичный	1,031	1,020	1,024
Код Брайена	0,964	0,941	0,933
Код Томпкинса	0,964	0,941	0,933
Код Гликсона	1,034	1,022	1,033

Таблица 4

Эффективность работы архиваторов на числовых данных, объем $2,5 \cdot 10^4$ отсчетов

Способ кодирования	7z	ZIP	RAR
Код Грея динамический	1,009	1,029	1,048
Код Айкена	0,943	0,939	0,952
Код Джонсона	0,767	0,789	0,797
Код Хаффмана	1,021	0,966	0,984
Код Грея статичный	1,008	1,028	1,045
Код Брайена	0,942	0,937	0,946
Код Томпкинса	0,943	0,937	0,945
Код Гликсона	1,009	1,031	1,051

Исследование для текстовых данных проводилось аналогично, однако были рассмотрены не все коды, которые применялись при исследовании числовых данных, т.к. можно предположить, что коды, построенные на принципе минимального различия для соседних значений, в случае обработки текстовых данных не будут эффективными. Поэтому в качестве представителя такого рода кодов использовался динамический код Грея, показавший достаточно высокую эффективность для числовых данных.

Результаты исследования, проведенные на текстовых данных объемом 10^5 символов приведены в табл. 5. Полученные данные показывают, что для архиватора 7z применение дополнительной кодировки исходных данных не приводит к положительному эффекту. Для архиваторов ZIP и RAR положительный результат (увеличение эффективности сжатия примерно на 2,5%) был зафиксирован в случае применения кода Айкана.

Следует отметить, что применение других рассмотренных в рамках данной работы кодов приводит к значительному снижению эффективности работы архиваторов, при этом, как и для числовых данных, наиболее худший результат был получен для кода Джонсона, применение которого почти в два раза уменьшает коэффициент сжатия для всех рассматриваемых архиваторов.

Интересным фактом является существенное снижение эффективности в случае применения кода Хаффмана, что можно объяснить невысокой потенциальной сжимаемостью префиксных кодов. Следует также отметить подтверждение ранее высказанного предположения об ухудшении эффективности работы архиваторов при работе с кодом Грея и текстовыми данными.

Таблица 5

Эффективность работы архиваторов на текстовых данных, объем 10^5 символов

Способ кодирования	7z	ZIP	RAR
Код Грея динамический	0,707	0,717	0,718
Код Айкана	0,993	1,029	1,026
Код Джонсона	0,538	0,491	0,470
Код Хаффмана	0,787	0,802	0,787

Результаты проведенного исследования показали, что при уменьшении объема исходных данных, как и при работе с числовыми данными, эффект от применяемого дополнительного кодирования увеличивается, причем уже при объеме выборки, равном $5 \cdot 10^4$ символам, кодирование Айкана обеспечивает заметное повышение эффективности работы и для архиватора 7z, хотя и не настолько существенное, как для двух других рассматриваемых в данной работе архиваторов. Граничное значение объема исходных данных для архиватора 7z равно примерно $6 \cdot 10^4$ символов.

Оценка эффективности работы архиваторов при дополнительном кодировании текстовых данных при объемах выборки $5 \cdot 10^4$ и $2,5 \cdot 10^4$ символов приведены в табл. 6 и 7 соответственно.



Таблица 6

Эффективность работы архиваторов на текстовых данных, объем $5 \cdot 10^4$ символов

Способ кодирования	7z	ZIP	RAR
Код Грея динамический	0,706	0,715	0,713
Код Айкена	1,088	1,139	1,129
Код Джонсона	0,573	0,535	0,517
Код Хаффмана	0,807	0,803	0,799

Таблица 7

Эффективность работы архиваторов на текстовых данных, объем $2,5 \cdot 10^4$ символов

Способ кодирования	7z	ZIP	RAR
Код Грея динамический	0,708	0,708	0,715
Код Айкена	1,090	1,134	1,133
Код Джонсона	0,575	0,547	0,534
Код Хаффмана	0,835	0,811	0,822

Анализ полученных данных показывает, что применение кода Грея показывает примерно одинаковую оценку эффективности для всех рассматриваемых архиваторов, причем ее значение практически не зависит от объема исходных данных, т.е. применение такой кодировки не может быть рекомендовано для текстовых данных. Остальные способы кодирования показывают увеличение оценок эффективности, при этом существенный прирост эффективности сжатия достигается только для кода Айкена.

При работе с текстовыми данными наблюдается обратная тенденция изменения эффективности применения дополнительного кодирования. Архиватор 7z сжимает такой тип данных хуже, чем архиваторы ZIP и RAR, хотя для числовых данных наблюдалась обратная ситуация. Следует отметить, что величина максимального увеличения эффективности сжатия данных достигает примерно 12,5% для объема исходных данных $2,5 \cdot 10^4$ символов и обеспечивается как архиватором ZIP, так и архиватором RAR, в то время как для архиватора 7z увеличение эффективности не превышает 9%. Необходимо отметить, что дополнительное кодирование обеспечивает примерно в три раза более высокую эффективность для текстовых данных, чем для числовых.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что дополнительное кодирование сжимаемых данных приводит к заметному увеличению коэффициента сжатия и это характерно для всех рассмотренных в этой работе популярных программ-архиваторов 7z, ZIP и RAR.

При работе с большими объемами числовых данных ($5 \cdot 10^5$ отсчетов и более) лучшие показатели обеспечивает архиватор 7z, для которого максимально полученное увеличение эффективности сжатия примерно 4% было получено в случае

применения кода Гликсона. При работе с меньшими объемами данных увеличивается эффективность двух других архиваторов, при этом лучшие показатели (увеличение эффективности сжатия примерно на 5%) при объеме данных, равном $2,5 \cdot 10^4$ символа, обеспечивает архиватор RAR также для кода Гликсона. Следует отметить, что для архиватора ZIP характерны средние значения оценки эффективности.

Применение дополнительного кодирования текстовых данных приводит к обратному эффекту, когда архиватор 7z оказывается наименее эффективным, причем при больших объемах данных (10^5 символов и более), его применение к дополнительно кодированным данным приводит к ухудшению эффективности сжатия по сравнению с необработанными данными. При уменьшении объема исходных данных его эффективность возрастает, но, тем не менее, он существенно проигрывает архиваторам ZIP и RAR, для которых увеличение эффективности достигает 12,5%. Следует отметить, что положительный эффект от дополнительного кодирования был получен только для кода Айкена, а применение других рассмотренных здесь кодов было не эффективным.

Библиографические ссылки

1. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
2. Сергеенко В. С., Баринов В. В. Сжатие данных, звука и изображений в телекоммуникационных системах. М. : ИП «РадиоСофт», 2009. 360 с.
3. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М. : Техносфера, 2004. 368 с.
4. Прокопенко Н.Ю. Теория кодирования. Н. Новгород : ННГАСУ, 2023. 94 с.
5. Омура Дж. К., Витерби А.Д. Принципы цифровой связи и кодирования. М. : Радио и связь, 1982. 536 с.

Title: Influence of Data Encoding Method on Archiving Programs Work Efficiency

Authors' affiliation:

Levenets A. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation
Pozhidaev D. A. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: The authors of the article examine the impact of encoding methods of numerical and text data on the efficiency of the most common archiving programs. Such classical encoding methods as Gray, Aiken, Johnson codes, etc. are considered. The results of the study are presented, showing that the use of encoding of the original data can significantly increase the efficiency of their compression. It is shown that for numerical data the obtained result is typical for the 7z archiver, and for text data - for the ZIP and RAR archivers.

Keywords: data compression, preprocessing, encoding method, archiver, efficiency, numerical data, text data



УДК 681.51

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-73-86>

Л. В. Никифорова, С. Г. Самохвалова

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА И ПО УПРАВЛЕНИЮ

Никифорова Л. В. – канд. техн. наук, доцент кафедры информационной безопасности АмГУ, г. Благовещенск, e-mail: cherak@inbox.ru; *Самохвалова С. Г.* – канд. техн. наук, доцент кафедры информационной безопасности АмГУ, г. Благовещенск, e-mail: sgs@amursu.ru

В данной работе рассматривается задача синтеза децентрализованной системы управления объектами с неизвестными параметрами и запаздываниями нейтрального типа и по управлению. Для компенсации запаздывания по управлению в основном контуре используются упредитель-компенсаторы. Проблема обеспечения строгой положительной определённости полученной системы решается путём внедрения динамического фильтр-корректора. Синтез контура управления основан на принципах гиперустойчивости, формализованных в критерии В. М. Попова. Эффективность разработанной системы подтверждена результатами имитационного моделирования, проведённого в пакете Simulink.

Ключевые слова: априорная структурная неопределённость, критерий гиперустойчивости, запаздывание по управлению, запаздывание нейтрального типа, динамический корректор

Введение

Модели систем автоматического управления с запаздыванием широко применяются в различных областях науки и техники, где учитывается инерционность процессов, задержки передачи сигналов или обработки данных. Основные сферы их использования: в робототехнике и мехатронике управление манипуляторами с гибкими звеньями (например, космическими роботами, где сигналы проходят большие расстояния), системы телеуправления с задержкой сигнала; в химической промышленности регулирование параметров в реакторах, трубопроводах и теплообменниках, где транспортные задержки обусловлены физическими свойствами сред (например, движение жидкости по трубам); в аэрокосмической технике управление летательными аппаратами при наличии задержек в каналах связи

(например, беспилотники, спутники), а также в энергетике и сетях передачи данных, биологических и медицинских системах, экономике и управлении ресурсами [1 – 4].

Исследуемая децентрализованная система управления функционирует в условиях параметрической неопределенности, в связи с этим возникает задача синтеза адаптивно-робастной системы управления с неявной эталонной моделью. Предполагается, что входные и выходные сигналы объекта управления являются скалярными, а переменные состояния недоступны для прямого измерения. В силу структурной неопределенности системы, относительная степень передаточных функций объектов может изменяться, что обуславливает необходимость применения динамических фильтр-корректоров [5, 6].

Наличие временного запаздывания в канале управления оказывает дестабилизирующее влияние на динамику системы, что требует разработки методов его компенсации. Данной проблеме посвящен значительный объем исследований, в рамках которых предложены различные подходы к управлению объектами с запаздывающим входным сигналом. Начиная с классического предиктора Смита [7, 8], были разработаны дополнительные контуры управления, включая: упредители-компенсаторы [9, 10], эталонные упредители [11, 12], прогнозирующие устройства [13, 14], субпредикторы [15], настраиваемые фильтры, состояния которых участвуют в формировании управляющего воздействия [16]. Каждая из предложенных схем имеет ограничения, обусловленные параметрической чувствительностью, порядком системы или условиями устойчивости.

В работе синтез адаптивного закона управления осуществляется на основе критерия гиперустойчивости [17 – 19]. Методология настоящего исследования включает следующие этапы:

1. Учет структурной неопределенности через применение фильтров-корректоров.
2. Компенсация запаздывания с помощью дополнительного устройства упредитель-компенсатора.
3. Подавление внешних периодических возмущений посредством включения в закон управления робастной составляющей.
4. Синтез регулятора и обеспечение L-диссипативности системы на основе критерия гиперустойчивости.
5. Определение параметров регуляторов на этапе имитационного моделирования с точки зрения обеспечения хорошего качества функционирования много-связной системы управления.

Таким образом, разработка систем управления для объектов с запаздыванием требует комплексного подхода, сочетающего методы синтеза устройств управления, компенсации временных задержек и определения параметров устройств децентрализованного управления.

Математическое описание исследуемой системы управления

Система децентрализованного управления является многосвязной системой управления, ее математическая модель задается системой дифференциальных уравнений



$$\begin{aligned} \frac{dx_i(t)}{dt} &= A_{0i}x_i(t) + D_i x_i(t - \tau_{1i}) + C_{0i} \frac{dx_i(t - \tau_{2i})}{dt} + \\ &+ B_{0i} \left(u_i(t - h_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^k \theta_j(y_j) + F_i(t) \right), \quad y_i(t) = L_{0i}^T x_i(t), \\ x_i(0) &= x_{0i}, \quad x_i(\xi_i) = \phi_i(\xi_i), \quad \xi_i \in [-\tau_{1i}, 0], \quad \frac{dx_i(\xi_i)}{d\xi_i} = \frac{d\vartheta(\xi_i)}{d\xi_i}, \\ \xi_i &\in [-\tau_{2i}, 0], \quad u_i(\xi_i) = \varphi_i(\xi_i), \quad \xi_i \in [-h_i, 0], \end{aligned} \quad (1)$$

где $(x_i(t))^T = (x_{1i}(t), x_{2i}(t), \dots, x_{n_i}(t)) \in R^{n_i}$ – векторы состояний локальных подсистем; A_{0i} – произвольные матрицы состояния в форме Фробениуса $n_i \times n_i$; D_i , C_{0i} – матрицы размерности $n_i \times n_i$, все элементы которых нули, за исключением последних строк; τ_{1i} , τ_{2i} , $h_i = \text{const} > 0$ – запаздывания, значения которых известны заранее; $B_{0i} = [0, 0, \dots, 1]^T$ – векторы управления размера n_i ; $u_i(t) \in R$ – локальные управляющие воздействия; $F_i(t) \in R$ – постоянно действующие ограниченные внешние помехи $|F_i(t)| \leq F_0$, $F_0 = \text{const} \geq 0$ – неизвестная величина; L_{0i}^T – векторы выхода размера n_i , компоненты которых могут быть нулевыми (кроме первого) или ненулевыми; $y_i(t) \in R$ – измеряемые выходы локальных подсистем; $\phi_i(\xi_i)$, $\vartheta_i(\xi_i)$, $\varphi_i(\xi_i)$ – начальные непрерывные функции; $i = 1, \dots, k$, k – количество локальных подсистем.

Поскольку рассматривается децентрализованное управление структурно и параметрически априорно неопределенными объектами, математическая модель системы (1) имеет ряд ограничений:

1) Априорная параметрическая неопределенность многосвязной системы (1) заключается в том, что коэффициенты матриц A_{0i} , D_i , C_{0i} и векторов L_{0i} являются неизвестными числами, зависящими от набора неизвестных параметров ξ , принадлежащих известному ограниченному множеству Ξ :

$$A_{0i} = A_{0i}(\xi), \quad D_i = D_i(\xi), \quad C_{0i} = C_{0i}(\xi), \quad L_{0i} = L_{0i}(\xi), \quad F_i(t) = F_{\xi_i}(t)$$

2) Имеет место априорная структурная неопределенность, поскольку относительный порядок ρ_i каждой из подсистем многосвязной системы управления (1) априорно неизвестен, заранее определены только границы его изменения: $\rho_i = n_i - m_i$; $(n_i - m_{0i}) \leq \rho_i \leq n_i$, где $m_{0i} = \max m_i$; $i = 1, \dots, k$.

3) Собственные значения матриц C_{0i} неизвестны, но принадлежат кругу единичного радиуса.

4) Непосредственно измеряются только регулируемые выходы $y_i(t)$, т.е. переменные состояния локальных подсистем прямому измерению не доступны.

5) Неизвестные функции $\theta_j(y_j)$ и $F_i(t)$ удовлетворяют оценкам:

$$0 \leq \theta_j(y_j) \leq \varepsilon_{1i}, \quad \|F_i(t)\| \leq \varepsilon_{2i}, \quad \forall t \geq 0, \quad (2)$$

где ε_{1i} , $\varepsilon_{2i} = \text{const} > 0$ – неизвестные, $i = 1, \dots, k$.

Запаздывание нейтрального типа, которое имеет место в уравнениях рассматриваемых объектов, можно представить как [20]

$$\frac{dx_i(t - \tau_{2i})}{dt} = \tau_{2i}^{-1} (x_i(t) - x_i(t - \tau_{2i})) + \psi_i(t),$$

если $\frac{dx_i(t - \tau_{2i})}{dt}$ удовлетворяет условию Липшица с постоянной λ_{0i} , $0 < \tau_{2i} \leq \tau_{1i}$, $\|\psi_i(t)\| \leq \lambda_{0i} \tau_{2i}$, $\Psi_i(t) = C_{0i} \psi_i(t)$. Ограниченность $\Psi(t)$ следует из ограниченности $\psi_i(t)$.

Представим уравнения (1), используя обозначения: $A_i = A_{0i} + \tau_{2i}^{-1} C_{0i}$, $C_i = -\tau_{2i}^{-1} C_{0i}$, $f_i(t) = F_i(t) + \Psi_i(t)$, в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{dx_i(t)}{dt} &= A_i x_i(t) + D_i x_i(t - \tau_{1i}) + C_i x_i(t - \tau_{2i}) + \\ &+ B_{0i} \left(u_i(t - h_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^k \theta_i(y_j) + f_i(t) \right), \quad y_i(t) = L_{0i}^T x_i(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Желаемая динамика многосвязной системы управления (1) описывается неявной эталонной моделью

$$\frac{dx_{*i}(t)}{dt} = A_{*i} x_{*i}(t) + B_{*i} r_i(t), \quad y_{*i}(t) = L_{0i}^T x_{*i}(t), \quad x_{*i}(0) = 0, \quad (4)$$

где $x_{*i}(t) \in R^{n_i}$ – векторы состояния; A_{*i} – гурвицевы матрицы $n_i \times n_i$; $r_i(t) \in R$ – задающие воздействия для каждой локальной подсистемы.

Постановка задачи. Требуется синтезировать для многосвязного объекта (1) явные законы управления $u_i(t)$ так, чтобы в условиях априорной параметрической и структурной неопределенностей, а также воздействия на систему внешних возмущений, выходные сигналы локальных подсистем $y_i(t)$ качественно обрабатывали заданные эталонные сигналы $r_i(t)$, т.е. основная цель управления заключается в выполнении предельных неравенств

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |r_i(t) - y_i(t)| \leq \delta_{0i}, \quad (5)$$

где $\delta_{0i} = \text{const} > 0$ – достаточно малые значения, $i = 1, \dots, k$. Очевидно, что чем меньше рассогласование между выходами локальных подсистем и заданиями, тем выше качество функционирования многосвязной системы управления.

При решении поставленной задачи в исследовании применялся критерий гиперустойчивости [18, 19]. Однако, вследствие того, что объекты являются структурно неопределенными, может возникнуть ситуация превышения относительными порядками передаточных функций локальных подсистем (1) единицы. Указанное обстоятельство приводит к тому, что одно из ключевых требований критерия гиперустойчивости, связанное с положительной определенностью линейной стационарной части эквивалентной системы для каждой локальной подсистемы, не выполняется. Для корректного выполнения этого условия в работе используются динамические фильтр-корректоры [5], подключаемые последовательно к выходу каждого объекта управления (1).

Передаточная функция локальных подсистем (3) имеет вид



$$W_i(s) = L_{0i}^T \left(sE - A_i - D_i e^{-\tau_{1i}s} - C_i e^{-\tau_{2i}s} \right)^{-1} B_{0i} e^{-h_i s} = \frac{b_i(s)}{a_i(s)} e^{-h_i s},$$

где s – переменная Лапласа, $a_i(s)$, $b_i(s)$ – нормированные полиномы, $a_i(s)$ – квазиполином с произвольным расположением корней, $b_i(s)$ – гурвицевый полином; $\deg a_i(s) = n_i$; степень полинома $b_i(s)$ может изменяться в зависимости от наличия нулевых компонент в L_{0i} , число которых априорно неизвестно, поэтому $\deg b_i(s) = m_i$.

В основной контур каждой локальной подсистемы (3) последовательно к выходу объекта подключим фильтр-корректор

$$y_{\Phi i}(t) = \left(\frac{T_{0i} p + 1}{T_i p + 1} \right)^{n_i - m_{0i} - 1} y_i(t), \quad (6)$$

где $y_{\Phi i}(t)$ – выходы фильтр-корректоров, T_{0i} , $T_i = \text{const} > 0$ – известные постоянные, T_i удовлетворяют определенным условиям и являются достаточно малыми [5], $p = d/dt$.

Последовательные соединения (3) и (6) будут иметь вид:

$$y_{\Phi i}(t) = \frac{b_i(p)}{a_i(p)} \cdot \left(\frac{T_{0i} p + 1}{T_i p + 1} \right)^{n_i - m_{0i} - 1} \bar{u}_i(t) = \frac{\mathfrak{B}_i(p)}{\mathfrak{A}_i(p)} \cdot \frac{1}{a_i(p)} \bar{u}_i(t),$$

где $\mathfrak{A}_i(p) = a_i(p)(T_i p + 1)^{m_i - m_{0i}}$, $\mathfrak{B}_i(p) = b_i(p)(T_{0i} p + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}$, $\bar{a}_i(p) = (T_i p + 1)^{n_i - m_i - 1}$, $\bar{u}_i(t) = u_i(t - h_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^k \theta_j(y_j) + f_i(t)$, $\deg \mathfrak{A}_i(p) = n_i + m_i - m_{0i}$, $\deg \mathfrak{B}_i(p) = n_i + m_i - m_{0i} - 1$.

Далее будем рассматривать передаточные функции видоизмененных объектов управления

$$W_{BOi}(s) = \frac{\mathfrak{B}_i(s)}{\mathfrak{A}_i(s)}$$

и блоков структурных возмущений

$$W_{BCBi}(s) = \frac{1}{a_i(s)}.$$

Таким образом, для каждой локальной подсистемы будет иметь место следующее:

$$y_{\Phi i}(s) = W_{BOi}(s) W_{BCBi}(s) \bar{u}_i(s).$$

Следуя [5], блок структурного возмущения можно исключить из основного контура исследуемой системы в силу выбора постоянных времени $T_i \ll 1$ и далее осуществлять синтез многосвязной системы для видоизмененных объектов управления, которые в пространстве состояний примут следующий вид

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{x}_i(t)}{dt} = & \bar{A}_i \bar{x}_i(t) + \bar{D}_i \bar{x}_i(t - \tau_{1i}) + \bar{C}_i \bar{x}_i(t - \tau_{2i}) + \\ & + B_i \left(u_i(t - h_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^k \theta_j(y_j) + f_i(t) \right), \quad \bar{y}_i(t) = L_i^T \bar{x}_i(t). \end{aligned} \quad (7)$$

где $\bar{x}_i(t) \in R^{n_i+m_i-m_{0i}}$ – расширенный вектор состояний; $\bar{A}_i, \bar{D}_i, \bar{C}_i, B_i, L_i$ – матрицы и векторы размерностей соответственно $(n_i + m_i - m_{0i}) \times (n_i + m_i - m_{0i})$ и $n_i + m_i - m_{0i}$; $y_i(t) \in R$ – выход видоизмененного многосвязного объекта; $i = 1, \dots, k$.

Для того, чтобы видоизмененные объекты управления были структурно согласованы с эталонами, расширим пространство состояний (4) с помощью многочлена $\mathfrak{D}_i(s)$

$$\frac{d\bar{x}_{*i}(t)}{dt} = \bar{A}_{*i} \bar{x}_{*i}(t) + \bar{B}_{*i} r_i(t), \quad y_{*i}(t) = L_i^T \bar{x}_{*i}(t), \quad (8)$$

где $\bar{x}_{*i}(t) \in R^{n_i+m_i-m_{0i}}$ – переменные состояния; \bar{A}_{*i} – гурвицевы матрицы $(n_i + m_i - m_{0i}) \times (n_i + m_i - m_{0i})$; \bar{B}_{*i} – векторы размерности $n_i + m_i - m_{0i}$; $i = 1, \dots, k$.

Поскольку используемые фильтр-корректоры (6) линейны, задающие воздействия $r_i(t)$ ограничены, выполнение неравенства

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_{*i}(t) - \bar{y}_i(t)| \leq \delta_i, \quad (9)$$

где $\delta_i = \text{const}$, $0 < \delta_i \ll 1$ – малые постоянные значения, $i = 1, \dots, k$, обеспечит выполнение цели управления (5).

Наличие в объекте управления (1) запаздывания по управлению в совокупности с запаздыванием нейтрального типа неизбежно приводит к потере устойчивости децентрализованной системы. С целью нейтрализации дестабилизирующего эффекта в структуру основного контура управления каждой локальной подсистемы подключается дополнительное устройство – упредитель-компенсатор [10, 12, 21]

$$y_{Ki}(t) = \frac{b_{Ki}}{p + a_{Ki}} (u_i(t) - u_i(t - h_i)), \quad y_{Ki}(0) = 0, \quad (10)$$

где $y_{Ki}(t) \in R$ – сигналы на выходах, $a_{Ki}, b_{Ki} = \text{const} > 0$ – параметры упредитель-компенсаторов, $i = 1, \dots, k$.

Расширяя пространство состояний упредитель-компенсаторов (10), аналогично расширению эталонной модели (4) с помощью многочленов $\mathfrak{D}_i(s)$, можно записать в пространстве состояний

$$\frac{dx_{Ki}(t)}{dt} = A_{Ki} x_{Ki}(t) + B_{Ki} (u_i(t) - u_i(t - h_i)), \quad y_{Ki}(t) = L_i^T x_{Ki}(t), \quad (11)$$

где $x_{Ki}(t) \in R^{n_i+m_i-m_{0i}}$ – векторы состояний; A_{Ki} – гурвицевы матрицы в форме Фробениуса размера $(n_i + m_i - m_{0i}) \times (n_i + m_i - m_{0i})$; $B_{Ki} = [0, \dots, 0, b_{Ki}]^T$ – векторы размерности $n_i + m_i - m_{0i}$; $y_{Ki}(t) \in R$ – выходы, $i = 1, \dots, k$.



$$\begin{aligned} \text{Для (3), (4) и (11) выполняются условия структурного согласования} \\ \bar{A}_i = \bar{A}_{*i} + B_i \chi_{01i} L_i^T, \quad \bar{D}_i = B_i \chi_{02i} L_i^T, \quad \bar{C}_i = B_i \chi_{03i} L_i^T, \quad B_{*i} = B_i \chi_{04i}, \quad \bar{A}_{*i} - A_{Ki} = B_i \chi_{05i} L_i^T, \\ B_{Ki} = B_i (1 + \chi_{06i}) \end{aligned}$$

где $\chi_{0ji} = \text{const} > 0$ – неизвестные, $i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, 6$.

Синтез системы управления

При условии соблюдения критерия гиперустойчивости разработка алгоритмов управления осуществляется с использованием методики [18, 19], предусматривающей поэтапное выполнение предъявляемых к системе (7), (8), (11) требований.

На первом шаге синтеза в рассмотрение вводятся сигналы рассогласования $e_i(t) = x_{*i}(t) - (x_i(t) + x_{Ki}(t))$, многосвязная система управления (1), (4), (6), (10) записывается в эквивалентной форме в виде нелинейной системы первого типа с линейной стационарной частью в прямом канале

$$\frac{de_i(t)}{dt} = \bar{A}_{*i} e_i(t) + B_{Ki} \mu_i(t), \quad v_i(t) = L_i^T e_i(t), \quad (12)$$

и нелинейной нестационарной частью в обратной связи

$$\begin{aligned} \mu_i(t) = - \left[u_i(t) - \frac{\chi_{04i}}{b_{Ki}} r_i(t) + \frac{\chi_{01i}}{b_{Ki}} L_i^T \bar{x}_i(t) + \frac{\chi_{02i}}{b_{Ki}} L_i^T \bar{x}_i(t - \tau_{1i}) + \frac{\chi_{03i}}{b_{Ki}} L_i^T \bar{x}_i(t - \tau_{2i}) \right. \\ \left. + \frac{\chi_{05i}}{b_{Ki}} L_i^T x_{Ki}(t) + \chi_{06i} u_i(t - h_i) + \frac{1}{b_{Ki}} \sum_{j=1, j \neq i}^k \theta_i(y_j) + \frac{1}{b_{Ki}} f_i(t) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

На втором шаге для системы (12), (13) обеспечивается выполнение интегральных неравенств для $\mu_i(t)$

$$\eta_i(0, t) = - \int_0^t \mu_i(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta > -\gamma_i^2, \quad \gamma_i = \text{const}, \quad \forall t > 0, \quad i = 1, \dots, k. \quad (14)$$

Для синтеза явного вида закона управления подставим (13) в (14)

$$\begin{aligned} \eta_i(0, t) = \int_0^t \left(u_i(\zeta) - \frac{\chi_{04i}}{b_{Ki}} r_i(\zeta) \right) v_i(\zeta) d\zeta + \int_0^t \frac{\chi_{01i}}{b_{Ki}} \bar{y}_i(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta + \\ + \int_0^t \frac{\chi_{02i}}{b_{Ki}} \bar{y}_i(\zeta - \tau_{1i}) v_i(\zeta) d\zeta + \int_0^t \frac{\chi_{03i}}{b_{Ki}} \bar{y}_i(\zeta - \tau_{2i}) v_i(\zeta) d\zeta + \\ + \int_0^t \frac{\chi_{05i}}{b_{Ki}} y_{Ki}(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta + \int_0^t \chi_{06i} u_i(\zeta - h_i) v_i(\zeta) d\zeta + \\ + \frac{1}{b_{Ki}} \int_0^t \left(\sum_{j=1, j \neq i}^k \theta_i(y_j) + f_i(\zeta) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad i = 1, \dots, k. \end{aligned} \quad (15)$$

Структуру закона управления представим как сумму сигналов

$$u_i(t) = \sum_{j=1}^7 u_{ji}(t), \quad (16)$$

где $u_{ji}(t)$ – составляющие управлений $u_i(t)$, подлежащие определению из (15), выполняя требование (14); $i = 1, \dots, k$.

Для этого (15) представим в виде суммы следующих интегралов

$$\eta_{1i}(0, t) = \int_0^t \left(u_{1i}(\zeta) - \frac{\chi_{04i}}{b_{Ki}} r_i(\zeta) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (17)$$

$$\eta_{2i}(0, t) = \int_0^t \left(u_{2i}(\zeta) + \frac{\chi_{01i}}{b_{Ki}} \bar{y}_i(\zeta) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (18)$$

$$\eta_{3i}(0, t) = \int_0^t \left(u_{3i}(\zeta) + \frac{\chi_{02i}}{b_{Ki}} \bar{y}_i(\zeta - \tau_{1i}) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (19)$$

$$\eta_{4i}(0, t) = \int_0^t \left(u_{4i}(\zeta) + \frac{\chi_{03i}}{b_{Ki}} \bar{y}_i(\zeta - \tau_{2i}) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (20)$$

$$\eta_{5i}(0, t) = \int_0^t \left(u_{5i}(\zeta) + \frac{\chi_{05i}}{b_{Ki}} y_{Ki}(\zeta) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (21)$$

$$\eta_{6i}(0, t) = \int_0^t \left(u_{6i}(\zeta) + \chi_{06i} u_i(\zeta - h_i) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (22)$$

$$\eta_{7i}(0, t) = \int_0^t \left(u_{7i}(\zeta) + \frac{1}{b_{Ki}} \left(\sum_{j=1, j \neq i}^k \theta_i(y_j) + f_i(\zeta) \right) \right) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (23)$$

Зададим первое слагаемое из (16) в виде

$$u_{1i}(t) = \alpha_{1i} r_i(t) \int_0^t r_i(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (24)$$

где $\alpha_{1i} = \text{const} > 0$, $i = 1, \dots, k$, подставим в (17)

$$\begin{aligned} \eta_{1i}(0, t) &= \int_0^t \left(\alpha_{1i} r_i(\zeta) \int_0^{\zeta} r_i(\varsigma) v_i(\varsigma) d\varsigma - \frac{\chi_{04i}}{b_{Ki}} r_i(\zeta) \right) v_i(\zeta) d\zeta = \\ &= \frac{\alpha_{1i}}{2} \left(\int_0^t r_i(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta \right)^2 - \frac{\chi_{04i}}{b_{Ki}} \int_0^t r_i(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta \pm \frac{\chi_{04i}^2}{2b_{Ki}^2 \alpha_{1i}} \geq -\frac{\chi_{04i}^2}{2b_{Ki}^2 \alpha_{1i}} = -\gamma_{01}^2 = \text{const}. \end{aligned}$$

Аналогично сформированы остальные составляющие закона управления (16). Для получения последнего слагаемого из (16) учитываются условия (2).

$$u_{2i}(t) = \alpha_{2i} \bar{y}_i(t) \int_0^t \bar{y}_i(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta, \quad u_{3i}(t) = \alpha_{3i} \bar{y}_i(t - \tau_{1i}) \int_0^t \bar{y}_i(\zeta - \tau_{1i}) v_i(\zeta) d\zeta,$$

$$u_{4i}(t) = \alpha_{4i} \bar{y}_i(t - \tau_{2i}) \int_0^t \bar{y}_i(\zeta - \tau_{2i}) v_i(\zeta) d\zeta, \quad u_{5i}(t) = \alpha_{5i} y_{Ki}(t) \int_0^t y_{Ki}(\zeta) v_i(\zeta) d\zeta, \quad (25)$$

$$u_{6i}(t) = \alpha_{6i} u_i(t - h_i) \int_0^t u_i(\zeta - h_i) v_i(\zeta) d\zeta, \quad u_{7i}(t) = \alpha_{7i} \int_0^t v_i(\zeta) d\zeta,$$



где $\alpha_{ji} = \text{const} > 0, j = 2, \dots, 7; i = 1, \dots, k$.

На третьем шаге должно быть выполнено требование строгой положительной определенности линейной стационарной части (12)

$$\text{Re}W_{\text{ЛСЧ}}(j\omega) > 0, \forall \omega > 0. (26)$$

Отметим, что неявную эталонную модель (4) можно задать аналитическим выражением

$$W_{*i}(s) = L_i^T (sE - \bar{A}_{*i})^{-1} \bar{B}_{*i} = \frac{\chi_{*i} \mathcal{D}_i(s)}{(s + \chi_{*i}) \cdot \mathcal{B}_i(s)} = \frac{\chi_{*i}}{s + \chi_{*i}}, \chi_{*i} = \text{const} \gg 1,$$

тогда передаточная функция линейной стационарной части эквивалентной системы (12) запишется как

$$W_{\text{ЛСЧ}i}(s) = L_i^T (sE - \bar{A}_{*i})^{-1} B_{Ki} = \frac{b_{Ki}}{s + \chi_{*i}},$$

поэтому условие строгой положительной определенности (26) для линейной стационарной части (12) всегда справедливо

$$\text{Re}W_{\text{ЛСЧ}i}(j\omega) = \frac{b_{Ki}}{\omega^2 + \chi_{*i}^2} > 0, \forall \omega \geq 0$$

Выполнение условий (14) и (26), соответствующих второму и третьему этапам синтеза системы управления, гарантирует, что система (1), (4), (6), (10), (16), (24), (25) обладает свойством L-диссипативности [21, 22], которое обеспечивается за счет выбора малых значений параметров T_i в фильтрующем устройстве (6), а значит справедливость неравенств

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_{*i}(t) - (\bar{y}_i(t) + y_{Ki}(t))| \leq \bar{\delta}_i,$$

где $\bar{\delta}_i = \text{const}, 0 < \bar{\delta}_i \ll 1$. Поскольку упредитель-компенсаторы (10) – линейные устойчивые звенья, также будут выполнены неравенства (9). А в силу того, что в эталонной модели параметр χ_{*i} – достаточно большая величина, следовательно, это гарантирует достижение целевого условия (5). Таким образом, задача синтеза децентрализованной управляющей структуры, направленной на обеспечение L-диссипативности рассматриваемой системы при наличии внешних периодических возмущений, успешно решена.

Вычислительный эксперимент

Синтезированное управление для многосвязной системы, основанное на критерии гиперустойчивости, характеризуется наличием ряда параметров, для которых установлены только нижние пределы их значений. Положительность коэффициентов управления, согласно выражениям (24), (25), обеспечивает работоспособность результирующей системы, описываемой уравнениями (1),

(4), (6), (10), (16), (24), (25). Тем не менее, при таких условиях возможно функционирование системы с неудовлетворительным качеством переходных процессов. Причина заключается в отсутствии аналитических методов определения значений коэффициентов регулятора, гарантирующих желаемые динамические характеристики в рамках синтеза по критерию гиперустойчивости. Однако оптимальные значения параметров синтезированных регуляторов, способствующие достижению высокого качества динамических процессов в системе, могут быть определены на этапе имитационного моделирования.

Проиллюстрируем полученные результаты на примере децентрализованного управления многосвязным объектом (1), состоящим из двух локальных подсистем, относительно порядок которых $\rho_1 = 2$, $\rho_2 = 3$. Объект первой локальной подсистемы задан следующими параметрами:

$$A_{01} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0.1 & -3 & -4 \end{pmatrix}, D_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -0.2 & -2 & -1 \end{pmatrix}, C_{01} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.5 & -0.3 & -0.1 \end{pmatrix}, \quad (27)$$
$$B_{01} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, L_{01}^T = (1 \quad 2 \quad 0).$$

Запаздывание по состоянию $\tau_{11} = 2$ сек, запаздывание нейтрального типа $\tau_{21} = 1.5$ сек, запаздывание по управлению $h_1 = 0.4$ сек, постоянное возмущение: $f_1(t) = 0.3\sin(0.02\pi t)$, задающее воздействие: $r_1(t) = \cos^4(0.01\pi(t - 50))$, перекрестная связь

$$\theta_1(s) = \frac{1}{s+5} y_2(s). \quad (28)$$

Передаточная функция фильтр-корректора

$$y_{\Phi 1}(s) = \frac{s+1}{0.001s+1} y_1(s). \quad (29)$$

Упредитель-компенсатор (10) задан следующим образом:

$$\frac{dy_{K1}(t)}{dt} = -5y_{K1}(t) + 2(u_1(t) - u_1(t-h_1)) \quad (30)$$

Вторая локальная подсистема описана следующим образом:

$$A_{02} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0.5 & -5 & -3 \end{pmatrix}, D_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1.1 & -3 & -2 \end{pmatrix}, C_{02} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.6 & -0.1 & -0.5 \end{pmatrix}, \quad (31)$$
$$B_{02} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, L_{02}^T = (1 \quad 0 \quad 0).$$

Запаздывание по состоянию $\tau_{12} = 3$ сек, запаздывание нейтрального типа



$\tau_{22} = 4$ сек, запаздывание по управлению $h_2 = 0.5$ сек, постоянное возмущение: $f_2(t) = 0.5\sin(0.01\pi t)\cos(0.02\pi t)$, задающее воздействие: $r_2(t) = \sin^3(0.03\pi t)$, перекрестная связь

$$\theta_2(s) = \frac{1}{s+10} y_1(s), \quad (32)$$

фильтр-корректор

$$y_{\Phi 2}(s) = \frac{(s+1)^2}{(0.001s+1)^2} y_2(s), \quad (33)$$

упредитель-компенсатор

$$\frac{dy_{K2}(t)}{dt} = -3y_{K2}(t) + (u_2(t) - u_2(t-h_2)) \quad (34)$$

В ходе имитационного моделирования системы управления (1), (4), (6), (10), (16), (24), (25) были подобраны числовые значения параметры алгоритмов (24), (25): $\alpha_{11} = 1750$; $\alpha_{12} = 250$; $\alpha_{13} = 2000$; $\alpha_{14} = 500$; $\alpha_{15} = 120$; $\alpha_{16} = 12000$; $\alpha_{17} = 1.5$; $\alpha_{21} = 1000$; $\alpha_{22} = 200$; $\alpha_{23} = 250$; $\alpha_{24} = 210$; $\alpha_{25} = 1.2$; $\alpha_{26} = 10000$; $\alpha_{27} = 1$. Результаты вычислительного эксперимента представлены на рисунках 1 – 4.

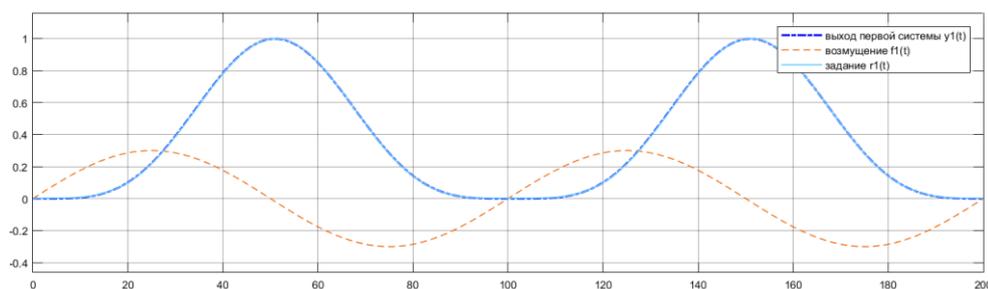


Рис. 1. Динамика задающего воздействия $r_1(t)$, выхода первой подсистемы $y_1(t)$ и возмущения $f_1(t)$ в системе управления (1), (4), (6), (10), (16), (24), (25), (27) – (30)

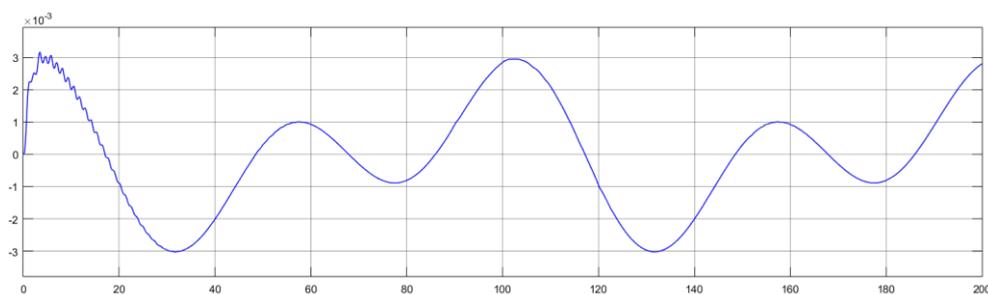


Рис. 2. Динамика сигнала рассогласования между задающим воздействием $r_1(t)$ и выходом первой локальной подсистемы $y_1(t)$

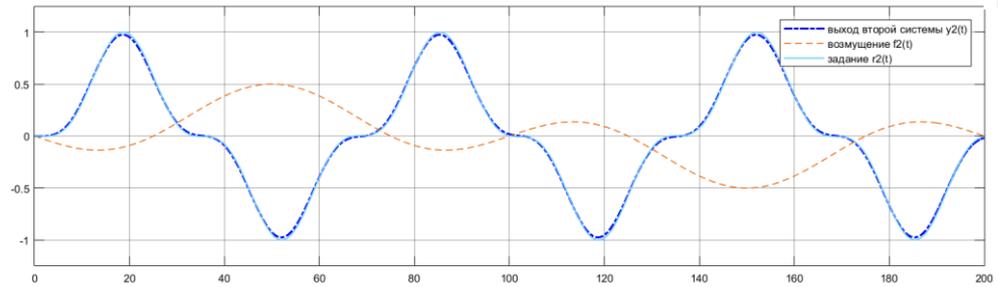


Рис. 3. Задающее воздействие $r_2(t)$, выход второй локальной подсистемы $y_2(t)$ и возмущения $f_2(t)$ в системе управления (1), (4), (6), (10), (16), (24), (25), (31) – (34)

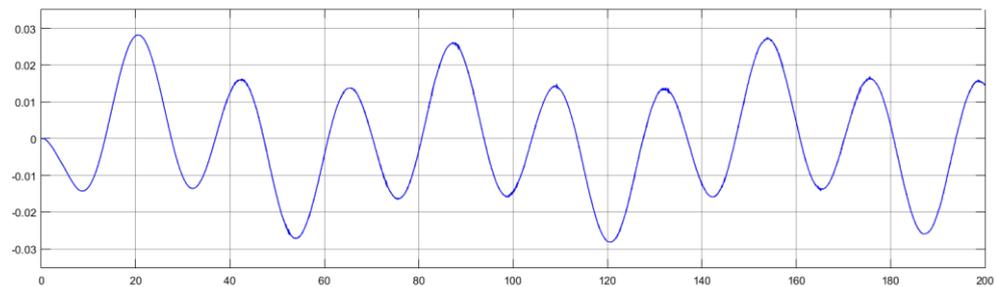


Рис. 4. Сигнала ошибки между задающим воздействием $r_2(t)$ и выходом второй локальной подсистемы $y_2(t)$

Результаты имитационного моделирования показывают, что в синтезированной многосвязной системе алгоритмы управления позволяют отрабатывать задания с хорошим качеством: в первой локальной подсистеме ошибка составила 0.3%, во второй – 2,7 %

Заключение

Данное исследование посвящено синтезу алгоритмов управления для многосвязной системы, состоящей из неустойчивых объектов, характеризующихся неизвестной относительной степенью и запаздываниями нейтрального типа и по управлению. Система функционирует в условиях воздействия постоянно действующих возмущений. Нейтрализация негативного влияния запаздывания по управлению достигается за счет включения в структуру системы дополнительного контура – упреждающего компенсатора. Запаздывание нейтрального типа компенсируется непосредственно в алгоритмах управления. Закон децентрализованного управления был выведен на основе критерия гиперустойчивости, а для обеспечения строгой положительной определенности были подключены фильтры-корректоры. Результаты имитационного моделирования показывают, что разработанный регулятор и предложенные методы компенсации запаздываний обеспечивают существенное повышение качества функционирования синтезированной системы.



Библиографические ссылки

1. Recent Results on Time-Delay Systems: Analysis and Control / E. Fridman, O. Sename, L. Dugard, E. Witrant. Switzerland : Springer International Publishing, 2016. 329 p.
2. Zhou B., Lin Z. Truncated Predictor Feedback for Time-Delay Systems. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2014. 480 c.
3. Chee F., Fernando T. Closed-Loop Control of Blood Glucose. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2007. 157 p. (Lecture Notes in Control and Information Sciences ; vol. 368).
4. Hespanha J. P., Naghshtabrizi P., Xu Y. A Survey of Recent Results in Networked Control Systems // Proceedings of the IEEE. 2007. Vol. 95, № 1. P. 138-162.
5. Еремин Е. Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурном возмущении. IV // Информатика и системы управления. 2013. № 2 (36). С. 100-106.
6. Еремин Е. Л. Адаптивное управление одноканальным объектом в схеме с динамическими корректорами и учетом насыщения управляющего сигнала // Информатика и системы управления. 2017. № 1 (51). С. 64-74.
7. Smith O. J. M. Closer control of loops with dead time // Chemical Engineering Progress. 1959. Vol. 53. P. 217-219.
8. Мееров М. В. Адаптивные компенсирующие регуляторы с предиктором Смита // Автоматика и телемеханика. 2000. № 10. С. 125-135.
9. Еремин Е. Л., Ильина Л. В. Адаптивные системы с динамическим упредитель-компенсатором для объектов с запаздыванием по управлению // Информатика и системы управления. 2002. № 1 (3). С. 97-102.
10. Пат. 2012345 РФ. Следящая система управления для априорно-неопределенных объектов с запаздыванием по управлению / Е. Л. Еремин, Л. В. Чепак // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». 2012. № 12.
11. Еремин Е. Л. Построение адаптивных систем с запаздыванием по управлению на основе эталонного упредителя // Информатика и системы управления. 2005. № 1 (9). С. 122-128.
12. Еремин Е. Л., Теличенко Д. А., Чепак Л. В. Синтез адаптивных систем для скалярных объектов с запаздыванием по управлению. Благовещенск : Амурский гос. ун-т, 2006. 240 с.
13. Паршева Е.А., Цыкунов А.М. Адаптивное управление объектом с запаздывающим управлением со скалярным входом-выходом // АиТ. 2001. № 1. С. 142-149.
14. Цыкунов А. М. Адаптивное и робастное управление динамическими объектами по выходу. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. 268 с.
15. Фуртат И. Б., Гуштин П. А. Алгоритм управления объектами с запаздывающим входным сигналом на базе субпредикторов регулируемой величины и возмущения // Автоматика и телемеханика. 2019. № 2. С. 3-23. DOI 10.1134/S0005231019020016.



16. Никифорова Л. В., Шеленок Е. А. Адаптивная система с настраиваемыми фильтрами для линейного динамического объекта с запаздыванием по управлению // Вестник ТОГУ. Хабаровск, 2025. № 1 (76). С. 41-48. DOI 10.38161/1996-3440-2025-1-41-48.
17. Попов В. М. Гиперустойчивость автоматических систем. М. : Наука, 1970.
18. Еремин Е. Л., Цыкунов А. М. Синтез адаптивных систем управления на основе критерия гиперустойчивости. Бишкек : Илим, 1992. 182 с.
19. Еремин Е. Л. Гиперустойчивость системы управления нелинейным объектом с запаздыванием // Автоматизация технологических процессов. Фрунзе : Фрунзенский политехн. ин-т, 1987. С. 86-95.
20. Репин Ю. М. О приближенной замене системы с запаздыванием обыкновенными динамическими системами // Прикладная математика и механика. 1965. Т. 29, вып. 2. С. 226-235.
21. Еремин Е. Л., Теличенко Д. А., Чепак Л. В. Адаптивная периодическая система для объекта с запаздыванием по управлению // Информатика и системы управления. 2008. № 1 (15). С. 169-178.
22. Комбинированный регулятор для структурно и параметрически неопределенного объекта с запаздыванием по управлению / Еремин Е. Л., Никифорова Л. В., Пикуль З. Д., Теличенко Д. А. // Датчики и системы. 2019. № 10 (240). С. 20-26.

Title: Synthesis of Algorithms for the Decentralized Control of Plant with Time Delays of Control and Neutral Type

Authors' affiliation:

Nikiforova L. V. – Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation
Samohvalova S. G. – Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation

Abstract: In this paper the authors address the problem of synthesizing a decentralized control system for plant with unknown parameters and neutral-type delay and delay of control. To compensate for control delays in the main loop, predictor-compensators are employed. The issue of ensuring strict positive definiteness of the resulting system is resolved through the implementation of a dynamic filter-corrector. The control law synthesis is based on the principles of hyperstability formalized in the V.M. Popov's criterion. The effectiveness of the developed control system is confirmed by the results of simulation modeling conducted in the Simulink environment.

Keywords: a priori structural uncertainty, hyperstability criterion, control delay, neutral type delay, dynamic corrector



УДК 330.342

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-87-96>*А. Е. Зубарев, Э. А. Гасанов, М. А. Гасанов, В. В. Спицын***СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МАЛЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ В КООРДИНАТАХ «ИНДУСТРИИ 4.0» И ДОСТИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА**

Зубарев А. Е. – д-р экон. наук, профессор, директор института экономики и менеджмента, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: 000008@togudv.ru; *Гасанов Э. А.* – д-р экон. наук, профессор высшей экономической школы, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: 006645@mail.ru; *Гасанов М. А.* – д-р экон. наук, профессор отделения экономики и организации производства Бизнес-школы Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: mag@tpu.ru; *Спицын В. В.* – канд. экон. наук, доцент отделения экономики и организации производства Бизнес-школы Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: spicynvv@tpu.ru

В статье рассматривается стратегическое поведение малых технологических компаний в условиях перехода к новейшим технологиям «Индустрии» 4.0. Овладение технологиями «Индустрии» 4.0 – одна из первостепенных задач нашей страны в борьбе за новую модель экономического роста и достижение технологического лидерства. Она предполагает кардинальную перестройку и диверсификацию макроэкономической структуры, изменение места страны в новом международном разделении труда. Неотъемлемой составной частью этого сложного процесса является определение стратегического поведения малых технологических компаний, при опоре на которую осуществляется модернизация экономики. Неуклонное повышение роли технологического предпринимательства в условиях «Индустрии 4.0» закономерно обусловлено возрастающим значением малых технологических компаний, решающих макроэкономические задачи. На современном этапе они связаны с ускорением технологического развития страны, ростом инновационного производства, совершенствованием рыночного механизма, повышением качества товаров и услуг. Познание сущности, механизма формирования и развития малых технологических компаний дает возможность находить наиболее эффективные формы и методы управления инновационными процессами и активно способствовать достижению технологического лидерства. Здесь

© Зубарев А. Е., Гасанов Э. А., Гасанов М. А., Спицын В. В., 2025

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-00731, <https://rscf.ru/en/project/25-28-00731/>



также выделены ведущие факторы развития малых технологических компаний, необходимые для повышения их эффективности и конкурентоспособности на рынке.

Ключевые слова: стратегическое поведение, малая технологическая компания, «Индустрия 4.0», технология, инновационное производство, технологическое лидерство, экономика, рынок, конкуренция

Введение

Под влиянием «Индустрии 4.0» формируются и развиваются новые точки роста инноваций в экономике. С повышением уровня инновационного развития расширяется границы использования новейших экономических ресурсов и технологий. В этих условиях активизируются малые технологические компании, под которыми мы понимаем мобильные, небольшие предприятия, создающие и реализующие инновационные технологии, товары и услуги. Малые технологические компании становятся драйверами развития технологического сектора, которые превращаются в ведущие структуры инновационного производства. Действительно, можно отметить, что эти компании уже в состоянии использовать высокие технологии и применять достижения «Индустрии 4.0» для эффективной организации технологического процесса и управления инновационным производством. Каждый этап по пути реализации достижений «Индустрии 4.0» служит для малых технологических компаний средством утверждения компетентности со всеми вытекающими отсюда позитивными последствиями. С точки зрения диалектической логики, которая исследует определенные противоречия экономической действительности и возникающие на их базе новые закономерности, малые технологические компании – реальный фактор макроэкономических трансформаций. В данных условиях вырисовывается их реальная роль в установлении макроэкономических межотраслевых пропорций. Основной сферой, в которой проявились способности малых технологических компаний оказывать влияние на структуру макроэкономики, явилась отрасль, который элемент рыночной структуры и подразделение макроэкономики. Эти компании оказывают существенное влияние и на внутриотраслевую, и на межотраслевую конкуренцию.

Малые технологические компании используют потенциал развития «Индустрии 4.0». Здесь можно сказать, что о чрезвычайной важности малых технологических компаний для развития технологий «Индустрии 4.0». Под влиянием инновационных технологий появляются новые виды деятельности и производства в отрасли. Главной причиной данного явления выступает развитие технологий «Индустрии 4.0» в российской экономике. Она содержит в себе элементы «Индустрии 4.0», подвергается постоянной трансформации и проходит через ряд доминирующих стадий, имеющие системы набор ее собственных



признаков. В данном случае задача сводится к тому, чтобы определить тренд развития малых технологических компаний для современной стадии и найти набор исходных предпосылок для перспективного развития.

Материал и методы исследования

Методологической основой написания данной статьи послужили фундаментальные положения современной экономической теории, научные концепции, представленные в трудах отечественных и зарубежных ученых-экономистов, а также программные и прогнозныe разработки государственных структур власти, законодательные акты, регулирующие деятельность малых технологических компаний. В рамках данного исследования использованы общенаучные и частно-научные методы познания.

Результаты исследования и их обсуждения

Теоретическое осмысление «Индустрии 4.0» имеется в работах Е. Б. Липкина [1], А.В. Трачука [2], О.А. Худайбердиев [3], Т. Блуммарт, С. ван ден Брук, Э. Колтоф [4], А.В. Шеер [5], Э. Шеффер [6] и многих других.

Теоретическое осмысление технологического предпринимательства имеется в работах таких авторов как А.А. Безруков, А.С. Прошкина [7], Е.И. Денисевич [8], Ю.А. Левин, А.О. Павлов [9], А.В. Овчинникова, Т.Н. Тополева [10], М.В. Подшивалова, С.Т. Смаилов [11] и других.

Проблемы развития малых технологических компаний рассматривали А.А. Алексеев [12], В.Л. Горбунов [13], Н.И. Морозко, В.Ю. Диденко [14], Е.А. Панова [15], Я.С. Флигер [16] и другие.

Содержание и характер инновационной деятельности определяет стратегическое поведение малых технологических компаний – границы их общих и специальных знаний, уровень навыков, креативных и интеллектуальных компетенций, овладение им технологий «Индустрии 4.0» и определение своей рыночной ниши. В соответствии с достигнутым уровнем инновационной деятельности формируется определенное стратегическое поведение на рынке. Значит, инновационное производство – сфера формирования стратегического поведения малых технологических компаний. Для этих компаний технологические разработки являются основным видом деятельности. Научные исследования и физическая интерпретация новых научных знаний - ответственная стадия инновационного производства малых технологических компаний. Это связано с активным влиянием «Индустрии 4.0» на деятельность малых технологических компаний, смещением основной их доли в сторону инновационной сферы, увеличением интеллектуальных функций в макроэкономическом масштабе. Таким образом, они вносят основополагающий вклад в технологическое разви-



тие макроэкономики. В качестве показателей можно использовать характеристики, соответствующие структурным компонентам малых технологических компаний:

- а) степень освоения новых научных знаний, умений, навыков, уровень ключевых компетенций и практики инновационного хозяйствования;
- б) соответствие организации инновационной деятельности задачам формирования технологического лидерства, реализации их практической деятельности;
- в) уровень освоения бизнес-моделей нового типа, степень инновационной активности и минимизация рисков;
- г) умение провести технико-экономический анализ и выявить пути снижения издержек, повышения качества продукции;
- д) способность выявлять основные слагаемые стоимости и роста производительности труда, вскрывать резервы производства за счет полного и эффективного использования факторов производства.

В то же время изменения данных характеристик для оценки эффективности деятельности малых технологических компаний недостаточно. При этом следует учесть, что эффективность выступает совокупным результатом действия многих факторов: условий основной деятельности, качества практической работы, способность оптимально комбинировать факторы производства, учет рыночных изменений и т.д.

Цифровая трансформация, вызвавшая огромный рост производительности труда, а также электронной автоматизации производства, которых работников заменяют машины, рассматривается экономической теорией как аргумент в пользу того, что национальное богатство умножается в результате усиления мощи самого технологического базиса экономики. В результате цифровой трансформации экономика переживает революционный переворот: приобретая искусственный интеллект, она начинает испытывать сильное влияние постоянного обновления технологий. Цифровые технологии, с громадными потенциальными возможностями, проникают во все звенья экономической и социальной сферы. Важное свойство цифровых технологий связано со способностью эффективно объединять различные процессы и технологии. При этом формируется экономика постоянного обновления и быстрого изменения системы ценностей. В этих условиях малые технологические компании не имеют альтернативного выбора, кроме активных разработок новых моделей товаров. В рамках новой экономической ситуации доминирующим принципом действия и стратегического поведения малых технологических компаний стали принцип перманентного технологического обновления. Они, занимающие господствующее положение в инновационной сфере, не приспособляются пас-



сивно к ситуации на меняющемся рынке, они ее в большей мере предопределяют, оптимально влияя на цены, структуру спроса и его объемы. При этом осуществляются приспособления производства и технологий к динамическим изменениям на рынке инноваций [17]. Для того, чтобы малые технологические компании могли усилить инновационный потенциал необходимы соответствующие социальные условия: должен быть большой внутренний спрос на инновации. Эти компании выработали профессиональное умение прогнозировать рыночный спрос и искусно адаптироваться к его быстро меняющейся структуре. В современном обществе с ростом благосостояния возникают новые запросы и потребности, отличающиеся от традиционных. Многие малые технологические компании научились учитывать назревающий потенциальный спрос, насыщение спроса и циклы обновления приобретенных товаров потребителями. Определяющим фактором, стимулирующие инновационную деятельность в перспективе, выступает производственная культура. Отличительной чертой малых технологических компаний является высокая степень готовности к разработке инноваций и производство быстро захватывающих рынок новые товары и услуги. При этом оперативность их действий и разработки инноваций связаны следующими причинами:

1) потребительский спрос становится все более динамичным, поэтому производители должны постоянно изучать структуру спроса и создавать новые продукты, учитывая объемы рынка;

2) под влиянием высоких темпов научно-технического прогресса происходит быстрое обновление продукции.

В современной экономике подвергаются перманентному обновлению почти все сферы производства и потребления [18]. Все это дают ориентир для максимизации и оптимизации прибыли малых технологических компаний, которые делают все возможное, чтобы произвести инновационную продукцию, существенно превосходящую существующие аналоги. Подобная установка формируется под влиянием четвертой промышленной революции, быстрого изменения системы ценностей и все более утонченных запросов суверенных потребителей. Сильная конкуренция между малыми технологическими компаниями вынуждают их действовать активно и разрабатывать инновационные модели товаров.

Во многих случаях объяснение поведения малых технологических компаний и причин креативности может быть найдено в институциональных взаимосвязях или социальном окружении, которые свойственны рыночной экономике. Важными чертами начального этапа развития малых технологических компаний, отличающими их от крупных компаний, являются: низкий уровень инвестиций, слабое развитие партнерских взаимосвязей, недоступность или



отсутствие необходимой инфраструктуры и сильная зависимость от административных структур и т.д. При этом рациональность поведения малых технологических компаний, выражающаяся в их стремлении при минимуме издержек добиться максимальных результатов, что позволяет реализовать условия рыночного оптимума, дающего возможность наилучшим образом использовать имеющиеся факторы производства. Однако необходимо целый комплекс научных, технологических, организационных, коммерческих и инвестиционных операций и действий. Они в совокупности приведут к инновационным результатам. Для преодоления стартового рубежа требуется прямое участие государства в инвестиционном процессе и системной поддержке [19]. Развитие малых технологических компаний – одна из приоритетных и важных целей развития российской экономики. С этой целью установлен особый правовой режим осуществления деятельности малых технологических компаний. Это будет способствовать формированию благоприятной среды для привлечения инвестиций, обеспечения ускоренного развития экономики [20]. Инвестиционные ресурсы являются необходимым и достаточным условием развития малых технологических компаний. Инвестиции должны быть объектом целенаправленной технологической политики. Эти компании имеют хозяйственную стратегию, позволяющая в максимальной степени мобилизовать эндогенные (и экзогенные) ресурсы, увеличить уровень инновационности и добиться на этой основе высоких темпов развития. На этой основе малые технологические компании дают импульс развитию спектра других отраслей экономики.

Стратегия научно-технологического развития РФ призывает создать механизмы, обеспечивающие процесс притока инвестиций, создания технологических компаний, реализации инвестиционных и инновационных проектов. В настоящее время федеральные институты поддержки инноваций распространяют свое действие и на малые технологические компании.

В нашей стране, в последние десятилетия, фактически выстроена и сложилась вся система институтов развития и разных механизмов государственной поддержки инноваций. Они уже себя проявляют в развитии малого технологических компаний, которые принимают решения на основе данных современной науки. Подобное развитие диктуется логикой четвертой промышленной революции, в которой лидерство от крупных компаний переходит к малым технологическим компаниям. Практика показала, что путь развития инноваций и технологическое лидерство – это стратегическое направление.

Стратегическое поведение малых технологических компаний предусматривает всемерное освоение технологий «Индустрии 4.0». Содержание и характер инновационной деятельности определяют направленность развития малых технологических компаний – пределы их общих и специальных знаний, уро-



вень профессиональных навыков, креативных и интеллектуальных способностей, осознание им неоиндустриальной действительности и своего места в ней [21].

Мы рассматриваем малые технологические компании как средство реализации основных задач технологического лидерства, качественного изменения, совершенствования инновационной деятельности и новой организации управления производством.

Малые технологические компании обладают определенной технико-экономической спецификой, которая предполагает современную материально-техническую инфраструктуру инновационного производства. Необходимо совершенствовать систему стимулирования развития инновационной деятельности [22]. Действующие институты развития, которые созданы, прежде всего, в виде фондов поддержки, венчурных фондов, бизнес – инкубаторов и другие. Здесь важно, чтобы они охватывали все основные отрасли экономики. Развитие технологического сектора будет оказывать мощное влияние на все отрасли экономики. Качественное развитие экономики как системы зависит от происходящих в ней эндогенных процессов. Новые знания – катализатор инновационного развития экономики и технологического сектора в частности.

Следовательно, инновационное развитие экономики заставляет искать альтернативные экономические ресурсы. Основная идея четвертой промышленной революции проста: чтобы вызвать положительные глобальные изменения, необходимо полностью изменить глобальную структуру производства и потребления [23]. Важнейшее направление «Индустрии 4.0» - рациональное использование экономических ресурсов. Снижение издержек производства сокращает потребности в экономических ресурсах и одновременно позволяет увеличить инвестиции в НИОКР. Следовательно, рациональное использование экономических ресурсов позволяет добиваться максимальных результатов, если используется научная организация производства, технологии «Индустрии 4.0», передовой опыт.

Заключение

Громадный передовой опыт, накопленный производителями в технологическом секторе, свидетельствует о том, что стратегическое поведение малых технологических компаний в значительной мере зависят от креативности, ключевых компетенций, технологической культуры, овладения ими новыми научными знаниями, от умения применять эти знания на практике инновационного производства. Радикальным методом увеличения объемов выпуска новой технологической продукции и одновременного снижения издержек выступает использование инноваций и опыта наукоемкого производства. Стратегическое

поведение малых технологических компаний, их участие в формировании инновационного производства – одно из важнейших условий выработки трендов развития в координатах «Индустрии 4.0».

Библиографические ссылки

1. Липкин Е. Б. Индустрия 4.0: «Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции». М. : ООО «Остек-СМТ», 2018. 224 с.
2. Трачук А. В., Линдер Н. В. Влияние технологий Индустрии 4.0 на повышение производительности и трансформацию инновационного поведения промышленных компаний // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2020. № 2. С. 132-149.
3. Худайбердиев О. А. Индустрия 4.0 как инновационная среда возможностей для малого предпринимательства // Экономика предпринимательства. 2023. № 4. С. 194-201.
4. Блуммарт Т. Т., С. ван ден Брук, Колтоф Э. Четвертая промышленная революция и бизнес. Как конкурировать и развиваться в эпоху сингулярности. М. : Альпина Паблишер, 2019. 204 с.
5. Шеер А.-В. Индустрия 4.0: от прорывной бизнес-модели к автоматизации бизнес-процессов. М. : Издат. дом «Дело» РАНХиГС, 2020. 272 с.
6. Шеффер Э. Индустрия Х.О. Преимущества цифровых технологий для производства. М. : Издат. группа «Точка», 2019. 320 с.
7. Безруков А. А., Прошкина А. С. Технологическое предпринимательство как фактор развития Индустрии 4.0 // Петербургский экономический журнал. 2022. № 1-2. С. 37-42.
8. Денисевич Е.И. Концепции технологического предпринимательства // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 5. С. 26-30.
9. Левин Ю. А., Павлов А. О. Технологическое предпринимательство и инновационная стратегия: теоретический базис и прикладные аспекты. М. : Русайнс, 2022. 152 с.
10. Овчинникова А. В., Тополева Т. Н. Барьеры становления экосистемы технологического предпринимательства в России // Управление науки. 2023. № 3. С. 71-85.
11. Подшивалова М. В., Смаилов С. Т. Технологическое предпринимательство: проблемы идентификации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2021. № 4. С. 155-163.
12. Алексеев А. А. Малые научно-сервисные компании в инновационных экосистемах. СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2021. 167 с.
13. Горбунов В. Л. Бизнес-инкубаторы и предпринимательства. М. : РИОР: Инфра-М, 2021. 215 с.
14. Морозко Н. И., Диденко В. Ю. Развитие механизма доступности кредитных ресурсов для высокотехнологичных субъектов малого бизнеса. М. : КноРус, 2023. 282 с.



15. Панова Е. А. Факторы, влияющие на технологическое развитие малых и средних промышленных предприятий // Государственное управление. Электронный вестник. 2024. № 107. С. 102-114.

16. Флитер Я. С. Свобода научного творчества в контексте законодательства о науке и малых технологических компаниях // Право и практика. 2024. № 2. С. 83-89.

17. Гасанов Э. А., Бойко Т. С., Фролова Н. С. Развитие малых инновационных фирм: от идеи до производства инноваций : монография. Хабаровск : РИЦ ХГУЭП, 2017. 120 с.

18. Тарасов И. В. Технологии Индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний // Интерактивная наука. 2018. № 2. С. 62-69.

19. О развитии технологических компаний в Российской Федерации : федер. закон от 04.08.2023 № 478-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2023. № 32 (ч. I). Ст. 6210.

20. Меры поддержки малых технологических компаний // Министерство экономического развития РФ : офиц. сайт. URL: <https://economy.gov.ru> (дата обращения: 01.06.2025).

21. Антонов А.Д. Стратегическое поведение фирмы в условиях постиндустриальной трансформации: теоретический аспект // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2010. С. 96-111.

22. Демин А. В. Стимулирование развития малых технологических компаний в России: курс на «бесшовность» // Инновации. 2023. № 5. С. 3-6.

23. Влияние Индустрии 4.0 на экономику и производство / Т. В. Мезина, А. В. Зозуля, П. В. Зозуля, Т. Ф. Чернова, А. В. Плетнова // Вестник ГГУ. 2022. № 2. С. 71-76.



Title: Strategic Behavior of Small Technological Companies in Terms of Industry 4.0 and Techological Leadership

Authors` affiliation:

Zubarev A. E. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Gasanov E. A. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Gasanov M. A. – National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

Spitsyn V. V. – National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

Abstract: The authors of the article examine the strategic behavior of small technological companies in the context of the transition to the latest technologies of Industry 4.0. Mastering the technologies of Industry 4.0 is one of the primary tasks of our country in the struggle for a new model of economic growth and achieving technological leadership. It involves a fundamental restructuring and diversification of the macroeconomic structure, and changing the place of the country in the new international division of labor. An integral part of this complex process is the definition of the strategic behavior of small technological companies, based on which the modernization of the economy is carried out. The steady increase in the role of technological entrepreneurship in the context of Industry 4.0 is naturally due to the increasing importance of small technological companies that solve macroeconomic problems. At present stage, they are associated with the acceleration of the country's technological development, the growth of innovative production, the improvement of the market mechanism, and the improvement of the quality of goods and services. Understanding the essence, mechanism of formation and development of small technological companies makes it possible to find the most effective forms and methods of managing innovation processes and actively contribute to achieving technological leadership. It also highlights the leading factors in the development of small technological companies that are necessary to increase their efficiency and competitiveness in the market.

Keywords: strategic behavior, small technological company, Industry 4.0, technology, innovative production, technological leadership, economy, market, competition



УДК 338.2

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-97-104>*О. С. Степченкова*

РАЗРАБОТКА ЭКОСИСТЕМНОЙ ОСНОВЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Степченкова О. С. – канд. экон. наук, ассистент кафедры международного бизнеса, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, e-mail ooolitmash@yandex.ru

В статье рассматривается экосистемный подход к обеспечению экономической безопасности промышленности. Цель исследования заключается в разработке экосистемной основы экономической безопасности промышленности путем исследования и обобщения положений авторитетных теоретических источников и современных исследований. Выявлено, что теоретической базой экосистемного подхода к обеспечению экономической безопасности промышленности строятся на фундаменте теорий инновационных экосистем, эволюционной и институциональной экономики, устойчивого развития и управления рисками. В ходе исследования определены ключевые элементы и механизмы реализации экосистемного подхода, включая институциональную координацию, инновационную инфраструктуру, цифровизацию и управление рисками. Особое внимание уделено разграничению экосистемного подхода в развитии промышленности и его роли в обеспечении экономической безопасности. В статье подчеркивается, что экосистемный подход позволяет снизить уязвимость промышленности к внешним угрозам, повысить ее адаптивность и обеспечить технологическую независимость. Результаты исследования позволили определить ключевые идеи, релевантные для построения методологии исследования экосистемного подхода в обеспечении экономической безопасности промышленности. Заключение подчеркивает значимость экосистемного подхода для перехода к гибким децентрализованным сетям управления промышленностью с высокой степенью кооперации между государством, бизнесом, наукой и обществом.

Ключевые слова: экосистемный подход, промышленность, отраслевая экономика, экономическая безопасность, национальная безопасность, развитие промышленности России, теория экономической безопасности

Введение

Современная промышленность сталкивается с нарастающими вызовами, связанными с технологическими сдвигами, глобальной конкуренцией и геоэкономическими рисками. В этих условиях традиционные механизмы обеспечения экономической безопасности становятся недостаточными. Эффективным инструментом может стать экосистемный подход, который объединяет участников промышленного сектора в единую взаимосвязанную систему, способную адаптироваться к изменяющимся условиям и минимизировать уязвимости. Экономические экосистемы представляют собой новый класс системных образований и взаимодействий в современной экономике [1]. В рамках таких образований формируются новые экономические риски и угрозы [2], предупреждение которых требует освоения новых научных и практических направлений в области экономической безопасности.

Экосистемный подход может применяться не только для развития промышленности, но и для обеспечения ее экономической безопасности. Разница заключается в фокусе и приоритетах этих процессов. Развитие отрасли по экосистемному методу направлено на стимулирование экономического роста и инновационной деятельности, повышение конкурентоспособности отраслей. Основные механизмы в данном случае включают кооперацию, создание кластеров, венчурное финансирование, поддержку стартапов.

Многие российские ученые, такие как Авдийский В. И., Андропова И. В., Банк С. В., Безденежных В. М., Глазьев С. Ю., Дронов Р. В., Ленчук Е. Б., Митяков Е. С., Митяков С. Н., Старовойтов В. Г. и другие, внесли свой вклад развитие инструментов и моделей обеспечения экономической безопасности промышленности. Исследования экономической безопасности в экосистемном направлении пока не многочисленны, и методология в данной области требует глубокой проработки. Следует предположить, что система экономической безопасности, устроенная по экосистемному принципу, будет ориентирована на снижение уязвимостей экономики отрасли и защиту критически важных технологий. Ведущую роль в такой системе получают меры по управлению рисками, снижению зависимости от импорта, адаптивное государственное регулирование и предиктивные антикризисные механизмы.

Цель данной статьи — разработка экосистемной основы экономической безопасности промышленности путем исследования и обобщения положений авторитетных теоретических источников и современных исследований.

Теоретические основы

Формирование методологии экосистемного подхода в обеспечении экономической безопасности промышленности требует установки акцентов в применении экономических теорий.

Согласно положениям эволюционной экономики (Нельсон Р., Уинтер С. [3]), которая объясняет развитие промышленности как процесс естественного отбора технологий и бизнес-моделей, экосистема может рассматриваться как



устойчивая бизнес-модель, а ее связь с экономической безопасностью обусловлена способностью к адаптации и созданием благоприятных условий для внедрения новых технологий.

Теория инновационных экосистем (Аднер Р. [4], Мур Дж. Ф. [5]) объясняет, как взаимодействие предприятий, науки, государства и инвесторов формирует устойчивую инновационную среду. Теория применима для экономической безопасности, так как формирует концептуальные основы поддержки критически важных технологий и создания защищенной научно-технологической сферы, способной выдерживать кризисы. Положения теории национальной инновационной системы (Лундвалл Ф. [6], Фримен К. [7], Нельсон Р. [8]) применимы для экономической безопасности отраслей в процессах создания стратегически важных технологических платформ, ориентированных на снижение рисков импортозависимости.

Роль теории институциональной экономики (Норт Д. [9], Уильямсон О. [10]) заключается в разработке основ для создания эффективных институтов развития контрактных отношений между государством, наукой и бизнесом, а также механизмов защиты интеллектуальной собственности. Теория устойчивого развития (Дэйли Г. [11]) формирует ориентацию на долгосрочный баланс экономических, социальных и экологических факторов при обеспечении экономической безопасности промышленности. Внедрение механизмов ресурсосбережения и замкнутых производственных циклов для снижения зависимости от внешних поставок будет способствовать развитию устойчивых производственных цепочек внутри страны. Теория управления рисками (Найт Ф. [12], Бернштейн П. [13]) применима для экономической безопасности в разработке механизмов предсказания и предотвращения кризисов в промышленности, снижении вероятности дестабилизации отрасли за счет диверсификации и стресс-тестирования. Представленные теоретические концепции позволяют сформировать научное обоснование экосистемного подхода к экономической безопасности промышленности.

Результаты исследования

В российских научных источниках обсуждаются различные идеи, которые могут быть взяты на основу формирования экосистемной основы в обеспечении экономической безопасности промышленности.

В статье Волковой Ю.А. [14] рассматриваются ключевые аспекты применения экосистемного подхода в промышленности. Несмотря на возможные трудности, такие как оппортунистическое поведение участников и различия в ресурсном обеспечении, преимущества экосистемного подхода делают его перспективным инструментом государственной политики. К основным признакам экосистемного подхода данный автор относит многосубъектность и децентрализацию управления, сочетание кооперации и конкуренции во взаимодействиях предприятий отрасли (коопетиция), появление эмерджентных свойств. Преобладание горизонтальных взаимодействий над вертикальными

иерархиями обеспечивает быстрое реагирование на изменения рынка, а эффективное распределение ресурсов осуществляется посредством использования цифровых технологий и платформенных решений.

В исследовании Акбердиной В.В. [15] промышленная экосистема рассматривается как среда устойчивого развития и защиты отрасли от внешних и внутренних рисков. Исследование подтверждает, что экосистемный подход не только способствует развитию промышленности, но и формирует устойчивые механизмы экономической безопасности. Ключевыми инструментами такого подхода являются государственное регулирование, цифровизация, кооперация, инновации и экологическая устойчивость.

В статье Черновой О.А. и соавт. [16] экосистемная парадигма рассматривается как способ преодоления барьеров инновационного развития, что важно для обеспечения технологической независимости и безопасности промышленности. Устойчивость промышленных экосистем рассматривается через призму рационального симбиоза участников – государства, бизнеса, науки и общества. Авторы предлагают когнитивное моделирование в качестве инструмента для прогнозирования эффектов управленческих воздействий в промышленных экосистемах.

Циклические модели развития промышленности [17] рассматриваются через этапы цифровой трансформации и экосистемного взаимодействия. Исследование подтверждает, что экономическая безопасность достигается не только за счет инструментов государственной защиты отрасли, но и через постоянную адаптацию участников и их инновационное развитие. В построении своей концепции Ковальчук Ю.А. и соавт. выбирают в качестве ключевых инструментов экосистемного подхода цифровизацию, государственное регулирование, инновационные сети и адаптивные бизнес-модели, которые позволяют минимизировать внешние угрозы и обеспечить устойчивое развитие отрасли. В другой статье [18] авторы подчеркивают, что экосистемный подход способствует формированию единого цифрового пространства, объединяющего различных участников промышленного сектора. Такое взаимодействие снижает технологические и экономические риски, повышая устойчивость промышленности к кризисным явлениям.

Мезенцева Е.С. считает, что экосистемная модель обеспечивает более высокую эффективность по сравнению с традиционными закрытыми системами [19]. Однако, несмотря на то что государство играет ключевую роль в координации взаимодействия участников экосистемы, обеспечивая защиту критически важных отраслей от внешних угроз, необходима многоуровневая классификация экосистемных рисков на различных уровнях (микро-, мезо-, макро-), которая позволит участникам экосистемы эффективно управлять потенциальными угрозами. Характерной чертой подхода авторы называют самоорганизацию и симбиотические отношения между участниками, что повышает их устойчивость к внешним изменениям.



В статье Каленова О.Е. [20] представлен многоуровневый подход к описанию экосистем; выделены уровни - глобальный, национальный, региональный. По мнению данного автора, на макроуровне экосистемы способствуют национальной технологической независимости, на мезоуровне - играют ключевую роль в устойчивом развитии промышленности, на микроуровне - формируют условия для повышения конкурентоспособности предприятий.

Таким образом, можно выделить следующие ключевые идеи, которые часто обсуждаются в научной литературе и могут быть релевантны для построения методологии исследования экосистемного подхода в обеспечении экономической безопасности промышленности:

- 1) интеграция участников промышленной экосистемы, через создание единого цифрового пространства, объединяющего производителей, поставщиков, научные учреждения и государственные органы, способствует повышению устойчивости промышленности к внешним и внутренним угрозам;
- 2) роль государства как координатора - государство выступает в роли регулятора и интегратора, обеспечивая поддержку стратегически важных отраслей через различные механизмы, такие как технопарки, налоговые льготы и гранты;
- 3) цифровизация и инновации - внедрение цифровых технологий и инновационных решений повышает прозрачность процессов, улучшает управление рисками и способствует быстрому реагированию на потенциальные угрозы;
- 4) сетевое взаимодействие и кооперация - установление прочных связей между предприятиями, научными учреждениями и инвесторами способствует обмену знаниями и ресурсами, что укрепляет общую экономическую безопасность;
- 5) многоуровневый подход к управлению рисками - рассмотрение рисков на различных уровнях (от отдельных предприятий до национальной экономики) позволяет разработать эффективные стратегии их минимизации.

Потенциал экосистемного подхода необходимо развивать в разных сферах и отраслях российской экономики, где требуется повышение уровня экономической безопасности. Например, в фармацевтической отрасли экосистема обеспечит развитие научно-технологических платформ, локализацию производства, повысит уровень технологической независимости. В энергетике потенциал экосистемного подхода может быть раскрыт в управлении потреблением энергии и развитием новых энергетических решений для обеспечения энергетической безопасности регионов России, которые имеют неравные ресурсные и инфраструктурные возможности в данной сфере хозяйствования. В подготовке инженерных кадров возможности экосистемного подхода еще не полностью определены, исследования продолжаются, а на практике - создаются системы взаимодействия между университетами и предприятиями.

Экосистемный подход к экономической безопасности промышленности формирует новый методологический фундамент для управления рисками и устойчивостью промышленности. Отсутствие четкой методологии оценки эко-

системной безопасности промышленности требует дальнейшей разработки системы количественных индикаторов, отражающих устойчивость промышленных экосистем.

Заключение

Экосистемный подход к экономической безопасности рассматривает промышленность как динамическую сеть взаимодействующих субъектов – государства, бизнеса, науки и общества, – обеспечивающую устойчивость и адаптивность к внешним вызовам. Основой такого подхода являются институциональная координация, инновационная инфраструктура, сетевые эффекты и диверсификация ресурсов, что снижает уязвимость отрасли и повышает ее конкурентоспособность. В условиях технологических и геоэкономических рисков экосистемная модель способствует развитию механизмов самоорганизации, интеграции и гибкого реагирования, создавая условия для долгосрочного роста и безопасности промышленного сектора.

Экосистемный подход к экономической безопасности промышленности является перспективным направлением научных исследований, которое требует дальнейшего развития в области количественной оценки, цифрового управления рисками и стратегического регулирования. Перспективным направлением исследований является адаптация экосистемного подхода к специфике различных отраслей.

Экосистемный подход к экономической безопасности промышленности представляет собой комплексную стратегию, направленную на интеграцию государственных, корпоративных и научных институтов в единое инновационное пространство. Развитие экосистемного подхода должно стать основой новой промышленной политики, обеспечивающей гибкость, устойчивость и конкурентоспособность национальной промышленности.

Библиографические ссылки

1. Третьякова Е. А., Фрейман Е. Н. Экосистемный подход в современных экономических исследованиях // Вопросы управления. 2022. № 1. С. 6-20.
2. Быстров А. В., Толстых Т. О., Агаева А. М. Модель экосистемных рисков экономической безопасности предприятий промышленной экосистемы // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. № 2. С. 14-28. DOI 10.21685/2227-8486-2020-2-2.
3. Нельсон Р., Уинтер С. Эволюционная теория экономических изменений / пер. с англ. М. Я. Каждана. М. : Финстатинформ, 2000. 472 с.
4. Adner R. Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy // Journal of Management. 2017. Vol. 43, № 1. P. 39-58. DOI: 10.1177/0149206316678451.
5. Moore J. F. Predators and Prey: A New Ecology of Competition // Harvard Business Review. 1993. Vol. 71, № 3. P. 75-86.
6. National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive / Learning edited by Bengt -Ake Lundvall. Pinter Publishers, London, 1992. 342 p.



7. Freeman C. *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London : Pinter Publishers, 1987. 155 p.
8. *National Innovation Systems: A Comparative Analysis* / Nelson R. R. (Ed.). New York : Oxford University Press, 1993. 560 p.
9. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики / пер. с англ. А. Н. Нестеренко. М. : Фонд эконом. книги «Начала», 1997. 180 с.
10. Уильямсон О. И. *Экономические институты капитализма : фирмы, рынки, «отношенческая» контрактация*. СПб. : Лениздат, 1996. 702 с.
11. Daly H. E. *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Boston : Beacon Press, 1996. 253 p.
12. Найт Ф. Х. *Риск, неопределенность и прибыль*. М. : Дело, 2003. 360 с.
13. *Против богов : укрощение риска* / П. Бернстайн. М. : Олимп-Бизнес, 2008. 396 с.
14. Волкова Ю. А. *Экосистемный подход к управлению развитием промышленных организаций // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость : материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19 мая 2023 г. / Белорусский гос. эконом. ун-т. Минск : ГУ «БелИСА», 2023. С. 134.*
15. Акбердина В. В. Василенко, Е. В. *Базовые стратегии поведения промышленности как участника региональных инновационных экосистем // AlterEconomics. 2023. № 20. С. 548-569. DOI: <https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2023.20-3.4>.*
16. Чернова О. А., Матвеева Л. Г., Горелова Г. В. *Экосистемный подход к управлению процессами инновационного развития промышленности // Journal of new economy. 2021. № 2. С. 44-64.*
17. Ковальчук Ю. А., Степнов И. М., Бикаленко М. С. *Экосистемный подход к управлению взаимодействием экономических агентов в промышленности // Управленческие науки / Management Sciences. 2022. № 12. С. 6-23. DOI: <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2022-12-3-6-23>.*
18. Ковальчук Ю. А., Степнов И. М. *Управление промышленными экосистемами в едином цифровом пространстве // Проблемы рыночной экономики. 2022. № 3. С. 107-121. DOI: <https://doi.org/10.33051/2500-2325-2022-3-107-121>*
19. Мезенцева Е. С. *Корпоративные экосистемы в промышленности: российский и зарубежный опыт // Современные технологии управления. 2023. № 4.*
20. Каленов О. Е. *Инновационная экосистема как основа развития высокотехнологичной промышленности // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2020. Т. 17, № 5. С. 126-133. DOI 10.21686/2413-2829-2020-5-126-133.*



Title: Development of an Ecosystem Framework for the Economic Security of Industry

Authors' affiliation:

Stepchenkova O. S. – Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract: In the article the author considers an ecosystem approach to ensuring the economic security of industry. The purpose of the study is to develop an ecosystem framework for the economic security of industry by researching and summarizing the provisions of authoritative theoretical sources and modern research. It is revealed that the theoretical basis of the ecosystem approach to ensuring the economic security of industry is based on the theories of innovative ecosystems, evolutionary and institutional economics, sustainable development and risk management. The study has identified key elements and mechanisms for implementing the ecosystem approach, including institutional coordination, innovation infrastructure, digitalization, and risk management. Special attention is paid to the differentiation of the ecosystem approach in industrial development and its role in ensuring economic security. In the article it is emphasized that the ecosystem approach makes it possible to reduce the vulnerability of industry to external threats, increase its adaptability and ensure technological independence. The results of the study allowed us to identify key ideas relevant for building a methodology for studying the ecosystem approach in ensuring the economic security of industry. The conclusion underlines the importance of the ecosystem approach for the transition to flexible decentralized industrial management networks with a high degree of cooperation between government, business, science and society.

Keywords: ecosystem approach, industry, sectoral economics, economic security, national security, industrial development in Russia, theory of economic security



УДК 327.36

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-105-112>*Гу Эркан***ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УГЛУБЛЕНИЮ СОТРУДНИЧЕСТВА
В ОБЛАСТИ ГУМАНИТАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ КАК СПОСОБА
ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА
«ОДИН ПОЯС И ОДИН ПУТЬ»**

Гу Эркан – канд. экон. наук, старший преподаватель Северо-Восточного сельскохозяйственного университета, Харбин, КНР, e-mail: gurk1977@163.com

Статья посвящена проекту совместного строительства «Один пояс и один путь», которому в 2025 году исполняется 12 лет. За эти 12 лет страны, расположенные по линии проекта, достигли впечатляющих результатов. В первой части статьи рассматривается текущее состояние и оценивается эффективность совместного строительства по проекту «Один пояс и один путь», приводятся соответствующие данные по таким разделам, как совместное создание инфраструктур, бесперебойная торговля, финансовая интеграция, а также развитие связей между людьми. Во второй части представлено обобщение опыта и даются предложения по дальнейшему строительству «Одного пояса и одного пути», в частности: 1. углублять сотрудничество в сфере гуманитарных наук и образования с целью подготовки кадров для совместного строительства «Одного пояса и одного пути»; 2. углублять сотрудничество в области высоких и новых технологий, стимулировать высококачественное развитие совместного строительства «Одного пояса и одного пути»; 3. стимулировать молодежный обмен и сотрудничество, формировать основы общественного мнения для совместного строительства «Одного пояса и одного пути». В статье доказывается, что совместное строительство в рамках инициативы «Один пояс и один путь» способствует углублению сотрудничества между странами и регионами, поддерживает глобальную систему свободной торговли и открытую мировую экономику, благоприятствует культурному обмену и взаимному обучению.

Ключевые слова: «Один пояс и один путь», инфраструктура, финансовая интеграция, бесперебойная торговля, гуманитарное образование, основы общественного мнения

Краткая история и текущее состояние проекта «Один пояс и один путь»

1. Инициатива «Один пояс и один путь», получившая широкое признание, была выдвинута в ноябре 2013 года. Ее название восходит к сочетанию «Великий шелковый путь», которое было введено в конце XIX века немецким географом Фердинандом фон Рихтгофеном для обозначения нескольких торговых путей, открытых более 2000 лет назад и связавших цивилизации Азии, Европы и Африки. Великий шелковый путь с древних времен имел большое значение для развития торговых отношений и культурного обмена народов. Председатель КНР Си Цзиньпин в 2013 году предложил создать проект «Один пояс и один путь» как всесторонне открытый пояс экономического сотрудничества, стимулирующий развитие политической интеграции, транспортной коммуникации, свободной торговли, денежного обращения и взаимопонимания народов. [1]

За последние двенадцать лет благодаря совместным усилиям всех сторон круг участников «Пояса и пути» непрерывно расширялся, среднегодовой рост торговли товарами со странами вдоль пути составил восемь процентов, было создано более 421 тысячи рабочих мест. Так, например, проект по воздушному экспорту кедровых орехов из Афганистана в КНР принес афганскому народу доход в сотни миллионов долларов. По состоянию на январь 2023 года Китай подписал более 200 документов о сотрудничестве в совместном строительстве «Пояса и пути» со 151 страной и 32 международными организациями. [2]

2. Впечатляющие результаты были достигнуты в совместном создании объектов инфраструктуры. С самого начала реализации инициативы Китай работал со всеми сторонами над созданием сети взаимосвязанности, и в этой сфере сделано очень много. Ускоренными темпами реализуется большое количество практических проектов сотрудничества, таких как железная дорога Китай – Лаос, высокоскоростная железная дорога Момбаса – Найроби, высокоскоростная железная дорога Джакарта – Бандунг, мост через море возле полуострова Пелешац, порт Гвадар и другие, что внесло ощутимый вклад в местное экономическое развитие и улучшение жизни людей. Бесперебойно функционируют грузовые поезда по маршрутам Китай – Европа, в общей сложности было запущено около 60 тыс. поездов, общая стоимость грузов составила почти 300 млрд долларов США. Количество маршрутов достигло 94, они охватывают более 30 стран, в общей сложности было запущено более 9000 судов и выполнено 10 млн TEU. [3]



Высокоскоростная железная дорога Джакарта – Бандунг

3. Повышение количества и качества бесперебойной торговли. За 12 лет товарооборот между Китаем и странами по линии «Пояса и пути» вырос с 1,04 трлн долларов США до 2,07 трлн долларов США, совокупный объем инвестиций в обоих направлениях превысил 380 млрд долларов США. Процедуры торговли между Китаем и странами совместного строительства продолжают упрощаться, в общей сложности с 52 странами и регионами были подписаны соглашения о взаимном признании сертифицированных операторов (АЕО), быстро развиваются новые форматы торговли, такие как трансграничная электронная коммерция. Международные торгово-экономические мероприятия, такие как СШЕ, Гуанчжоуская ярмарка, ярмарки услуг и товаров народного потребления, продолжают демонстрировать искренность и жизненную силу открытости Китая внешнему миру. Китайско-белорусский индустриальный парк, особая экономическая зона порта Сиануквиль, китайско-египетская зона торгово-экономического сотрудничества Суэц и другие зарубежные зоны торгово-экономического сотрудничества могут служить образцами взаимовыгодных проектов. Реализация проекта «Один пояс и один путь» оказала большое влияние и на китайско-российское сотрудничество. Через таможенные переходы между Россией и Китаем стало перевозиться намного больше товаров. Это и товары, непосредственно экспортируемые Россией в Китай и импортируемые Россией из Китая, и товары, следующие из Китая через Россию в страны Европы. Увеличение объемов

непосредственно российско-китайского импорта и экспорта можно увидеть на нижеследующем графике. [4]

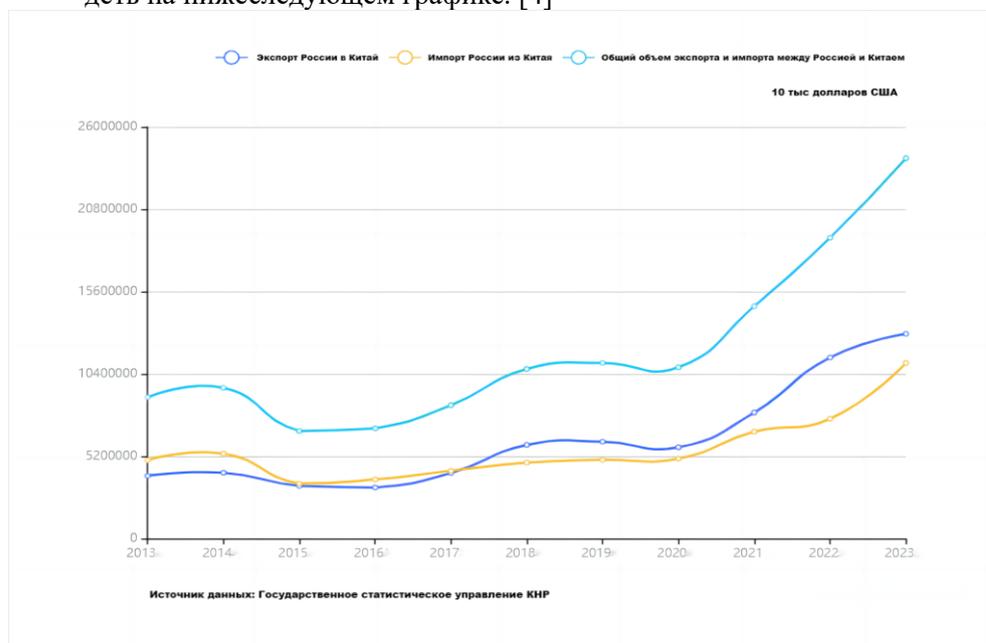


График увеличения объемов импорта и экспорта между Россией и Китаем с 2013 по 2023 год

4. Развивается и стимулируется финансовая интеграция. Продолжается интернационализация юаня. В настоящее время Китай создал механизм свопа в местной валюте более чем с 20 странами «Одного пояса и одного пути» и осуществил клиринг юаня более чем с 10 странами «Одного пояса и одного пути». Система трансграничных платежей в юанях (CIPS) получила дальнейшее распространение. АБИИ, Фонд Шелкового пути и Фонд Центра многостороннего сотрудничества в области финансирования развития непрерывно расширяются, оказывая решительную поддержку реализации проектов строительства «Одного пояса и одного пути». [5]

5. Плодотворным было и сотрудничество в сфере медицины и здравоохранения, образования, культуры и искусства. Во время эпидемии коронавируса Китай совместно с 31 партнером «Одного пояса и одного пути» выступил с инициативой сотрудничества в области вакцинации, предоставив противоэпидемические средства и вакцины на сумму сотен миллиардов юаней более чем 160 странам и международным организациям. «Семья Шелкового пути» осуществила более 300 проектов сотрудничества по обеспечению средствами к существованию людей в странах совместного строительства и способствовала установлению 600 пар партнерских отношений между китайскими и иностранными общественными организациями. Китай и страны-участницы проекта



проводят годы культуры, туризма, художественные фестивали, кинофестивали, телевизионные недели, книжные выставки и т. п., что способствует демонстрации национальных особенностей, пониманию различных культур и улучшению взаимопонимания и познания. Число организаций, входящих в Международный союз театров, музеев, художественных фестивалей, библиотек и художественных галерей Шелкового пути, достигло 539. Китайское правительство ежегодно предоставляет 10 000 правительственных стипендий учащимся ряда стран Шелкового пути, местные органы власти создают специальные стипендии, постепенно продвигаются более 10 брендов сотрудничества в области образования, например, «Мастерская Лу Баня», которые готовят квалифицированные кадры для стран по линии «Одного пояса и одного пути». [6]

Обобщение опыта и предложения по совместному строительству «Одного пояса и одного пути»

1. Углублять сотрудничество в области гуманитарных наук и образования, обеспечивать подготовку кадров для совместного строительства «Пояса и пути».

В настоящее время, хотя совместное плодотворное строительство «Одного пояса и одного пути» достигло значимых результатов, все еще существует нехватка языковых кадров и недостаток образовательных обменов, что влияет на дальнейшее продвижение совместного строительства «Одного пояса и одного пути».

В этой ситуации было бы эффективным приложить больше сил к созданию альянса университетов «Один пояс и один путь» на высшем уровне, оценивать участников университетского альянса «Один пояс и один путь» с учетом региональных особенностей, увеличить роль платформы сотрудничества альянса и углубить практическое сотрудничество в области образования между странами, расположенными по линии «Одного пояса и одного пути».

Также было бы эффективным расширить сферу реализации проектов сотрудничества в области образования, таких как «Мастерская Лу Баня», и оказывать политическую и финансовую поддержку сотрудничеству между школами и предприятиями для проведения обменов в сфере профессионального образования в рамках «Одного пояса и одного пути».

Стимулировать развитие проекта также может создание цифровой культурно-образовательной платформы «Один пояс и один путь» и постоянная работа над расширением функций этой платформы. Необходимо усиливать многостороннюю координацию, создавать виртуальные классные комнаты, развертывать сотрудничество в преподавании цифровых языков, осуществлять совместное строительство и совместное использование; создать аудиовизуальную библиотеку классической литературы, содействовать распространению

классической культуры и осуществлять онлайн-взаимодействие в сфере культурных обменов.

2. Углублять сотрудничество в области высоких и новых технологий, стимулировать высококачественное развитие совместного строительства «Одного пояса и одного пути».

В настоящее время научно-техническое сотрудничество в рамках инициативы «Один пояс и один путь» достигло значительных успехов, области сотрудничества постоянно расширяются, сотрудничество плодотворно, масштабы импорта и экспорта высокотехнологичной продукции и торговли технологиями все увеличиваются. Тем не менее необходимо усилить торговлю технологиями, промышленную политику, инновационные достижения и защиту интеллектуальной собственности.

Было бы эффективным провести исследование проектов высокотехнологичного сотрудничества в рамках инициативы «Один пояс и один путь» с целью всестороннего понимания ключевых областей и резервов профессиональных кадров для совместного строительства проектов «Одного пояса и одного пути», а также сформировать библиотеку проектов научно-технического сотрудничества. В качестве рекомендации провинциям и министерствам предлагается координировать усилия, опираясь на архив проектов, сосредоточить внимание на региональном экономическом и социальном развитии, укрепить руководство и поддержку, усилить строительство региональных совместных лабораторий «Один пояс и один путь», совместных рабочих станций региональных экспертов, региональных аналитических центров с учетом особенностей региона и других платформ сотрудничества.

Также было бы эффективным создание странами «Одного пояса и одного пути» независимой международной системы академической оценки и механизма признания академических достижений, что стимулировало бы поток научно-технических кадров и содействовало осуществлению проектов сотрудничества в области научных исследований высокого уровня в странах «Одного пояса и одного пути».

Предлагается на регулярной основе проводить серию региональных форумов по сотрудничеству в области высоких и новых технологий в рамках инициативы «Один пояс и один путь», форумов по защите интеллектуальной собственности за рубежом и т.д., чтобы создать платформу для обмена технологиями, потока талантов, трансформации достижений и торговли высокотехнологичной продукцией, которая совместно создается и совместно используется странами, участвующими в инициативе «Один пояс и один путь». Повышать научно-технический инновационный потенциал стран по линии «Одного пояса и одного пути», ускорять индустриализацию научно-технических достижений, стимулировать высококачественное развитие совместного строительства «Одного пояса и одного пути».



3. Расширение молодежного обмена и сотрудничества, укрепление основ общественного мнения для совместного строительства «Одного пояса и одного пути».

В последние годы молодежный обмен в странах «Пояса и пути» становится все более тесным, межрегиональные организации на всех уровнях проводят многочисленные дружественные молодежные обмены, которые стали важной частью совместного строительства «Пояса и пути». Тем не менее такая проблема, как отсутствие единого способа гуманитарного обмена, все еще существует, и единая молодежная организация с межкультурным и многонациональным участием еще не создана.

Департаменту образования рекомендуется взять на себя ведущую роль в создании единой многонациональной межкультурной молодежной организации «Один пояс и один путь», с помощью которой можно более продуктивно демонстрировать достижения китайской молодежи.

Кроме того, можно опираться на эту организацию для проведения зимних/летних лагерей для учащихся средних школ и студентов вузов стран «Одного пояса и одного пути», конкурсов научно-технических инноваций, молодежных языковых и культурных конкурсов, художественных фестивалей и других мероприятий, укрепления молодежных контактов стран «Одного пояса и одного пути» и основ общественного мнения для высококачественного совместного строительства «Одного пояса и одного пути».

Библиографические ссылки

1. Ши Вэйна. Сотрудничество в новых областях совместного строительства «Одного пояса и одного пути»: прогресс, ситуация и перспективы // Китайский экономический и торговый путеводитель. 2023. № 2. С. 43–45.

2. Вэй Чжунцзе, Чэнь Тин. Обзор прогресса в совместном строительстве «Одного пояса и одного пути» // Китайский иностранный капитал. 2022. № 3. С. 62–63.

3. Центр содействия строительству «Одного пояса и одного пути» при Государственном комитете по развитию и реформам КНР. Высококачественное совместное строительство «Одного пояса и одного пути» достигло замечательных результатов // Жэньминь жибао. 2022. № 1. С. 25.

4. Чжу Ицай, Лю Чжиминь. Текущее состояние, дилеммы и пути строительства стратегического альянса вузов «Один пояс и один путь» // Портал «Пояс и путь». URL: <http://www.yidaiyilu.gov.cn/> (дата обращения: 12.10.2023).

5. Guang Tian Robert. Belt and Road book by Tian and Chen // North America Business Press. 2022. P. 36–37.

6. Haoguang Liang, Yaojun Zhang. The Theoretical System of Belt and Road // Renmin University Press. 2019. P. 55–56.



Title: Research on Deepening Cooperation in the Field of Humanitarian Education As a Way to Increase the Economic Efficiency of the "One Belt and One Road" Project

Author's affiliation:

Gu Erkang – Northeastern Agricultural University, Harbin, Peoples' Republic of China

Abstract: The article is devoted to the joint construction project "One Belt and One Road", which will be 12 years old in 2025. Over the past 12 years, the countries located within the framework of this project have achieved impressive success.

The article consists of two parts, the first one examines the current state and evaluates the effectiveness of joint construction under the "One Belt and One Road" project, provides relevant data on such areas as joint infrastructure creation, uninterrupted trade, financial integration, as well as the development of people-to-people ties.

In the second part, the experience is summarized and proposals are made for the further construction of the "One Belt and One Road", in particular, it is proposed: 1. to deepen cooperation in the field of humanities and education in order to train personnel for the joint construction of the "One Belt and One Road"; 2. to deepen cooperation in the field of high and new technologies, to stimulate the high-quality development of joint construction; 3. to stimulate youth exchanges and cooperation, to form the basis of public opinion for the joint construction of the "One Belt and One Road".

This article shows that joint construction within the framework of the "One Belt and One Road" initiative contributed to the deepening of cooperation between countries and regions, supported the global free trade system and an open world economy, and promoted exchanges and mutual learning between cultures.

Keywords: "One Belt and One Road", infrastructure, financial integration, unimpeded trade, humanitarian education, basics of public opinion



УДК 332.145(571.6):378.4

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-113-122>*Е. М. Трапезникова***ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УНИВЕРСИТЕТОВ И РЕГИОНОВ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Трапезникова Е. М. – ассистент кафедры маркетинга и логистики, Владивостокский государственный университет, г. Владивосток, e-mail: minyaylova96@mail.ru

В статье рассматривается влияние университетов на социально-экономическое развитие регионов, с особым акцентом на периферийные территории, на примере Дальневосточного федерального округа (далее ДФО). Автор подчеркивает значимость изучения взаимодействия учреждений высшего образования с региональными структурами, указывая на необходимость расширения роли вузов в развитии человеческого капитала, инновационной активности, формировании экономических кластеров и укреплении социокультурной среды. В ходе исследования был осуществлён комплексный теоретический анализ, систематизированы отечественные и зарубежные подходы к изучению взаимодействия университетов и регионов. Основным источником информации послужили статьи из научных баз данных Scopus, Web of Science, РИНЦ, а также материалы официальных стратегий и программ развития Российской Федерации. Отбор литературы проводился по ключевым словам: «университеты и регионы», «взаимодействие университетов и регионов», «интеллектуальная специализация», «региональная экономика». Новизна работы заключается в том, что впервые предложена систематизация направлений исследований по данной тематике с учётом территориальной специфики периферийных регионов, включая актуальные социально-экономические вызовы ДФО. Автором обозначены ключевые проблемы периферийных территорий, такие как отток квалифицированных кадров, слабость местных инновационных структур и недостаточно активное участие университетов в региональной политике. В статье также указано на необходимость разработки адаптивной многоуровневой модели взаимодействия университетов и региональных стейкхолдеров, способной оперативно реагировать на изменяющиеся экономические условия и внешние вызовы. Полученные результаты представляют практическую значимость и могут быть использованы органами государственной власти и руководством вузов для разработки эффективных стратегий регионального развития.



Ключевые слова: социально-экономическое развитие, регион, Дальний Восток, взаимодействие университетов и регионов

Введение

Страны с развитой экономикой отдают предпочтение направлять большую долю инвестиций, в том числе государственных, в сектор знаний [1,2,3,4]. Университеты, являясь источниками знаний, человеческого капитала, исследовательских идей, инноваций, могут влиять на социально-экономическое развитие территорий. Это объясняет высокий научный интерес к роли университетов в социально-экономическом развитии территорий.

В Федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации (далее – РФ)» [5], Государственной программе «Развитие образования» [6] и едином национальном проекте «Наука и университеты» на период 2021–2030 годов повышение качества образования закреплено в качестве приоритетной задачей страны. Рост автономии вузов, изменение структуры образования, повышение требований к его качеству с параллельным снижением доли государственного финансирования образовательного сектора, обуславливают необходимость трансформации системы управления высшей школой. Одним из способов такой трансформации является включение университетов в государственное и региональное развитие.

Эффективное управление образовательными учреждениями во многих научных исследованиях определены ключевым фактором развития региона и повышения его конкурентоспособности, однако оно невозможно без эффективного взаимодействия двух этих субъектов. Согласно данным Министерства науки и высшего образования РФ, университеты формируют до 12% валового регионального продукта (в дальнейшем – ВРП) в крупных городах и около 7% в малых регионах [7]. Такой разрыв подчеркивает важность исследований относительно влияния университетов на социально-экономическое состояние малых городов и регионов.

Теоретические основы

Исследованию вопросам взаимодействия университетов и регионов посвящены многие отечественные и зарубежные исследования [8-27]. Данные работы посвящены изучению и анализу проблем, связанных с влиянием университетов на социально-экономическое развитие регионов, а также вопросам их взаимодействия. Однако изученные исследования не содержат, или содержат в недостаточной мере, данных о территориальных особенностях, в частности о влиянии университетов на социально-экономическое развитие периферийных территорий.



Определение ориентации

Целью исследования является теоретическое обоснование роли университетов в социально-экономическом развитии регионов и выявление ключевых направлений их взаимодействия на примере Дальневосточного федерального округа как территории с особыми социально-экономическими вызовами. В исследовании поставлены задачи: определить теоретические подходы к роли университетов в социально-экономическом развитии регионов; систематизировать отечественные и зарубежные исследования по взаимодействию вузов и территорий; проанализировать существующие модели участия университетов в региональном развитии. Особое внимание уделяется социально-экономическим особенностям Дальневосточного федерального округа и формированию направлений дальнейших исследований для разработки гибкой модели взаимодействия университетов и региональных стейкхолдеров.

Методической основой исследования являются теоретический анализ и систематизации литературы по проблеме взаимодействия университетов и регионов. Основным источником информации послужили статьи из научных баз данных Scopus, Web of Science, РИНЦ, а также материалы официальных стратегий и программ развития Российской Федерации.

В условиях геополитической переориентации в странах Азиатско-Тихоокеанского региона происходит трансформация размещения промышленных мощностей на территории ДВ. В соответствии с исследованиями, вклад университетов в экономику ДФО (далее ДФО) не превышает 6%, тогда как в Москве и Санкт-Петербурге этот показатель превышает 15% ВРП [28,29]. Данный факт, усиливает научный интерес к выбору Дальнего Востока (далее ДВ), в качестве объекта исследования, особенно учитывая тот факт, что по прогнозам, в ближайшие годы рост экспорта на ДВ значительно усилит стратегическое значение региона. При этом, в соответствии со Стратегией территориального развития Российской Федерации на период до 2030 года ДФО относится к территориям с наиболее высоким уровнем оттока населения в сравнительном выражении, что представляет собой вызов для его развития. Рост промышленных возможностей позволяет увеличить количество высококвалифицированных специалистов, однако проблема кадрового оттока из ДФО остается нерешенной [30,31].

Вузы должны адаптировать свои стратегии управления в соответствии с региональными потребностями, внедряя инновационные модели взаимодействия с региональными структурами. В связи с этим, автор считает, что дальнейшие исследования помогут не только переосмыслить роль университетов для социально-экономического состояния ДВФО в условиях актуальных вызовов, но и помочь решить проблемы региона. Одним из способов решения социально-экономических вызовов ДВФО, на взгляд автора, может быть создание гибкой модели взаимодействия университета и региона. Многоуровневая система сотрудничества университета с ключевыми стейкхолдерами региона, которая может адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. В дальнейшем представляется целесообразным развитие направлений

исследований, связанных с моделированием многоуровневого взаимодействия университетов и региональных экономических систем на основе эмпирических данных, собранных в субъектах Дальневосточного федерального округа. Это позволит учесть специфику региональной экономики и повысить прикладную ценность научных выводов.

Взаимодействие университетов и регионов обсуждается во многих отечественных и зарубежных исследованиях. В работе применены методы теоретического анализа и систематизации литературы по проблеме взаимодействия университетов и регионов. Основным источником информации послужили статьи из научных баз данных, а также материалы официальных стратегий и программ развития Российской Федерации. Отбор литературы проводился по ключевым словам: «университеты и регионы», «взаимодействие университетов и регионов», «интеллектуальная специализация», «региональная экономика». Систематизация результатов осуществлялась путем выделения ключевых направлений исследований, которые затем были структурированы в таблицу, в основу которой легла классификация по направлениям исследований. Результаты анализа представлены в виде аналитической таблицы, иллюстрирующей основные теоретические и практические аспекты взаимодействия университетов и регионов (табл. 1).

Таблица 1

Анализ направленности исследований в контексте взаимоотношения региона и университетов

Направление исследований	Основные вопросы	Теоретические основы	Описание взаимодействий
Влияния университетов на региональные экономические проблемы	<ul style="list-style-type: none">• Оценка вклада вузов в экономический рост, инновации и занятость;• Оценка университетов на местных рынках труда;• Создание человеческого капитала;• Воздействие университетских расходов на региональную валовую добавленную стоимость.	<ul style="list-style-type: none">- Теория человеческого капитала (Беккер, 1964);- Теория агломерации (Маршалл, Кругман);- Модель регионального мультипликатора.	Университет учитывает необходимость подготовки региона для квалифицированных кадров, увеличения доходов и мультипликативного эффекта на образование.
Университеты как драйверы инновационного развития	<ul style="list-style-type: none">• Развитие региональных развивающихся систем (RIS) и роль университетов в них;• Коммерция научных разработок и технологий передачи через университетские офисы технологий передачи (ТТО);	<ul style="list-style-type: none">- Теория устойчивых систем (RIS);	Университеты берут на себя всю роль в создании научных знаний и развитии экосистем,



	<ul style="list-style-type: none"> • Интеллектуальная специализация регионов и влияние вузов на развитие высокотехнологичных отраслей. 	<ul style="list-style-type: none"> - Концепция интеллектуальной специализации (S3); - Теория открытых инноваций (Чесбро, 2003 г.). 	особенно в регионах с независимой интеллектуальной специализацией.
Взаимодействие университетов с бизнесом и промышленностью региона	<ul style="list-style-type: none"> • Роль университетов в моделях тройной спирали (университет-бизнес-государство) и четверной спирали (с поддержкой общества); • Роль вузов по развитию кластеров, использованию технологических парков и знаний в области экосистем; • Возможности стимулирования сотрудничества между университетами и фирмами. 	<ul style="list-style-type: none"> - Теория тройной спирали (Ицковиц и Лейдесдорф); - Теория четверной спирали; - Теория экосистем инноваций. 	Успешное взаимодействие университетов с промышленностью и содействии передаче технологий, развитию кластеров и повышению конкурентоспособности региона.
Развитие университетов и социально-демографическое развитие регионов	<ul style="list-style-type: none"> • Наблюдение за демографическими процессами (приток и удержание молодежи); • Развитие образовательной занятости и ее влияние на качество жизни; • Формирование социокультурного капитала регионов посредством деятельности университетов. 	<ul style="list-style-type: none"> - Теория международного капитала (Патнэм, 2000); - Теория региональной сплоченности. 	Ориентация на приток молодежи, удержание специалистов в различных областях и развитие социальной среды посредством культурных и образовательных инициатив.
Политика и стратегия развития университетов	<ul style="list-style-type: none"> • Институциональная поддержка университетов в периферийных регионах; • Государственные образовательные программы регионального развития; • Соблюдение нормативного регулирования университетской деятельности в периферийном регионе. 	<ul style="list-style-type: none"> - Теория управления изменениями; - Теория оперативного управления; - Теория государственного регулирования. 	Государственная политика и стратегия управления университетами определяют уровень их экономического развития в регионе.

Проблемы периферийных регионов и их развитие через университеты	<ul style="list-style-type: none">• Исследование университетов по переходному социально-экономическому признаку между центрами и перифериями;• Ограниченность инновационного потенциала в периферийных регионах и роль университетов в его развитии;• Доступ к образовательным и исследовательским ресурсам на отдаленных территориях;• Возможности внедрения университетов в региональную политику.	<ul style="list-style-type: none">- Центр-периферийная модель (Фридман, 1966);- Региональная теория развития;- Теория регионального инновационного разрыва;- Теория интеллектуальной специализации (S3).	Университеты могут смягчить дисбаланс в развитии центральных и периферийных регионов, но эффективность их воздействия зависит от регионального контекста.
---	---	---	---

Из результатов анализа видно, что оценка роли университетов в регионе и оценка их взаимодействия может изменяться в зависимости от экономического контекста (развитые или периферийные регионы), геополитическая обстановка региона, институциональной среды и уровня развития бизнеса.

К числу основных проблем относятся:

- слабость региональных компаний;
- неэффективные механизмы трансфера технологий;
- ограниченное участие университетов в региональной политике.

Наиболее распространённые концептуальные рамки включают:

- тройную/четверную спираль;
- международные инновационные системы (RIS);
- модель интеллектуальной специализации (S3).

Несмотря на многочисленные исследования, «белыми пятнами» все еще остаются вопросы, связанные с моделями управления университетами и их эффективности, а также вопросы о способах их взаимодействия и механизмах согласования интересов университетов и регионов.

Научная новизна статьи заключается в комплексном теоретическом анализе существующих подходов к оценке влияния университетов на социально-экономическое развитие регионов с акцентом на особенности периферийных территорий. Впервые предложена систематизация направлений исследований взаимодействия университетов и регионов с учетом проблематики Дальнего Востока, а также обозначена необходимость разработки многоуровневой адаптивной модели взаимодействия, способной реагировать на изменения геополитической и экономической среды.

Таким образом, в ходе проведенного исследования подтверждена значительная роль университетов в социально-экономическом развитии регионов,



особенно в условиях периферийности и удаленности, характерных для Дальневосточного федерального округа. Систематизация научных источников и теоретических подходов позволила выделить ключевые направления взаимодействия университетов с региональной экономикой, включая формирование человеческого капитала, стимулирование инновационной активности, участие в развитии кластеров и социокультурной среды. При этом выявлены «белые пятна» в научных исследованиях, касающиеся недостаточной проработки моделей управления университетами, механизмов согласования интересов между университетами, бизнесом и властью, а также оценки практической эффективности таких взаимодействий. Учитывая эти пробелы, особое значение приобретает разработка гибкой многоуровневой модели сотрудничества вузов и региональных стейкхолдеров, способной адаптироваться к меняющимся внешним условиям. В дальнейшем требуется проведение углубленных эмпирических исследований и практическая проработка механизмов взаимодействия университетов в и региона.

Результаты исследования могут быть использованы региональными органами власти для разработки стратегий регионального развития и взаимодействия с вузами, руководством университетов для повышения эффективности их регионального воздействия, а также стать основой для дальнейших эмпирических исследований и разработок в области управления взаимодействием университетов и территориальных экономических систем.

Библиографические ссылки

1. Hawkins R., Mazzucato M. The Entrepreneurial State: Debunking Public vs Private Sector Myths. 2015.
2. Spence M. The next convergence: The future of economic growth in a multisppeed world. Macmillan+ ORM, 2024.
3. Аганбегян А. Г. О приоритетном развитии сферы экономики знаний // Экономическое возрождение России. 2021. № 1. С. 15-22.
4. Ji M., Jiao Y., Cheng N. An Innovative decision-making scheme for the high-quality economy development driven by higher education // Journal of Innovation & Knowledge. 2023. Vol. 8, № 2. P. 100345.
5. Об образовании в Российской Федерации : федер. закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 31.07.2025) // Собрание законодательства РФ. 2012. № 53 (ч. 1). Ст. 7598 ; 2025. № 31. Ст. 4695.
6. Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие образования : постановление Правительства РФ от 26.12.2017 № 1642 (ред. от 24.07.2025) // Собрание законодательства РФ. 2018. № 1 (ч. II). Ст. 375 ; 2025. № 30 (ч. III). Ст. 4597.
7. Махотаева М. Ю., Алексеева А. Н., Серова А. Е. Динамика экономического роста регионов и его влияние на развитие регионов СЗФО // Региональная экономика и управление. 2024. № 3. С. 11.



8. Kempton L. O. Placing universities and regional relationships in context // *Regional Studies Policy Impact Books*. 2021. Vol. 3, № 1. С. 45-60.
9. Pinto H. Universities and institutionalization of regional innovation policy in peripheral regions: Insights from the smart specialization in Portugal // *Regional Science Policy & Practice*. 2024. Vol. 16, № 1. P. 12659.
10. Janzen K., Panitz R., Glückler J. Education premium and the compound impact of universities on their regional economy // *Research Policy*. 2022. Vol. 51, № 1. P. 104402.
11. Demirdag I., Nirwansyah A. W. Exploring university effect in Turkish regional development-A multifaceted statistical approach // *Cities*. 2025. Vol. 159. P. 105730.
12. Yang H., Ma G., Tan B. The Impact of Higher Education Revitalisation on Regional Innovation Capability // *Finance Research Letters*. 2025. P. 106908.
13. Marra M. Productive interactions in digital training partnerships: Lessons learned for regional development and university societal impact assessment // *Evaluation and Program Planning*. 2022. Vol. 95. P. 102173.
14. Toma P., Laurens P. Regional development and intellectual capital: Unveiling the innovation-tradition dilemma // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2024. Vol. 96. P. 102087.
15. Soares T., Torkomian A., Nagano M. University regulations, regional development and technology transfer: The case of Brazil // *Technological Forecasting and Social Change*. 2020. Vol. 158. P. 120129.
16. Rodionov D., Velichenkova D. Relation between Russian universities and regional innovation development // *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2020. Vol. 6, № 4. P. 118.
17. Tomasi S. Drivers and challenges of RIS3-related university engagement: Insights from five European regions // *Regional Science Policy & Practice*. 2024. Vol. 16, № 1. P. 12567.
18. Marchis G. Smart University: A Premise for Regional Development. Evidence from South-East Region of Romania // *EAI Endorsed Trans. E Learn*. 2021. Vol. 7, № 21.
19. Trifonov T. University contribution to the development of the region: ecosystem approach // *Перспективы науки и образования*. 2021. № 5. P. 591-606.
20. Bras G. Assessing the impact of universities' entrepreneurial activity on regional competitiveness // *Administrative Sciences*. 2023. Vol. 13, № 2. P. 34.
21. Fonseca L., Nieth L. The role of universities in regional development strategies: A comparison across actors and policy stages // *European Urban and Regional Studies*. 2021. Vol. 28, № 3. P. 298-315.
22. Nurmukhanova G. Strategic management of universities for regional competitiveness // *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*. 2021. Vol. 8, № 1. P. 551-562.
23. Profiroiu M., Brişcariu M. Universities as 'drivers' of local and regional development // *Transylvanian Review of Administrative Sciences*. 2021. Vol. 17, № 62. P. 134-152.



24. Assaf S., Tamiri M. Towards a Connection of Universities, Regions and Private Sector Enterprises to Achieve Regional Development: A Literature Review // *Geopolitics and Geostrategic Intelligence*. 2021. Vol. 3, № 3. P. 306-318.
25. Rashidi M., Kayzouri A. Designing a model for analyzing the development of regional universities by using Interpretative-Structural Modeling Approach // *Quarterly Journal of Research and Planning in Higher Education*. 2023. Vol. 24, № 4. P. 45-69.
26. Radinger-Peer V. What influences universities' regional engagement? A multi-stakeholder perspective applying a Q-methodological approach // *Regional Studies, Regional Science*. 2019. Vol. 6, № 1. P. 170-185.
27. Brekke T. What do we know about the university contribution to regional economic development? A conceptual framework // *International Regional Science Review*. 2021. Vol. 44, № 2. P. 229-261.
28. Слепнева Л. Р. Экономический рост в регионах Дальневосточного федерального округа: тренды и факторы // *Развитие территорий*. 2024. № 2. С. 24-32.
29. Сафиуллин М. Р., Павлова Х. А. Взаимосвязь репутации и ключевых показателей социально-экономического развития региона (на примере г. Санкт-Петербург) // *Казанский экономический вестник*. 2024. Т. 1, № 1. С. 47-61.
30. Петрук Г. В., Варкулевич Т. В., Шилова А. Ю. Проблемы и перспективы развития человеческого потенциала Дальнего Востока // *Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса*. 2023. Т. 15, № 4. С. 23-35.
31. Кузьменко Е. А. Жизненные стратегии молодежи Российской Арктики и Дальнего Востока: факторы формирования и перспективы реализации»: обзор совместного круглого стола Комитета Государственной Думы по развитию Дальнего Востока и Арктики и журнала «Россия: общество, политика, история» // *Россия: общество, политика, история*. 2023. № 2. С. 168-183.



Title: Interaction Between Universities and Regions: Theoretical Aspect

Authors' affiliation:

Trapeznikova E. M. – Vladivostok State University, Vladivostok, Russian Federation

Abstract: The author of the article examines the influence of universities on the socio-economic development of regions, with a special emphasis on peripheral territories, using the Far Eastern Federal District (hereinafter FEFD) as an example. The author emphasizes the importance of studying the interaction of higher education institutions with regional structures, pointing to the need to expand the role of universities in the development of human capital, innovative activity, the formation of economic clusters and strengthening the socio-cultural environment. In the course of the study, a comprehensive theoretical analysis has been carried out, domestic and foreign approaches to the study of the interaction of universities and regions have been systematized. The main source of information was articles from the scientific databases Scopus, Web of Science, RSCI, as well as materials from official strategies and development programs of the Russian Federation. The literature was selected using the keywords: "universities and regions", "interaction of universities and regions", "intellectual specialization", "regional economy". The novelty of the work lies in the fact that for the first time a systematization of research directions on this topic is proposed taking into account the territorial specifics of peripheral regions, including current socio-economic challenges of the Far Eastern Federal District. The author identifies key problems of peripheral territories, such as the outflow of qualified personnel, the weakness of local innovation structures and the non-active participation of universities in regional policy. The author also points to the need to develop an adaptive multi-level model of interaction between universities and regional stakeholders, capable of promptly respond to changing economic conditions and external challenges. The results obtained are of practical significance and can be used by government bodies and university management to develop effective strategies for regional development.

Keywords: socio-economic development, region, Far East, interaction between universities and regions



УДК 339.92

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-123-130>*Е. Н. Степанова*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИННОВАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА В МЕЖДУНАРОДНОМ БИЗНЕСЕ

Степанова Е. Н. – канд. экон. наук, доцент высшей школы менеджмента, ТОГУ, г. Хабаровск, e-mail: en_tol@list.ru

В представленной статье анализируются актуальные вопросы управления инновационными процессами в международном бизнесе. Особое внимание уделяется современному развитию инновационного менеджмента, его влиянию на эффективность международного бизнеса в целом. В начале статьи представлен понятийный аппарат по вопросу исследования, рассмотрены разные подходы к определению понятия «инновации», определены их функции, роль и место в развитии экономических отношений на международном рынке. Основная часть исследования посвящена обзору текущего уровня инновационной активности стран на основе глобального инновационного индекса; представлен рейтинг стран по объемам инвестиций, а также рассмотрены некоторые модели их инновационного развития, приведены примеры влияния иностранных инвестиций на подъем экономики в режиме интенсификации научно-технологического развития; показано место транснациональных корпораций как участников процесса развития международной передачи технологий. В заключении перечислены некоторые аспекты влияния инноваций на международный бизнес и сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: инновации, инновационный менеджмент, интенсификация, международный бизнес, научно-технический прогресс, инновационная активность, транснациональные корпорации, глобальный инновационный индекс

Термин «инновация» является одним из ключевых понятий, как в экономике вообще, так и в технологическом прогрессе в частности. В научный оборот термин «инновация», как экономическую категорию, ввел австрийский ученый Й. А. Шумпетер в начале второго десятилетия XX в.

Сегодня различные авторы дают отличающиеся друг от друга трактовки данного термина, что приводит к некоторым разногласиям в понимании сущности процесса инновационной деятельности. Варьируются трактовки термина инновация в зависимости от сферы применения термина и конкретных

целей и задач исследования, кроме того, термин инновация многократно изменялся и уточнялся так же, как изменялось общество и используемые им технологии. Если в начале XX в. инновацией называли собственно идею, то сейчас, вследствие усложнения технологий, все чаще инновацию определяют, как процесс интеллектуального труда коллективов людей.

Обобщая современные трактовки понятия инновации, можно сделать вывод о том, что инновация – это конечный результат интеллектуальной деятельности, который реализуется через новый или модифицированный (улучшенный) продукт, предлагаемый рынку, либо через новый или усовершенствованный технологический процесс, применяемый в практической деятельности организации.

Устойчивое инновационное развитие постиндустриальной экономики во многом определяет уровень благосостояния общества, позволяет сбалансировать накопление активов, оказать поддержку системе образования, здравоохранения и проводить эффективную экологическую политику. Четвертая промышленная революция существенно меняет структуру экономики, повышая роль отраслей услуг, информации, обработки и передачи данных, которые приравниваются к стратегическим ресурсам [1].

Функции инноваций объединяют в две основные группы: экономические и социальные.

К экономическим функциям относятся:

- воспроизводственная функция (инновации являются важным источником финансирования расширенного воспроизводства);
- инвестиционная функция (прибыль, полученная от реализации инноваций, направляется на финансирование различных видов деятельности компании, в том числе и на инновации);
- стимулирующая функция (прибыль, полученная благодаря внедрению инноваций, побуждает предпринимателя внимательно изучать рыночный спрос, улучшать маркетинговую стратегию и применять современные методы управления финансовыми ресурсами.).

К социальным функциям относятся:

- большинство инноваций направлено на сокращение использования рабочей силы и увеличение производительности и эффективности живого труда;
- инновации способствуют повышению качества продукции и услуг, что ведет к улучшению качества жизни людей;
- в ходе разработки и внедрения инноваций формируются условия, способствующие развитию умственных способностей человека и его творческого потенциала [2].

Таким образом, сегодня инновационный менеджмент – это совокупность научно обоснованных принципов, форм, методов, приёмов и средств управления инновациями в сфере их создания, освоения в производстве и продвижении на рынок. Он охватывает все стратегические и оперативные задачи управления, планирования, организации и контроля инновационных процессов на



предприятия. В широком смысле он понимается как менеджмент, ориентированный на позитивные изменения. Такой менеджмент отличается по своей сути от процессов принятия решений в других производственных областях, поскольку инновационные решения не являются рутинными, а предполагают наличие широкого понимания проблем предприятия и творческих способностей работников.

С прикладной точки зрения – инновационный менеджмент представляет собой процесс, в ходе которого управляющий выделяет наиболее продуктивные инновации среди множества, с последующей их интеграцией в бизнес-процессы компании.

Среди базовых целей инновационного менеджмента следует выделить:

- обеспечение долгосрочного устойчивого развития организации;
- повышение эффективности технологий;
- создание конкурентоспособной продукции с новыми потребительскими или улучшенными свойствами;
- внедрение нововведений в массовое производство.

Инновационный менеджмент следует рассматривать в трёх аспектах:

1. Как науку и искусство управления инновациями (он базируется на творческом подходе к использованию общего менеджмента, применительно к управлению НИОКР на предприятии).

2. Как вид деятельности и процесс принятия управленческих решений (представляет собой совокупность процедур, составляющих общую технологическую схему управления инновациями на предприятии).

3. Как аппарат управления инновациями (предполагает структурное оформление инновационной сферы, включающей систему управления инновациями с иерархической структурой, специализированные органы управления, а также институт менеджеров, наделённых полномочиями принимать решения и нести ответственность за результаты инновационной деятельности).

Таким образом, с экономической точки зрения инновации и процесс управления ими представляют собой важный стимул для изменений в экономике отдельных предприятий, регионов и стран в целом.

Опыт многих стран показывает, что успешный переход к инновационной модели экономики возможен только при условии активного восприятия инноваций. В современном мире инновационное развитие становится важнейшим элементом социально-экономического прогресса стран и регионов. Экономический рост таких стран, как США, ЕС, Япония, Южная Корея, Китай и Индия, во многом зависит от развития наукоемких отраслей и внедрения инноваций. Без инноваций экономическая система могла бы достичь устойчивого равновесия, что препятствовало бы дальнейшему развитию национальной экономики.

Каждое государство стремится к разработке и внедрению инноваций в процесс производства, торговли, сервиса и иные сферы хозяйственной жизни. Однако в силу разного экономического и научного развития, не всегда удаётся

достичь их внедрения в экономический процесс. Для оценки уровня инновационного развития государства, достаточно обратиться к авторитетным международным рейтингам, которые составляют на основе анализа определённых параметров список стран-лидеров и стран с низким уровнем инноваций.

Так, например, глобальный инновационный индекс (The Global Innovation Index) отражает эффективность инновационной деятельности в 133 странах и отслеживает самые последние глобальные тенденции в области инноваций. Согласно его докладу в 2024 г. в мире наблюдаются серьезные изменения среди ведущих инновационных стран [3].

Так, среди 15 лучших стран по объему инноваций отмечены такие азиатские страны как Республика Корея, Китай, Япония.

Среди моделей догоняющего развития выделяется японско-корейско-тайваньская модель, основанная на интенсивной технологической модернизации за счет приобретения лицензий и выпуска продукции высокого качества.

Около 93% мировых расходов на НИОКР приходится на страны большой двадцатки (G20) [4].

Что касается Республики Корея, то с 1962 г. до середины 70-х годов были заложены основы эффективного развития экономики страны. Была правильно выбрана стратегии государства, направленная на развитие высокотехнологичных отраслей и укрепление позиций страны в наукоемкой сфере, модернизации производства. К 1980 г. в стране, которая ранее активно заимствовала зарубежные технологии, началось стремительное развитие собственных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). В стране была создана современная инновационная инфраструктура, на базе которой начали работать крупные предприятия ключевых отраслей. В конце 1980-х гг. в стране был разработан и утвержден долгосрочный план, определивший основные направления уже самостоятельной инновационной политики государства.

Еще один масштабный пример влияния иностранных инвестиций на подъем экономики в режиме интенсификации научно-технологического развития – Китайская народная республика. С 1978 г. в стране было зарегистрировано огромное количество иностранных предприятий, которые открыли на территории Китая филиалы, основанные на зарубежном или на совместном капитале. Благодаря этому в 2014 г. страна вышла на первое место в мире по объему привлеченных прямых иностранных инвестиций. Как результат Китай стал вливаться в финансово-экономические процессы, происходящие на международной арене, и постепенно превратился во вторую экономику мира, оттеснив Японию на третье место. К концу 2023 г. Китай установил научно-техническое сотрудничество с более чем 160 странами (регионами) и заключил 116 межправительственных соглашений о научно-техническом сотрудничестве. Кроме того, в странах, участвующих в мегапроекте «Один пояс, один путь», были созданы более 20 демонстрационных центров сельскохозяйственных технологий и более 70 зарубежных промышленных зон, а также 10 центров сотрудничества в области научного образования за границей и 9 национальных центров передачи технологий.



По данным Министерства коммерции КНР почти 47 тысяч фирм с иностранными инвестициями созданы в Китае только за первые 10 месяцев 2024 г. Это на 11,8 % больше, чем за аналогичный период прошлого года. За этот же период прямые иностранные инвестиции в производство медицинского оборудования и инструментов в материковой части Китая увеличилось на 61,7 %, а в производство компьютеров и офисного оборудования – на 48,8 %.

На сегодняшний день транснациональные корпорации производят приблизительно половину промышленной продукции в мире, а в сфере международной торговли их доля на рынке составляет порядка 65 %. Транснациональные компании владеют большинством лицензий и патентов на инновации, исследования и технологии. Многие отрасли промышленности и товарные рынки полностью контролируются транснациональными компаниями. Крупные транснациональные корпорации пытаются доминировать во внедрении инновационных продуктов, создают новейшие технологии и современные организационные инструменты для ведения бизнеса.

Как было сказано выше, глобальный инновационный индекс ранжирует ведущие экономики мира в соответствии с их инновационными возможностями. В 2024 г., как и в предыдущие годы, 100 крупнейших научно-технических кластеров по-прежнему расположены преимущественно в трех регионах:

- Северная Америка (США, Канада);
- Европа (Германия, Франция)
- Азии (Китай, Япония, Республика Корея, Индия).

Среди 100 крупнейших научно-технических кластеров самым результативным является Токио-Иокогама (Япония), за которым следуют Шэньчжэнь-Гонконг-Гуанчжоу (Китай). Оба кластера занимают первое и второе места благодаря большому количеству заявок по процедуре международного патентования [4].

Транснациональные корпорации не только создают международные предприятия, но и формируют стабильную платформу для своего будущего развития, тем самым внося важный вклад в экономическое, технологическое и социальное развитие стран, в которых они оперируют.

В табл. 1 представлены ТНК стран Восточной и Южной Азии в рейтинге ЮНКТАД 100 крупнейших нефинансовых корпораций мира по объему зарубежных активов [5].

На основе данных, представленных в табл. 1, можно сказать, что у 20 % из 100 крупнейших глобальных ТНК на сегодняшний день страна происхождения расположена в Восточной и Южной Азии. Из них 9 ТНК – японских, 8 – китайских, 2 – из Гонконга и Тайваня, а также 2 из Республики Корея.

Данные таблицы позволяют сделать вывод о том, что инновации играют ключевую роль в развитии международного бизнеса, позволяя компаниям создавать новые продукты, услуги и бизнес-модели, отвечающие потребностям клиентов на различных типах рынков.



Таблица 1

Места ТНК стран Восточной и Южной Азии в рейтинге ЮНКТАД
«100 крупнейших нефинансовых корпораций мира по объему зарубежных активов»
за 2024 г. (млн долл.)

Ме-сто	Зарубежные активы	Суммарные активы	Название ТНК
Япония			
1	432 593	596 039	Toyota Motor (автомобили)
11	158 543	196 934	Honda Motor (автомобили)
15	144 606	225 596	Sony Group (бытовая электроника)
38	96 476	99 933	Takeda Pharmaceutical (фармацевтика)
45	84 860	155 168	Mitsubishi (автомобили)
49	81 787	131 327	Nissan Motor (автомобили)
54	80 171	111 778	Mitsui&Co (оптовая торговля металлами и минералами)
64	71 380	195 810	NipponTelegraph&Telephone (телекоммуникации)
93	50 368	70 553	Seven & i Holdings (оптовая торговля)
Китай			
14	152 897	637 084	China National Petroleum Corp (CNPC) (горнодобывающая промышленность)
24	124 390	229 661	Sinochem (химические вещества)
32	102 610	368 670	Sinopet Group (нефтеперерабатывающая промышленность)
37	97 702	177 849	Huawei (телекоммуникации)
41	89 100	221 994	Tencent (компьютеры и обработка данных)
50	81 761	1 615 171	China COSCO Shipping Corp
55	80 098	219 417	China National Offshore Oil Corp (CNOOC) (добыча полезных ископаемых и нефти)
86	56 557	710 768	State Grid Corporation of China (электричество, газо- и водоснабжение)
Тайвань (Китай)			
25	118 952	128 217	Hon Hai Precision Industries (электронные комплектующие)
Гонконг (Китай)			
17	140 827	148 364	СК Hutchison (розничная торговля)
Республика Корея			
57	78 120	351 392	Samsung Group (телекоммуникации)
97	49 778	161 657	Hanwha (оптовая торговля нефтепродуктами и топливом)

Использование инноваций позволяет ТНК решать следующие задачи на внешних рынках:

– повышение конкурентоспособности своей продукции (инновации помогают компаниям оставаться впереди конкурентов, создавая уникальные продукты или



услуги, которые обеспечивают им фактически монопольное положение на целевых рынках);

– расширение рынка (новые идеи, успешные на одном рынке, можно адаптировать и масштабировать для продажи на других рынках, что позволяет компании расширять своё присутствие на уже освоенных рынках и получать доступ к новым);

– повышение эффективности (инновации помогают компаниям оптимизировать свои операции и сокращать расходы за счёт использования более эффективных процессов или технологий);

– оптимизировать взаимодействие с клиентами (новые цифровые платформы или персонализированные продукты помогают укреплять отношения с клиентами и повышать их лояльность);

– реализовывать принципы социальной ответственности (инновации в значительной мере способствуют решению социальных и экологических проблем).

Поскольку структура международной экономики постоянно изменяется под воздействием процессов наращивания экспорта капитала и товаров, осуществления трансфера технологий, страны, принимающие эти трансферы, повышают свою конкурентоспособность и технологический уровень и, в конечном счете, выдвигаются в число мировых экономических лидеров. В итоге одни страны вытесняются с мировой сцены, а другие – приходят им на смену.

В этих условиях, инвестиции в инновации создают благоприятную среду для формирования успешных экосистем, которые играют существенную роль в развитии бизнеса, обеспечивая ему динамичность и адаптивность в условиях глобальных изменений. А их взаимосвязь создает основу для экономического роста и устойчивого развития конкретных государств в современном мире.

Библиографические ссылки

1. Зубарев А. Е., Гасанов Э. А., Красота Т. Г. Неоиндустриальная экономика и институциональные механизмы обеспечения ее устойчивого развития в условиях четвертой промышленной революции // Вестник Тихоокеанского государственного университета. Хабаровск, 2024. № 2. С. 119-126.

2. Мурзаков В. Г., Хасанов И. И. Методологический аспект исследования инновационного процесса: экономическая природа и законы функционирования // Экономика и управление. 2023. № 4. С. 25-31. URL: https://ekam-journal.com/images/2023/4-2023/Murzakov_Khasanov (дата обращения: 16.11.2024).

3. GlobalInnovationIndex. 2024. URL: <https://www.wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en/> (дата обращения: 16.11.2024).

4. Короткова А. А., Козлова Е. И. Транснациональные корпорации в современной международной экономике // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2023. № 7. С. 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transnatsionalnye-korporatsii-v-sovremennoy-mezhdunarodnoy-ekonomike> (дата обращения: 16.11.2024).

5. Мищенко Я. В. ТНК Японии и АСЕАН: актуальные тенденции развития, сотрудничество и конкурентный потенциал в XXI веке // Международная экономика. 2020. № 1. URL: <https://panor.ru/articles/tnk-yaponii-i-asean-aktualnye-tendentsii-razvitiya-sotrudnichestvo-i-konkurentnyy-potentsial-v-xxi-veke/32737.html#> (дата обращения: 16.11.2024).



6. The world's top 100 non-financial MNEs, ranked by foreign assets. 2023. URL: https://unctad.org/system/files/non-official-document/WIR2024_tab19.xlsx (дата обращения: 16.11.2024).
7. Роль инноваций в развитии международного бизнеса / О. Ю. Соколова [и др.]. Саратов : Саратовский соц.-эконом. ин-т (фил.) ФГБОУ «Российский эконом. ун-т им. Г. В. Плеханова», 2019. 128 с. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_37228751_18549783.pdf (дата обращения: 16.11.2024).
8. Алешков А. В., Ивашкин М. В., Синюков В. А. Управление инновациями в пищевой индустрии с использованием нейросетей // Вестник Тихоокеанского государственного университета. Хабаровск, 2023. № 4. С. 97-104.
9. Coccia M. Technological Innovation. 2021. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781405165518.wbeost011.pub2> (дата обращения: 16.11.2024).
10. Innovation strategies in the context of the paradigm of the five dimensions of innovation strategy / V. Wolf [et al.] // LogForum. 2021. № 17. P. 205-211. URL: https://www.logforum.net/pdf/17_2_3_21.pdf (дата обращения: 16.11.2024).

Title: The Use of Innovative Management Methods in International Business

Authors' affiliation:

Stepanova E. N. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: The author of the article analyzes topical issues of managing innovation processes in international business. Particular attention is paid to the modern development of innovation management, its impact on the efficiency of international business as a whole. At the beginning of the article, the conceptual apparatus on the issue of research is presented, different approaches to the definition of the concept of "innovation" are considered, their functions, role and place in the development of economic relations in the international market are determined. The main part of the study is devoted to an overview of the current level of innovation activity of countries based on the Global Innovation Index; the rating of countries by investment volumes is presented, as well as some models of their innovative development are considered, examples of the impact of foreign investment on economic growth in the mode of intensification of scientific and technological development are given. The place of transnational corporations as participants in the development of international technology transfer is shown. In conclusion, some aspects of the impact of innovations on international business are listed and the relevant conclusions are drawn.

Keywords: innovation, innovation management, intensification, international business, scientific and technological progress, innovation activity, transnational corporations, global innovation index



УДК 339.9(594)

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-131-140>*Мухаммад Сяфар, И. В. Калашникова***ВНЕДРЕНИЕ ESG-ПОВЕСТКИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОМПАНИЙ**

Сяфар Мухаммад – аспирант высшей школы менеджмента, ТОГУ, г. Хабаровск, e-mail: m.syafar@uinbanten.ac.id; *Калашникова И. В.* – д-р экон. наук, профессор высшей школы менеджмента, ТОГУ, г. Хабаровск, e-mail: 006013@togudv.ru

Риски изменения климата, загрязнения окружающей среды и социальной напряженности повышают важность обязательств государств в области устойчивости развития. Считается, что аббревиатуры ESG (E – Environmental, S – Social, G – Governance) стала популярной благодаря инвесторам, осознавшим важность климатической повестки. Сегодня ESG-повестка компаний предполагает реализацию мер по ответственному отношению не только к природе, сокращению ущерба, наносимого окружающей среде, экономному расходованию ресурсов, но и по обеспечению справедливого и этичного поведения в отношении сотрудников и иных стейкхолдеров, комфортных условий труда, а также надлежащее корпоративное управление (прозрачная отчетность, снижение рисков коррупции, оплата труда сотрудников). Соблюдение ESG-повестки – это новый стандарт ведения бизнеса в любой стране. Индонезия намерена пересмотреть свое участие в Парижском соглашении после выхода из него США, крупнейшего «загрязнителя» атмосферы. Однако другие аспекты ESG-повестки, опираются на ТКВИ, сохраняют свою актуальность для индонезийских компаний, способствуя повышению их имиджа и стоимости бизнеса.

Ключевые слова: устойчивое развитие, корпоративная социальная ответственность, индикаторы ESG, Руководство по устойчивому финансированию в Индонезии (ТКВИ), «зеленая» промышленность

Устойчивое развитие в Индонезии сегодня не только тренд. Перелом произошел, когда в 2016 г. парламент ратифицировал Парижское соглашение по

климату, и страна взяла на себя обязательства по его выполнению. Соглашение не предполагает отказа от ископаемого топлива и ограничения выбросов CO₂, но страны-участницы принимают на себя цели снижения выбросов, технологического перевооружения и адаптации к изменению климата. Страна «трех тысяч островов», один из мировых рекорсменов по объему выбрасываемых парниковых газов, обязалась сократить его к 2030 г. на 29 %, а в случае международной помощи – на 41 % [1]. Концепция устойчивого развития постепенно трансформируется в ESG-экосистему, основанную на принципах внешней верификации (по результатам открытой отчетности) и обязательных тематик. Менеджмент компаний теперь не может игнорировать экологические, социальные, управленческие проблемы, тем более, что большинство инвесторов и банков, принимая решения об инвестициях или кредитовании, учитывают показатели ESG. Несмотря на то, что представитель Индонезии по вопросам изменения климата и энергетики Хашим Джоджохадикусумо в январе 2025 г. объявил о переменах в области участия страны в Парижском соглашении, ESG-повестка для индонезийских компаний сохраняет свою актуальность. Остается открытым и нерешенным вопрос, касающийся развития новых и возобновляемых источников энергии. Главная трудность в том, что его решение требует значительных инвестиционных вливаний по сравнению с использованием ископаемого топлива. Вот почему министерство энергетики и минеральных ресурсов планирует пересмотреть будущее энергетического перехода как вклад в развитие Индонезии на принципах ESG [2].

Терминология ESG ассоциируется с программами устойчивого развития, проводимыми частными компаниями, особенно в отношении финансирования, инвестиций и других аспектов, которые могут быть использованы в качестве формы публичной отчетности. ESG-подход не является обязательным, но было бы лучше, если бы компании его придерживались. Это внесло бы существенный вклад в создание более социально ответственной и «экологичной» Индонезии [3]. По имеющимся данным, немало компаний в Индонезии придерживаются ESG-практики. В исследовании, проведенном Институтом Мандири в 2023 г., говорится, что деятельность 162 опрошенных листинговых компаний, внедривших принципы ESG, способствовала улучшению окружающей среды и общества. Около 86 % компаний отметили, что применяют ESG из-за требований законодательства, а около 80 % – из-за репутационных рисков. При этом около 70 % компаний считают, что ESG-принципы важны для бизнес-стратегии, а около 44 % – для увеличения доли рынка. Почти 95 % компаний придерживаются ESG-практик в соответствии со своими корпоративными принципами и ради повышения стоимости бизнеса [4].

При внедрении принципов ESG в компаниях Индонезии используются стандартные индикаторы ESG от NASDAQ (National Association of Securities Dealers Automated Quotations). В общей сложности Национальной ассоциацией дилеров ценных бумаг было разработано 30 показателей для улучшения взаимоотношений и повышения результативности коммуникаций между компани-



ями и заинтересованными сторонами, особенно инвесторами. Упомянутые показатели в литературе принято обозначать термином «ESG-критерии» [5]. Они призваны интегрировать в деятельность компаний принципы устойчивого развития посредством раскрытия ESG-информации для инвесторов, кредитных организаций, общественности и др. стейкхолдеров. Показатели, о которых идет речь, приведены в табл. 1.

Таблица 1

ESG-критерии и показатели, устанавливаемые NASDAQ Reporting Guide 2.0 для индонезийских компаний

Environmental (E)	Social (S)	Governance (G)
1. Выбросы парниковых газов	1. Система стимулирования труда	1. Эффективность и независимость Совета директоров
2. Интенсивность выбросов	2. Соотношение оплаты труда мужчин и женщин, гендерное равенство	2. Прозрачность информации
3. Потребление энергии	3. Текучесть кадров	3. Связь оплаты труда CEO (генерального директора) и устойчивости бизнеса
4. Энергоемкость	4. Работа с клиентами	4. Коллективные переговоры, заключение коллективных договоров
5. Соотношение потребляемых ресурсов в энергобалансе	5. Доля временных работников	5. Кодекс поведения поставщика
5. Водопользование	6. Недопущение дискриминации	6. Этика
7. Природоохранные мероприятия	7. Охрана труда и производственная безопасность	7. Обеспечение конфиденциальности информации
8. Надзор за окружающей средой	8. Политика в области корпоративной социальной ответственности	8. ESG-отчетность
9. Мониторинг и снижение климатических рисков	9. Детский и принудительный труд	9. Борьба с коррупцией
10. Обращение с отходами	10. Права человека	10. Соблюдение прав акционеров, защита прав собственников

Источник: Samuel Sibarani [6]

Экологическая ответственность («E») включает десять показателей, которые должны соблюдаться в компании, а именно: выбросы парниковых газов, интенсивность выбросов, энергопотребление, энергоемкость, структура энергопотребления и др. Раньше определение и снижение климатических рисков не являлось зоной ответственности компаний. Планирование E-показателей самой компанией означает, что она осведомлена об экологических последствиях своих бизнес-процессов. Чтобы обеспечить достижение планируемых показателей, необходимо стремиться к сокращению выбросов, эффективности использования энергии, диверсификации источников энергии, более рациональному использованию воды, активно участвовать в программах корпоративной социальной ответственности, управлять отходами.

Социальный аспект ESG («S») предполагает внедрение таких показателей, стимулирование труда, борьба с гендерной дискриминацией, доля временных работников и др. Социальная ответственность обязывает управлять взаимоотношениями с сотрудниками, поставщиками, клиентами и другими заинтересованными сторонами. Компания должна обладать ресурсами, чтобы решать социальные вопросы, начиная от текучести кадров, охраны здоровья, техники безопасности и заканчивая правами человека, используя для этого инструменты «внутреннего» и «внешнего» маркетинга и соблюдая политику конфиденциальности.

Область «G» можно охарактеризовать через такие показатели, как независимость Совета директоров, ведение коллективных переговоров, Кодекс поведения поставщика, раскрытие ESG-ответственности и др. Особое значение имеет достижение устойчивости бизнеса. Именно этот показатель должен определять уровень оплаты труда CEO. Аргументация банальна: зарплата генерального директора должна быть увязана с эффективностью управления. Компании, придерживающиеся ESG-практик, должны иметь эффективных лидеров и отлаженные управленческие и бизнес-процессы, затрагивающие сферы «Environmental» и «Social».

Многие предприятия и организации в Индонезии осознают важность ESG для устойчивого развития, поэтому практика ESG продолжает набирать обороты. В 2024 г. появилось несколько крупных проектов, отражающих приверженность Индонезии внедрению ESG-принципов в различных отраслях. Например, запуск проекта «Orange Bond» в июле 2024 г. Министерством национального планирования развития, Агентством национального планирования развития и Министерством финансов. Облигации Orange выпущены в поддержку миссии Orange movement в области прогрессивных финансовых решений, направленных на решение проблем гендерного неравенства и последствий изменения климата. Инициатива ориентирована на достижение Цели устойчивого развития ООН (ЦУР) по обеспечению гендерного равенства (эту цель принято выделять оранжевым цветом, отсюда и название проекта «Orange Bond») путем мобилизации инвестиций для поддержки предприятий и организаций, содействующих расширению экономических возможностей женщин, занятых на микро-, малых и средних предприятиях (ММСП), а также путем расширения доступа к финансовым услугам женщин и других уязвимых групп населения [7].

В феврале 2024 г. Управление финансовых услуг Индонезии (Otoritas Jasa Keuangan, OJK) опубликовало Руководство по устойчивому финансированию в Индонезии (Taksonomi untuk Keuangan Berkelanjutan Indonesia, TKBI). TKBI представляет собой руководство для инвесторов, разработчиков и заинтересованных сторон, направленное на увеличение объема капиталовложений и устойчивое финансирование для достижения цели Индонезии по нулевому выбросу вредных веществ путем типологии видов экономической деятельности на три категории: 1) "зеленая"; 2) переходная к использованию возобновляемых источников энергии; 3) не классифицируемая. TKBI призвано заменить



утвержденное ранее Руководство по устойчивому финансированию "Зеленую таксономию Индонезии" (Taksonomi Hijau Indonesia, THI). В новой редакции Руководства ОЖК приоритетное внимание уделило разработке ТКВИ в энергетическом секторе для обеспечения постепенного и сбалансированного перехода в области энергетики. Предполагается, что новый ТКВИ будет постепенно распространяться на другие секторы, определяемые на национальном уровне страны (Nationally Determined Contributions, NDC), такие как: обращение с отходами, производство промышленной продукции, сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования (Forest and Other Land Use, FOLU).

В новой редакции ТКВИ усовершенствован подход к ESG-оцениванию различных видов экономической деятельности, используя для этого в качестве ключевых параметров приверженность экологическим целям (*environmental objectives, EO*) и специальные критерии (*essential criteria, EC*). *EO* включают: смягчение последствий изменения климата; адаптацию к изменению климата; защиту экосистем и биоразнообразия, бережливое отношение к ресурсам, переход к экономике замкнутого цикла. Деятельность, предусмотренная рамками ТКВИ, также должна соответствовать требованиям (критериям) *EC*, которые включают: не причинение существенного вреда; меры по исправлению положения в переходный период и социальные аспекты. Основываясь на параметрах «*environmental objectives*» и «*essential criteria*», ТКВИ позволяет определить вид деятельности как «зеленый», если он соответствует по крайней мере одному *EO* и всем *EC*, или как «переходный», если он соответствует одному *EO* и некоторым из *EC* [8].

Заметным достижением ТКВИ является включение в него мероприятий для энергетического сектора, которые ранее не рассматривались: досрочное прекращение работы угольных электростанций, хранение электроэнергии, услуги по повышению энергоэффективности/энергосбережению, а также улавливание и хранение углерода. Поскольку эти виды деятельности в настоящее время не классифицируются в соответствии со стандартной индонезийской классификацией сфер бизнеса (Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) – классификационные коды, используемые для определения уровня риска и наличия лицензий, необходимых для каждого вида деятельности), ТКВИ группирует эти виды деятельности в зависимости от соответствия категориям KBLI [9]. Например, досрочное прекращение работы угольных электростанций и систем хранения электроэнергии включено в «производство электроэнергии»; услуги по энергосбережению/повышению энергоэффективности отнесены к категории «деятельности по обеспечению электроэнергией», а улавливание, хранение и использование углерода отнесены к категории «добыча нефти и газа». Такой подход повышает эффективность регулирования и внедрения ESG-принципов в деятельность компаний.

Промышленное производство Индонезии придерживается принципов устойчивого развития и ориентируется на «зеленую» модель развития. На этом треке можно выделить подписание Манильской декларации по «зеленой» про-

мышленности (Manila Declaration on Green Industry) в 2009 г., которая продемонстрировала решимость обеспечить низкоуглеродную и эффективную с точки зрения потребления ресурсов модель промышленного производства, а также Закон об охране окружающей среды. Закон установил правовые основы экологической устойчивости и определил ответственность государства за состоянием окружающей среды, контроль над ее загрязнением и ущербом. Благодаря этим двум актам Министерство финансов выпустило «Зеленую книгу» [10]. Подписание же Парижского соглашения усилило правовую базу и обозначило однозначный переход к «стандарту зеленой промышленности»: использование возобновляемых источников энергии, переработку отходов, энергосбережение, повышение энергоэффективности. Несмотря на преобладание ископаемого топлива в структуре электрогенерации, Индонезия располагает соответствующим потенциалом для «зеленого» перехода. «Возобновляемые источники, такие как солнечная, гидро- и геотермальная энергия, составляют в настоящее время не более 11 % энергобаланса Индонезии. Этот показатель планируется довести до 23 и 31 % в 2025 и 2050 гг. соответственно» [11]. В ближайшие 10 лет половина дополнительных генерирующих мощностей будет приходиться на возобновляемые источники. Но есть риски, что намеченные цели не будут достигнуты. По оценкам Всемирного экономического форума 2021 г., Индонезия занимала 71 место среди 115 стран по готовности к энергетическому переходу и 58 место по эффективности энергосистем. Причин несколько, в том числе отсутствие единой системы ценообразования и фрагментарность реализации национальной стратегии [там же].

Стандарт "зеленой промышленности" является примером для установления "зеленого стандарта" для других видов экономической деятельности. Он может быть как добровольным, так и обязательным. Промышленные компании, соответствующие "зеленому" стандарту, получают "зеленый" промышленный сертификат. Он является подтверждением их приверженности экологичным практикам.

Еще одним шагом на пути к устойчивому промышленному развитию Индонезии является Постановление Правительства о промышленном зонировании (2024 г.), которое продвигает идеи экопромышленного (экоиндустриального) парка (*kawasan industri berwawasan lingkungan*). Аналитики утверждают, что традиционный индустриальный парк утрачивает свое конкурентное преимущество, а индустриальный парк в направлении зеленого и устойчивого развития становится все более привлекательным для инвесторов. Развитие экопромышленных парков направлено на более чистое производство, минимизацию негативного влияния на окружающую среду, достижение нулевого уровня выбросов к 2050 г. [12]. Создаются такие парки по принципу "циркулярной экономики". В этом случае отходы одного предприятия становятся сырьем для другого, благодаря чему минимизируются отходы и снижается негативное влияние на окружающую среду. По своей сути главная идея экопромышленного парка – это особая организация промышленного производства, сочетающая экономическую эффективность с экологической ответственностью. На его



территории расположены объекты промышленной инфраструктуры, которые используются для создания или модернизации промышленного производства, а также для утилизации, обезвреживания отходов, вовлечения отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья при производстве промышленной продукции и выполнении работ.

Разработанный регламент экопромышленного парка охватывает такие аспекты, как:

- управление территорией;
- экологический менеджмент, включающий использование энергии, воды, утилизацию отходов и аудит в области изменения климата;
- социальное управление, социальная инфраструктура;
- экономический аспект, включающий создание рабочих мест, создание цепочек ценности и обеспечение доступа для малого и среднего бизнеса.

Дальнейшее регулирование деятельности экоиндустриального парка будет предусмотрено постановлением Министра промышленности, в котором, как ожидается, будут представлены подробные положения по эффективному внедрению парков и управлению ими. Создание экопромышленного парка знаменует собой важный шаг на пути к непосредственному внедрению принципов ESG в промышленное развитие, помогая компаниям внедрять более экологичные технологии. Создание экопромышленных парков стимулирует промышленные компании сокращать выбросы углекислого газа, использовать возобновляемые источники энергии, в чем очень заинтересованы местные сообщества и население.

Индонезийские предприниматели осознают важность взаимодействия с местными сообществами и решения социальных проблем, таких как бедность и неравенство. Это предполагает необходимость привлечения инвестиций в проекты в области образования и здравоохранения, а также поддержку местных малых и средних предприятий (МСП). Наконец, все большее внимание уделяется вопросам управления, особенно вопросам, связанным с коррупцией и прозрачностью. За последние годы Индонезия добилась значительного прогресса в борьбе с коррупцией, но предстоит еще многое сделать. Предприятия, которые демонстрируют эффективную практику управления и прозрачность, скорее всего, будут более привлекательными для инвесторов и других заинтересованных сторон.

Чтобы Индонезии успешно адаптироваться к обновленной ESG-повестке, компаниям следует сосредоточиться на нескольких ключевых областях. Во-первых, им следует встроить принципы ESG в бизнес-стратегию и реализовать в своей операционной деятельности. Это требует приверженности ESG «сверху вниз», когда более высокий уровень руководства принимает на себя ответственность за проведение изменений. Во-вторых, компаниям необходимо вкладываться в прогрессивные технологии, внедрять современные методы управления рисками с учетом требований ESG. Это предполагает обязатель-

ные инвестиции в аналитику данных и цифровые платформы для отслеживания и анализа эффективности ESG и определения областей для улучшений. Наконец, компаниям необходимо взаимодействовать со своими заинтересованными сторонами, чтобы понять их ожидания и опасения по поводу вопросов ESG. Это касается клиентов, сотрудников, инвесторов и местных сообществ. Взаимодействуя с заинтересованными сторонами, компании могут завоевать доверие, сохранить или повысить свой имидж.

Положительный опыт внедрения ESG-принципов демонстрируют крупные индонезийские компании. Например, Astra International, диверсифицированный конгломерат, объединяющий предприятия автомобильной промышленности, сферы финансовых услуг и инфраструктуры, а также другие отрасли. Компания поставила перед собой цели по сокращению выбросов углекислого газа и расширению использования возобновляемых источников энергии. Astra International также уделяет особое внимание деятельности общественных организаций и расширению их прав и возможностей, особенно в сфере образования и здравоохранения. Усилия компании в области устойчивого развития были отмечены многочисленными наградами, в том числе она была названа самой устойчивой компанией Индонезии по версии журнала Sustainable Brand Index в 2021 г.

Другой хороший пример – Банк Мандири (Bank Mandiri), один из крупнейших банков Индонезии который активно содействует сокращению выбросов углекислого газа и увеличению использования возобновляемых источников энергии. Банк также уделяет особое внимание расширению доступности своих финансовых услуг, повышению грамотности, особенно среди малообеспеченных слоев населения, и внедрил методы управления социальными и экологическими рисками. Достижения Bank Mandiri в области устойчивого развития были отмечены многочисленными наградами, в том числе он был признан лучшим устойчивым банком Индонезии по версии World Finance в 2020 г.

ESG-повестка, в том числе «зеленая тематика», в Индонезии рассматривается как важный инструмент обеспечения устойчивости развития. Поэтому в Плане национального развития на долгосрочный период 2005–2025 гг. указано: «...для того чтобы Индонезия была передовым, самодостаточным и справедливым государством, необходим сбалансированный подход к управлению природными ресурсами и окружающей средой для обеспечения устойчивости национального развития». Среди приоритетных направлений долгосрочного развития особо можно выделить следующие:

- использование возобновляемых природных ресурсов;
- управление невозобновляемыми природными ресурсами;
- диверсификацию промышленного производства;
- внедрение инновационных технологий в перерабатывающие производства;
- акцент на производство товаров и услуг с высокой добавленной стоимостью и др.



Осознавая дефицит финансовых ресурсов для реализации целей устойчивого развития, правительство Индонезии пытается привлечь частный капитал в «зеленые», оказывая инвесторам государственную поддержку. Некоторые исследователи утверждают, что есть смысл обратить внимание на «зеленые» исламские облигации (сукук). Благодаря поступлениям от выпуска «зеленых» сукук в Индонезии финансируются проекты в приоритетных для устойчивого развития страны отраслях, таких как возобновляемая энергетика, транспорт, «зеленый» туризм и др. [10]. Процесс их эмиссии жестко регламентирован, учитывает интересы инвесторов, поэтому «зеленые» сукук пользуются большим спросом. Другой источник финансирования «зеленой» повестки – партнерство с иностранными компаниями. Имеющийся потенциал возобновляемых источников энергии в стране и отсутствие тщательно проработанной политики декарбонизации и энергетического перехода создают для иностранных инвесторов уникальные перспективы своего участия в долгосрочном развитии «зеленой» экономики Индонезии.

Библиографические ссылки

1. СМИ: Индонезия ратифицировала Парижское соглашение по климату // РИА-новости. 2016. 20 окт. URL: <https://ria.ru/20161020/1479604839.html> (дата обращения: 12.05.2025).
2. Индонезия пересматривает свое участие в Парижском соглашении // ИА «Красная весна». 2025. 31 янв. URL: <https://rossaprimavera.ru/news/2745d792> (дата обращения: 10.05.2025).
3. ESG Mampu Tingkatkan Kinerja Operasional Perusahaan // Investor.id. URL: <https://investor.id/market-and-corporate/262713/esg-mampu-tingkatkan-kinerja-operasional-perusahaan> (дата обращения: 05.01.2025).
4. 95% Perusahaan di Indonesia Adopsi ESG untuk Tingkatkan Nilai Usaha // LAPUTAN6. 2024. 7 august. URL: <https://www.liputan6.com/bisnis/read/5666483/95-perusahaan-di-indonesia-adopsi-esg-untuk-tingkatkan-nilai-usaha> (дата обращения 09.01.2025).
5. ESG reporting guide 2.0. URL: <https://www.nasdaq.com/docs/2019/11/26/2019-ESG-Reporting-Guide.pdf> (дата обращения : 09.01.2025)/
6. Sibarani Samuel. ESG (Environmental, Social, and Governance) Implementation to Strengthen Business Sustainability Pt. Migas-North Field // European Journal of Business and Management Research. 2023. Vol. 8, № 1. pp. 147-50. URL: <https://doi.org/10.24018/ejbr.2023.8.1.1798> (дата обращения: 01.05.2025).
7. Govt, IIX to introduce orange bonds in Indonesia - Markets - The Jakarta Post. URL: <https://iixglobal.com/govt-iix-to-introduce-orange-bonds-in-indonesia-markets-the-jakarta-post/> (дата обращения: 10.05.2025).
8. Sastrawijaya K., Rustandi A. V. ESG 2024 - Indonesia. Trends and Developments // Chambers and Partners. 2024. 12 november. URL: <https://practiceguides.chambers.com/practice-guides/esg-2024/indonesia/trends-and-developments> (дата обращения: 01.05.2025).



9. What is ESG in Indonesia (ESG Adalah) // ESG Impact Pty.Ltd. URL: <https://www.esgimpact.com.au/esg-in-indonesia> (дата обращения: 01.05.2025).

10. Никулина С. И. Формирование национальной модели «зеленой» экономики в Индонезии: особенности стратегического планирования и государственной поддержки // Экономика и управление. 2021. Т. 27, № 5. С. 336-344.

11. Григорьян Г. В. Особенности политики энергетического перехода Индонезии: роль иностранного бизнеса в достижении целей декарбонизации. Анализ и прогноз // Журнал ИМЭМО РАН. 2024. № 2. С. 57-71.

12. Тенденция к созданию зеленых промышленных парков для привлечения инвестиционного капитала // Mega Story : сайт. URL: <https://special.vietnamplus.vn/2024/03/22/rus-cong-nghiep/> (дата обращения: 19.05.2025).

Title: Implementation of the Esg Agenda in Activities of Companies

Authors' affiliation:

Syafar Muhammad – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation
Kalashnikova I. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: The risks of climate change, environmental pollution and social tension increase the importance of States' commitments in the field of sustainable development. It is believed that the abbreviations ESG (E – Environmental, S – Social, G – Governance) became popular due to investors who realized the importance of the climate agenda. Today, the ESG agenda of companies involves the implementation of measures to be responsible not only for nature, reduce damage to the environment, and use resources economically, but also to ensure fair and ethical behavior towards employees and other stakeholders, comfortable working conditions, and proper corporate governance (transparent reporting, reducing corruption risks, and remuneration employee labor). Compliance with the ESG agenda is a new standard for doing business in any country. Indonesia intends to reconsider its participation in the Paris Agreement after the withdrawal of the United States, the largest "polluter" of the atmosphere. However, other aspects of the ESG agenda, based on TKBI, remain relevant for Indonesian companies, contributing to improving their image and business value.

Keywords: sustainable development, corporate social responsibility, ESG indicators, Guide to Sustainable Finance in Indonesia (TKBI), green industry



УДК 005.1:001.89

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-141-148>*Э. М. Мизова***ПРИВЛЕЧЕНИЕ МОЛОДЫХ КАДРОВ В НАУКУ: УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ПРАКТИКИ И СИСТЕМНЫЕ ВЫЗОВЫ**

Мизова Э. М. – ассистент кафедры международного бизнеса Санкт-Петербургского государственного экономического университета, г. Санкт-Петербург, e-mail: ellona.mizova@mail.ru

В статье рассматриваются актуальные аспекты привлечения молодежи в научную сферу в условиях модернизации системы высшего образования и научных институтов. Авторы акцентируют внимание на необходимости формирования эффективных механизмов вовлечения молодых специалистов в исследовательскую деятельность, что является ключевым фактором устойчивого развития научно-технологического потенциала страны. Проанализированы современные подходы и инструменты, направленные на повышение интереса молодежи к науке, включая грантовую поддержку, создание молодежных лабораторий, участие в международных проектах и развитие научных сообществ. Особое внимание уделено выявлению основных проблем, сдерживающих научную активность молодых исследователей. Среди них – недостаточное финансирование на начальных этапах карьеры, отсутствие четких и прозрачных карьерных траекторий, слабая интеграция молодых ученых в существующие научные коллективы, а также социально-культурные барьеры, выражающиеся в низком престиже научной деятельности. В завершение статьи предложены рекомендации по формированию устойчивой и поддерживающей среды: развитие института наставничества, внедрение гибких форм занятости, создание проектной и исследовательской инфраструктуры, а также повышение популяризации науки среди молодежи на всех уровнях образования.

Ключевые слова: молодежь, наука, научная карьера, кадровая политика, институциональные барьеры, молодежная политика, менторство, инновации

Введение

Исторически, подходы к привлечению молодежи в научную сферу были ограничены системой академического образования. В XIX — начале XX века молодежь попадала в научную среду через традиционные учебные заведения

и наставничество. Однако с развитием технологий и глобализацией образовательных процессов, подходы начали эволюционировать.

Во второй половине XX века появилась потребность в специализированных научных школах и программах для молодежи, направленных на их раннюю подготовку к научной деятельности. Программы летних стажировок и академических обменов стали популярными в странах с развитой научной инфраструктурой.

Современные подходы к вовлечению молодежи в науку, в свою очередь, характеризуются беспрецедентной степенью гибкости и мобильности, обусловленной развитием цифровых технологий. Развитие цифровых платформ, таких как массовые открытые онлайн-курсы (МООС) и виртуальные лаборатории, открыло принципиально новые возможности для молодежи, стирая географические границы и предоставляя доступ к научному знанию и исследованиям не только жителям крупных городов, но и представителям отдаленных регионов и стран. Этот цифровой прорыв создает уникальную экосистему для вовлечения, обучения и поддержки молодых ученых, требующую, тем не менее, критического осмысления и эффективной организации.

Теоретические основы

Проектно-исследовательский подход ориентирован на активное вовлечение молодежи в реальные научные проекты. Организация конкурсов и предоставление грантов для финансирования исследовательских инициатив молодых ученых способствуют созданию новых идей и поддержке перспективных талантов.

Популярным подходом привлечения молодежи в науку является STEM (наука, технологии, инженерия, математика), который объединяет естественные науки и позволяет обучать детей с самого раннего возраста, развивая их навыки в этих областях на протяжении школьных и университетских программ. Этот подход помогает готовить высококвалифицированных специалистов в научной сфере. Для его эффективной реализации необходимо, чтобы научная экосистема, включая учителей, школы, университеты, научные и государственные институты, работала как единый механизм, создавая условия для стимулирования интереса к науке и раскрытия потенциала молодежи.

При всем многообразии существующих подходов практически все исследователи сходятся во мнении, что STEM-образование - это современный образовательный феномен, означающий повышение качества понимания обучающимися дисциплин, относящихся к науке, технологии, инженерии и математике, цель которой - подготовка обучающихся к более эффективному применению полученных знаний для решения профессиональных задач и проблем (в том числе через улучшение навыков высокоорганизованного мышления) и развитие компетенции в STEM (результат чего можно назвать STEM-грамотностью) [4].



Тем не менее, в данном подходе есть и определенные противоречия. STEM в основном ориентирован на развитие инженерного и технического образования, что может вызвать критику со стороны сторонников междисциплинарного подхода. Они считают, что будущие специалисты должны не только глубоко разбираться в своей профессии, но и развивать гуманитарные компетенции, такие как критическое мышление, эмоциональный интеллект, коммуникативные навыки и прочее.

Одним из актуальных методов привлечения молодежи в науку является междисциплинарный подход. Его суть заключается в интеграции знаний из различных областей, что позволяет развивать навыки анализа информации разной сложности и направленности. Такой подход также предполагает активное применение знаний из разных дисциплин на практике. Однако его внедрение часто сталкивается с определенными трудностями. Например, междисциплинарные программы могут не соответствовать стандартным учебным планам, что требует серьезной переработки образовательной документации и вызывает конфликт с традиционным, узконаправленным подходом к обучению.

Междисциплинарный и проектно-исследовательский подходы являются современными методами вовлечения молодежи в науку. Первый акцентирует внимание на интеграции знаний из различных областей, что способствует развитию аналитических навыков и практическому применению знаний. Однако его внедрение может сталкиваться с трудностями, такими как несоответствие стандартам и неравномерное распределение материала между дисциплинами.

Второй подход направлен на активное участие молодежи в реальных исследовательских проектах, что стимулирует креативность и поддержку талантов через конкурсы и гранты. Оба подхода играют ключевую роль в подготовке высококвалифицированных специалистов, однако требуют постоянной адаптации и балансировки, чтобы соответствовать меняющимся требованиям науки и технологий.

Регуляторная среда также является важнейшим фактором, определяющим степень вовлечения молодежи в научную деятельность. В разных странах существуют разнообразные формы государственной поддержки молодых ученых, однако многие из них сталкиваются с аналогичными проблемами, такими как отсутствие долгосрочных карьерных траекторий и низкая финансируемость программ.

На уровне международных организаций, таких как ООН и ЕС, активно развиваются программы поддержки молодежи, направленные на укрепление сотрудничества, обмен знаний и развитие инновационных проектов.

В Российской Федерации одной из ключевых инициатив является программа «Приоритет-2030», которая направлена на стимулирование научных исследований в сфере цифровых технологий и искусственного интеллекта. В рамках этой программы создаются новые научно-образовательные центры, которые предлагают молодежи уникальные возможности для участия в инновационных проектах [3].

Национальный проект «Наука и университеты» стал ключевым элементом стратегии научно-технологического развития России. Его основная цель — укрепить позиции страны в глобальном научном сообществе, создать благоприятную среду для исследований и обеспечить подготовку высококвалифицированных специалистов.

В рамках проекта активно развиваются научно-образовательные центры, модернизируется исследовательская инфраструктура, а также реализуются меры поддержки молодых ученых, включая грантовые программы и создание молодежных лабораторий [2].

На примере таких инициатив, как программа «Приоритет-2030» и проект «Наука и университеты», можно наблюдать формирование новой модели взаимодействия государства, вузов и молодежи, основанной на принципах открытости, инновационности и перспективного планирования. [2;3].

Определение ключевых проблем

Сохраняются системные барьеры, препятствующие полноценному развитию научной деятельности. В частности, остаются нерешёнными вопросы долгосрочного и стабильного финансирования научных проектов, что затрудняет планирование и реализацию исследований.

Кроме того, молодые учёные сталкиваются с ограниченными возможностями карьерного роста, отсутствием прозрачных и справедливых механизмов продвижения, а также нехваткой институциональной поддержки на ранних этапах профессионального пути. Эти факторы существенно снижают привлекательность научной карьеры и могут способствовать оттоку талантливых специалистов в другие сферы или за рубеж. Основные проблемы, препятствующие привлечению молодежи в науку представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные проблемы, препятствующие привлечению молодежи в науку

Проблема	Описание	Решение
Отсутствие финансирования	Молодые ученые сталкиваются с трудностью в получении грантов и финансирования для своих проектов.	Разработка грантовых программ для молодежи, увеличение финансовой поддержки.
Недостаток опыта и наставничества	Молодые специалисты не всегда имеют доступ к опытным научным руководителям и наставникам.	Создание программ наставничества, обмен опытом с более опытными учеными.
Низкий уровень научной инфраструктуры	В некоторых учреждениях отсутствуют необходимые ресурсы и оборудование для полноценной научной работы.	Модернизация лабораторий, создание научно-образовательных центров.



Окончание табл. 1

Препятствия карьерному росту	Отсутствие ясных карьерных перспектив и долгосрочных планов для молодых ученых.	Внедрение программ карьерного роста, улучшение условий работы для молодых специалистов.
Низкая мотивация и признание	Молодые ученые часто не получают должного признания за свои достижения и их труд не всегда оценен по достоинству.	Развитие системы наград и поощрений, поддержка молодых исследователей на национальном уровне.

Источник: разработано автором

Одним из основных препятствий на пути в науку для молодежи является отсутствие достаточных финансовых ресурсов для молодых ученых. В большинстве случаев они вынуждены работать по временным контрактам или на низкооплачиваемых позициях, что демотивирует их продолжать карьеру в науке.

Современная молодежь часто ориентирована на быстрый финансовый успех и стремится получать высокую зарплату за свою работу. В связи с этим такие области, как наука, высокие технологии и высшее образование, которые требуют значительных временных затрат и усилий для профессионального роста, не представляют для них особого интереса. Это подтверждается данными публикации [5].

В исследовании, представленном в источнике [1], выясняется, что главными факторами, влияющими на удержание молодых специалистов на рабочих местах, являются удобное расположение работы (33,5% опрошенных) и гибкий график (33,4%), а не возможность заниматься творческой деятельностью, как это можно было бы ожидать. Эти результаты свидетельствуют о том, что многие молодые люди рассматривают свою работу в данных сферах как временное занятие или как способ получить официальное трудоустройство с возможностью работы по гибкому графику, что позволяет совмещать эту деятельность с дополнительным доходом, например, фрилансом или работой по совместительству.

Кроме того, важным ограничением на пути развития молодежной науки является недостаточный уровень научной инфраструктуры во многих образовательных и исследовательских учреждениях, особенно в отдалённых и региональных вузах и институтах. Молодые специалисты часто сталкиваются с отсутствием необходимого лабораторного оборудования, доступа к современным исследовательским платформам и цифровым ресурсам. Это существенно ограничивает их возможности для проведения качественных и конкурентоспособных исследований, что, в свою очередь, снижает их мотивацию оставаться в научной среде.



Серьёзной проблемой остаётся неопределённость карьерных перспектив. Отсутствие четко выстроенных и понятных карьерных траекторий в академической и научной сферах создаёт ощущение нестабильности и непрозрачности профессионального будущего. Молодые ученые часто не видят реальных возможностей для роста, продвижения и признания своих достижений. Это приводит к тому, что многие из них принимают решение покинуть научную деятельность в пользу работы в промышленности, частном секторе или за рубежом.

Также наблюдается недостаточный уровень менторской поддержки и слабая система поощрения, в которой достижения молодых исследователей зачастую остаются незамеченными. Это способствует снижению вовлеченности и энтузиазма в научной работе.

Для преодоления данных барьеров необходим комплексный подход: реализация программ по модернизации инфраструктуры, увеличению финансирования, созданию устойчивых систем наставничества, разработке прозрачных карьерных моделей и внедрению эффективных механизмов материального и нематериального стимулирования. Кроме того, следует создавать гибкие форматы совмещения научной деятельности с обучением и преподаванием, что позволит молодым специалистам гармонично развиваться и уверенно строить свою профессиональную траекторию в науке.

Особое внимание следует уделить развитию международного сотрудничества, которое открывает перед молодыми учеными доступ к современным знаниям, технологиям и исследовательским практикам. Участие в международных проектах и обменах способствует расширению профессиональных горизонтов, позволяет установить важные научные контакты и повысить уровень компетенций. Такие возможности не только мотивируют молодых специалистов, но и способствуют интеграции отечественной науки в глобальное научное сообщество.

Немаловажным аспектом является и создание благоприятной социальной и культурной среды, которая поддерживает инновационное мышление и ценит научные достижения. Формирование открытых площадок для диалога между учеными разных поколений, проведение научно-популярных мероприятий и информационная поддержка молодых исследователей способны повысить престиж научной деятельности. В итоге это поможет не только удержать талантливую молодежь в академической сфере, но и привлечь новых перспективных специалистов в науку.

Заключение

Таким образом, вовлечение молодежи в научную деятельность представляет собой один из ключевых приоритетов государственной научно-технологической политики, направленной на обеспечение долгосрочного развития интеллектуального потенциала страны.



В современных условиях глобальных трансформаций, ускорения научно-технического прогресса и роста конкуренции в сфере высоких технологий данная задача требует не только системных институциональных преобразований, но и глубокой переориентации образовательной и исследовательской среды. Необходимо учитывать изменяющиеся ценности, интересы и поведенческие установки молодого поколения, которое ожидает большей открытости, гибкости и возможностей для самореализации.

Анализ существующих практик показывает, что эффективность вовлечения молодежи в науку напрямую связана с формированием многоуровневой системы мотивации, включающей как материальные, так и нематериальные стимулы.

Важную роль играют устойчивые механизмы поддержки - от грантов и стипендий до менторства и карьерного консультирования. Кроме того, значительное влияние оказывает развитие международного научного сотрудничества и активное участие молодых исследователей в стратегическом планировании и управлении научными организациями, что позволяет формировать более динамичную, инклюзивную и инновационную научную среду.

Не менее важным аспектом является создание условий для междисциплинарного взаимодействия, которое стимулирует обмен знаниями и опытом между представителями различных областей науки. Такие подходы способствуют генерации новых идей и инновационных решений, расширяют профессиональные горизонты молодых ученых и повышают их конкурентоспособность. Формирование коллективов с разноплановыми компетенциями создаёт благоприятную платформу для реализации крупных научных проектов и интеграции в международное научное сообщество.

Библиографические ссылки

1. Литвинюк А. А. Совершенствование кадрового потенциала в науке и высшем образовании путем привлечения молодых талантливых специалистов: проблемы и решения // *Лидерство и менеджмент*. 2020. № 4. С. 629-642.
2. Наука и университеты // Национальные проекты : сайт. URL: <https://xn--80aaparmecchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/projects/nauka-i-university/> (дата обращения: 12.04.2025).
3. Приоритет 2030 // Министерство науки и высшего образования РФ : сайт. URL: <https://priority2030.ru> (дата обращения: 12.04.2025).
4. Репин А. О. Актуальность STEM-образования в России как приоритетного направления государственной политики // *Научная идея*. 2017. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnost-stem-obrazovaniya-v-rossii-kak-prioritetnogo-napravleniya-gosudarstvennoy-politiki> (дата обращения: 12.04.2025).
5. Российская молодежь на рынке труда: экономическая активность и проблемы трудоустройства в мегаполисе : монография / [под науч. ред. В. Н. Бобкова и А. А. Литвинюка]. М. : Ru.SCIence, 2020. 228 с.



Title: Attracting Young People to Science: Management Practices and System Challenges

Authors' affiliation:

Mizova E. M. – Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract: In the article the author examines the current aspects of attracting young people to the scientific field in the context of the modernization of the higher education system and scientific institutions. The author emphasizes the need to form effective mechanisms for involving young professionals in research activities, which is a key factor in the sustainable development of the scientific and technological potential of the country. The author analyzes modern approaches and tools aimed at increasing youth interest in science, including grant support, the creation of youth laboratories, participation in international projects and the development of scientific communities. Special attention is paid to identifying the main problems hindering the scientific activity of young researchers. Among them are insufficient funding at the initial stages of a career, the lack of clear and transparent career paths, poor integration of young scientists into existing research teams, as well as socio—cultural barriers resulting in a low prestige of scientific activity. At the end of the article, recommendations are proposed for the formation of a sustainable and supportive environment: the development of mentoring institutions, the introduction of flexible forms of employment, the creation of project and research infrastructure, as well as increasing the popularization of science among young people at all levels of education.

Keywords: youth, science, scientific career, personnel policy, institutional barriers, youth policy, mentoring, innovation



УДК 338.48

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-149-156>**М. В. Ивашкин**

СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ СЕЛЬСКОГО ТУРИЗМА В РОССИИ

Ивашкин М. В. – д-р экон. наук, профессор высшей школы менеджмента, ТОГУ, Хабаровск, e-mail: Ivashkin62@mail.ru

Данная статья посвящена рассмотрению специфических национальных и территориальных особенностей организации сельского экологического туризма в различных странах и возможности инфильтрации наиболее успешных моделей в практику российской туристической индустрии. В начале статьи рассматриваются сущность и основные причины возникновения и роста популярности агротуризма среди различных сегментов рынка. Также анализируются основные факторы, влияющие на выбор данного вида туризма потребителями. Особо подчеркивается экономическая, социокультурная и экологическая роль сельского туризма в развитии дестинации. Отмечается, что сельский туризм как вид бизнеса оптимален с точки зрения его использования для развития депрессивных территорий, а также мест проживания коренных малочисленных народов. Основная часть статьи посвящена анализу типовых моделей сельского туризма, для чего предлагается двухуровневая классификация наиболее часто встречающихся на практике моделей (направлений) сельского туризма. В конце статьи автор описывает ближайшие перспективы агротуризма в Российской Федерации.

Ключевые слова: сельский туризм, агротуризм, экономическая, социокультурная и экологическая роль туризма, модели организации сельского туризма, инфильтрация

Введение

Тотальная урбанизация современной жизни, несомненно, делает ее значительно комфортнее за счет высокого уровня медицинского обслуживания, широкого доступа к коммунальным и коммуникационным услугам, объектам культуры и искусства и многого другого. Вместе с тем у этого процесса есть и обратная негативная сторона. Прежде всего, нарушается органичная связь человека с природой, человек теряет свою субъектность и подсознательно начинает осознавать себя микроскопической частью огромного безликого организма. Все это неизбежно порождает у многих людей чувство дискомфорта и



естественного желания хотя бы на короткое время вернуться к своему естественному состоянию.

Формулировка проблем и их обсуждение

Возникший как естественная реакция человека на ускоренную урбанизацию, сельский туризм рассчитан на то, что уставший от города и его суеты человек стремится отдохнуть в течение одной-двух недель в обстановке сельского покоя и размеренного традиционного образа жизни. Отсюда вытекает и главное конкурентное преимущество и стратегическая цель сельского туризма – обеспечение максимального контраста с привычным образом жизни городского жителя. Это свойство, как это ни парадоксально, роднит сельский туризм с экстремальным. Кроме того, также как и в экстремальном туризме, комфорт проживания и отдыха не является определяющим фактором при выборе конкретного тура. Конечно, не стоит рассчитывать на то, что прибывающие гости готовы будут жить в хлеву или под протекающим деревянным навесом, питаться ежедневной пищей сельских жителей и полностью откажутся от санитарных и коммуникационных благ цивилизации. Конечно же нет, но все эти конкретные параметры будут занимать второе, третье и прочие более низкие места в определении рейтинга тура при его выборе клиентом.

Таким образом, под сельским туризмом (агротуризмом) понимается сектор туристской индустрии, ориентированный на использование природных, культурно-исторических и других ресурсов сельской местности и её особенностей для создания комплексного туристского продукта. Гости ведут как бы «сельский»¹ образ жизни, параллельно знакомятся с местными культурой и обычаями, принимают участие в традиционном для данной местности сельском труде. Естественно, этот вид туризма популярен в наиболее индустриально развитых странах Мира (в странах Западной Европы, Северной Америки, Японии, Республике Корея и проч.). В последнее время агротуризм также получает все большее распространение в Китае и у нас в России.

История сельского туризма имеет достаточно глубокие корни. Одной из первых сельских туристок была Мария-Антуанетта, по распоряжению которой в Версале специально построили комплекс сельских строений для ее занятий различными видами сельского труда. В Советском Союзе потребность в восстановлении психологического баланса с природой с успехом удовлетворяли загородные дачи, параллельно существенно восполняя дефицит плодоовощной и, в какой-то мере, животноводческой продукции. В те времена не вполне была потеряна связь со старшим поколением, проживавшим в большей своей части в сельской местности. Шло время, живых родственников в деревнях ста-

¹ «Сельским» такой образ жизни можно назвать только с некоторой долей допущения, на самом деле он представляет собой некий комфортный эрзац, демонстрирующий гостям отдельные наиболее привлекательные, с точки зрения организаторов, стороны сельской жизни.



новилося все меньше, а дачный отдых постепенно заменялся поездками на теплые зарубежные и отечественные моря. Вместе с тем, потребность людей в «единении» с природой никуда не девалась и постепенно на смену дачному «туризму», пришел сельский, как разновидность экологического туризма.

Сегодня, по данным Всемирной туристской организации, сельский туризм в мире растет в три раза быстрее, чем туристическая индустрия в целом. Данная тенденция актуальна и для современной российской туристической индустрии, подтверждением чего является целый ряд постановлений правительства РФ о развитии туризма вообще и сельского туризма как одного из его важных направлений [1,2,3,4]. Не смотря на то, что сегодня на сельский туризм в России приходится всего около 1% внутреннего турпотока, тем не менее, это составило за первое полугодие 2024 г. 750 300 поездок, что на 40% больше аналогичного периода прошлого года.

Такой поистине взрывной рост популярности агротуризма объясняется сразу несколькими базовыми причинами.

Во-первых, широкой географической базой для развития данного вида туризма. Это означает, что для организации агротуризма подойдет практически любая сельская местность, расположенная в непосредственной близости от крупных городов и обладающая минимальным набором привлекательных аттракций для формирования стабильного и экономически оправданного туристического потока. Какие-либо специфические требования к инфраструктуре или иным природным особенностям дестинации просто отсутствуют.

Во-вторых, достаточно широкой, стабильной и разнообразной аудиторией, предъявляющей спрос на данный вид туризма. Потенциальными потребителями данного вида услуг могут являться граждане различного возраста, социального и экономического положения.

В-третьих, отсутствием необходимости в крупных первоначальных инвестициях. Для данного вида туризма нет необходимости в строительстве разветвленной сети отелей мирового уровня, развлекательных заведений, предприятий общественного питания и проч. Более того, именно крафтовые напитки, питание и способ размещения придают некоторую «семейственность» и незабываемое обаяние туру, что, несомненно, значительно повышает его привлекательность в глазах гостей.

В-четвертых, территориальная близость мест отправления и прибытия, позволяющая туристам существенно экономить на транспортных расходах, а также исключает необходимость акклиматизации, что также может быть весьма существенным фактором для детей и лиц пожилого возраста.

В-пятых, отсутствием высоких требований к организации размещения, питания и досуга туристов, что открывает широкие возможности для привлечения к данному виду деятельности представителей малого и среднего бизнеса.

Кроме всего прочего сельский туризм оптимальным образом устанавливает баланс между негативным и позитивным воздействием бизнеса на все три

сферы жизни местного сообщества – экономическую, социальную и экологическую.

С экономической точки зрения принимающая сторона в лице представителей малого бизнеса начинает получать дополнительный доход (и зачастую весьма не маленький), продолжая заниматься своим привычным делом практически не меняя свой традиционный образ жизни и не осуществляя каких-либо масштабных инвестиций в новое производство. Получение дополнительных компетенций в сфере обслуживания туристов, как правило, осуществляется в рамках субсидий и грантов, выделяемых государственными и региональными властями на поддержку малого бизнеса. Принимаемая сторона в лице гостей получает за весьма приемлемую цену оригинальный туристический продукт, который, как уже отмечалось нами выше, обладает существенными психотерапевтическими и рекреационными свойствами. В результате, все перечисленное становится инструментом экономического развития территории, способствующим как притоку внешнего капитала, так и расширению возможностей трудоустройства для местного населения.

Социокультурная роль сельского туризма заключается в сохранении культурного наследия регионов и в самореализации местных жителей. Особенно это важно для депрессивных регионов и районов проживания коренных малочисленных народов, для которых туризм является крайне важным инструментом сохранения своей идентичности без использования государственных дотаций и субвенций порождающих у местного населения деструктивные иждивенческие настроения. Вместе с тем здесь следует помнить о возможной психологической напряженности, которая может возникнуть вследствие социального неравенства между представителями принимающей и принимаемой сторон.

Наконец, экологическая роль сельского туризма заключается в том, что он капитализирует ценность объектов окружающей природной и антропогенной среды как для принимающей стороны, так и для пребывающих гостей. Как результат сельский туризм становится стимулом для сохранения и всестороннего развития всех существующих аттракций, расположенных в рамках данной дестинации.

Подводя промежуточный итог, следует еще раз отметить, что сельский туризм относится к тем немногочисленным видам бизнеса, который в равной степени направлен на достижение экономических, социальных и экологических целей.

Высокая популярность сельского туризма среди населения неизбежно привела к его значительной дифференциации, в зависимости от преобладающего типа² оказываемых потребителям услуг. Формирование же конкретного тура с предложением той или иной разновидности сельского туризма зависит

² Следует отметить, что реальные туры, как правило, содержат в себе сразу несколько разновидностей агротуризма, особенно, если речь идет о длительных (более 2-3 дней) турах.



от специализации и климатических особенностей принимающего региона, а также от характера предъявляемого спроса. В этой связи, различные авторы предлагают более или менее развернутую классификацию видов сельского туризма в зависимости от целей исследования [5,6,7]. Например, довольно часто используется «страновая» классификация, в которой модели организации сельского туризма привязаны к странам, в которых тот или иной вид чаще всего встречается. Наиболее простой классификацией также является деление на активный и пассивный туризм, в зависимости от участия гостей в повседневной жизни принимающего сельского поселения. Нам такая классификация показалась несколько примитивной, и мы, взяв ее за основу, предлагаем двухуровневую классификацию, включающую в общей сложности шесть основных направлений или моделей сельского туризма.

В первую группу моделей мы включили четыре «активных» направления сельского туризма («непосредственное участие в сельскохозяйственных работах», «получение практического опыта в изготовлении предметов народных промыслов», «участие в местных обрядах», «экотуризм с сельской спецификой»).

Первая модель (направление) наиболее типична для первой группы и связана не только с наблюдением, но и с активным участием прибывающих гостей в хозяйственной жизни сельской общины. Как следует из названия, гости непосредственно участвуют в различных сельскохозяйственных работах (посевная и сбор урожая, уход за домашними животными и проч.) вместе с представителями принимающей стороны. Наибольшее распространение данный вид сельского туризма получил в Германии, что вполне объяснимо, если принять во внимание типичный для немцев рационализм. Рамочные условия для развития данного вида туризма в Германии вырабатываются федеральным министерством экономики и труда совместно с советом по вопросам туризма. Согласование всех вопросов по развитию туризма между федеральным и земельным уровнем осуществляет федеральный земельный комитет по туризму. Вопросами контроля качества туристского продукта занимаются: Немецкий туристский союз, Немецкое сельскохозяйственное общество и партнерства, общества по туризму на земельном и межрегиональном уровнях [8]. Недостатком данного направления является его тесная привязка к сезону посадки или сбора той или иной сельскохозяйственной культуры.

Вторая модель похожа на первую, но лишена ее главного недостатка, поскольку распространяется на внесезонные «народные промыслы». В рамках этой модели гости также непосредственно участвуют в производстве изделий, относящихся к традиционным промыслам того или иного региона. Данная модель весьма перспективна для России, поскольку в каждой местности есть свои специфические промыслы, некоторые из которых знамениты на весь мир и имеют свои защищенные географические наименования (региональные бренды), например, «оренбургские пуховые платки», «каслинское литье», «ростовская (вологодская) финифть», «гжель» и многие другие.

Третья модель в большей степени ориентирована на овладение гостями нематериальными (духовными) практиками, являющимися культурным наследием данного поселения. К таким практикам относятся музыка, песни, танцы, ритуальные обряды. Здесь также у России колоссальные перспективы, особенно то, что касается уникальных культур коренных малочисленных народов Сибири, Дальнего Востока, Крайнего Севера, Северного Кавказа.

Экотуризм с сельской спецификой предполагает целый перечень активных действий со стороны туристов, объединенных экологической повесткой. Основной тематикой данного направления является знакомство, сохранение и восстановление природной среды. С сельским туризмом его роднит проживание гостей в сельской местности. Разновидностями данной модели являются пеший туризм (хайкинг), велосипедный туризм, бердвотчинг (наблюдение за птицами), различные водные туры.

Экологический туризм, в том числе и с сельской спецификой стал особенно популярен в последние годы в европейских странах. В России для него также есть все возможности для развития.

Вторая группа состоит из преимущественно «пассивных» направлений (моделей) сельского туризма, включающих исключительно наблюдение за сельской жизнью. Сюда следует отнести «туризм пребывания» и «гастротуризм с сельской спецификой».

В рамках первой модели от принимающей стороны требуется предоставление гостям относительно комфортных и обязательно спокойных условий проживания в сельской местности, наилучшим образом обеспечивающих реализацию психолого-рекреационных функций в месте пребывания. Требования к экскурсионной и развлекательной программе минимальны. По своему характеру данный вид сельского туризма похож на пляжный туризм, но не требует наличия крупных водоемов.

Гастротуризм, в том числе и с сельской спецификой, вне всякого сомнения, заслуживает отдельного анализа и исследования [9, 10, 11]. В связи с чем, здесь мы не будем на нем отдельно останавливаться, только отметим, что данное направление включает в себя следующие разновидности:

- классический (региональный);
- экзотический;
- приключенческий;
- винный;
- рыболовный;
- охотничий;
- фестиваль (событийный).

Кроме того встречаются и различные сочетания перечисленных разновидностей. Главной особенностью сельского гастротуризма, имеющего колоссальные перспективы для развития в России, является дополнение собственно процесса приготовления и потребления различных блюд сельским антуражем,



а сами блюда в обязательном порядке приготавливаются исключительно из местных продуктов и местными поварами.

Заключение

С 25 октября 2024 г. вступили в силу дополнения, внесенные в Федеральный закон «Об основах туристской деятельности в РФ». Новеллы коснулись понятия сельского туризма [12].

В новой редакции закона закреплена расширенная трактовка понятия сельского туризма. Теперь, под сельским туризмом понимается посещение не только собственно сельских поселений, но и малых городов с численностью населения до 30 тыс. чел.

Цели такого туризма – отдых, приобщение к традиционным ценностям и обычаям народов РФ, знакомство с культурными и историческими объектами, прямо или косвенно связанными с сельским хозяйством и сельским образом жизни.

По оценкам экспертов, в 2027 г. туристский поток в сельскую местность составит не менее 7 млн чел. А это значит, что примерно каждый 20-й житель России хотя бы раз в год будет отдыхать в деревне. По расчетам, это принесет селам и малым городам до 250 млрд руб. дополнительного дохода.

Библиографические ссылки

1. Об утверждении Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2020 года : распоряжение Правительства РФ от 31.05.2014 № 941-р (ред. от 21.03.2019) // Собрание законодательства РФ. 2014. № 24. Ст. 3105.
2. О федеральной целевой программе "Устойчивое развитие сельских территорий на 2014 - 2017 годы и на период до 2020 года" : постановление Правительства РФ от 15.07.2013 № 598 (ред. от 02.08.2017, с изм. от 12.10.2017) // Собрание законодательства РФ. 2013. № 30 (ч. II). Ст. 4110.
3. Об утверждении Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года : распоряжение Правительства РФ от 20.09.2019 № 2129-р (ред. от 29.05.2025) // Собрание законодательства РФ. 2019. № 39. Ст. 5460.
4. Об утверждении Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 02.02.2015 № 151-р (ред. от 13.01.2017) // Собрание законодательства РФ. 2015. № 6. Ст. 1014.
5. Развитие сельского туризма в России / А. Д. Чудновский, М. А. Жукова, М. А. Боков, С. А. Нефедкина. М. : Кнорус Медиа, 2017. 154 с.
6. Лебедева И. В., Копылова С. Л., Иванова А. В. Сельский туризм : пособие для начинающих предпринимателей. Архангельск : Нац. парк «Кенозерский», 2018. 148 с.
7. Лебедько Е. Я., Кислова Е. Н., Ториков В. Е. Сельский туризм : учеб. пособие. СПб. : Лань. 260 с.
8. Ишбулатов Р. Ф., Сафира А. Р. Нормативно-правовое регулирование сельского (аграрного) туризма : учеб. пособие. URL:



https://kartaslov.ru/Риф_Фанилевич_Ишбулатов_Нормативно-правовое_регулирование_сельского/5 (дата обращения: 05.07.2025).

9. Голубева И. А., Ивашкин М. В. Событийный и гастрономический туризм: проблемы и перспективы развития : [монография]. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2023. 165 с.

10. Ивашкин М. В., Чимитдоржиев Ж. Ж., Басова С. Н. Корейская кухня как фактор повышения конкурентоспособности туристских дестинаций Дальнего Востока России // Вестник Тихоокеанского государственного университета. Хабаровск, 2025. № 2. С. 173-180.

11. Идентификационные коды управления региональным гастрономическим брендом (на примере Дальневосточной кухни) / М. В. Ивашкин, Ж. Ж. Чимитдоржиев, С. Н. Басова, В. В. Вдовыко // Вестник Тихоокеанского государственного университета. Хабаровск, 2024. № 3. С. 123-132.

12. О внесении изменений в Федеральный закон "Об основах туристской деятельности в Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 23.03.2024 № 63-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2024. № 13. Ст. 1686.

Title: Modern Models of Rural Tourism in Russia

Authors' affiliation:

Ivashkin M. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: This article focuses on the specific national and territorial features of the organization of rural eco-tourism in various countries and the possibility of incorporating the most successful models into the Russian tourism industry. The article begins with exploring the essence and main reasons for the emergence and growth of agri-tourism among different market segments. It also analyzes the key factors that influence consumers' choices of this type of tourism. The article emphasizes the economic, socio-cultural, and environmental role of rural tourism in the development of destinations. It is noted that rural tourism as a type of business is optimal in terms of its use for the development of the depressed territories, as well as the places where indigenous peoples live. The main part of the article is devoted to the analysis of typical models of rural tourism, for which a two-level classification of the most common models (directions) of rural tourism is proposed. At the end of the article, the author describes the near-term prospects for agritourism in the Russian Federation.

Keywords: rural tourism, agritourism, the economic, sociocultural, and environmental role of tourism, models of rural tourism organization, infiltration



УДК 339.14

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-157-168>*Н. В. Червова*

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТОВАРОВ И УСЛУГ НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОМ РЫНКЕ

Червова Н. В. – канд. экон. наук, доцент высшей школы медиа, коммуникаций и сервиса, ТОГУ, г. Хабаровск, e-mail: 003819@togudv.ru

В статье обоснована актуальность проблемы оценки и контроля качества товаров и услуг на современном потребительском рынке Российской Федерации. Целью исследования является выявление актуальных аспектов вопроса оценки и контроля качества потребительских товаров и услуг, а также – разработка рекомендаций по решению данной проблемы в условиях современного рынка, когда требования к качеству, его оценке и контролю формируются одновременно государством, потребителями, предприятием-изготовителем и конкурентами. При проведении исследования были применены методы сравнительного анализа, синтеза, обобщения и систематизации. В статье отражена официальная государственная статистика по нарушению обязательных требований к качеству товаров и услуг, изучена структура товаров, изымаемых из оборота, что подтверждает остроту данной проблемы. Автором рассмотрены подходы к трактовке понятия «качество», изучены научные труды и нормативно-правовая база, послужившие основой для разработки данной проблемы. Кроме того, были исследованы субъекты, вовлечённые в проблему качества товаров и услуг, его контроля и оценки, сформулированы основные преследуемые ими в этом вопросе цели. В статье проведена систематизация мер, предпринимаемых заинтересованными субъектами для обеспечения качества товаров и услуг по отношению к другим участникам данного процесса, как существующих, так и предлагаемых к рассмотрению на предмет внедрения. Также автором был предложен порядок взаимодействия субъектов, заинтересованных в комплексном решении проблемы качества, его контроля и оценки с учетом мнения всех участников, что могло бы способствовать более эффективному внедрению инициатив по вопросам разработки требований к оценке качества и эффективности его контроля.

Ключевые слова: потребительский рынок, качество, товар, услуга, фальсификация товаров, управление качеством, оценка качества, контроль качества, государственное регулирование, стандартизация, сертификация, защита прав потребителей

В период высоких ставок рефинансирования, санкций, снижения числа проверок и жёсткости контроля недобросовестные производители стали снижать качество товаров и услуг мотивируя это экономией.

Понятие «качество» имеет множество трактовок, причем каждый автор использует свой подход. Согласимся с А. Г. Зекуновым, который выделяет следующие подходы (табл. 1): философский, социологический, технический, экономический и правовой [8].

Таблица 1

Подходы к определению понятия «качество»	
Подход	Содержание
Философский	заключается в выделении сущностных специфических характеристик объекта, отличающих его от других объектов, причем отдельные характеристики приобретают значимость только объединившись в объекте.
Социологический	предполагает изучение, учет требований и отношения конкретного субъекта к конкретному объекту исходя из культурных, личностных, психологических и прочих характеристик самого субъекта
Технический	акцентирует внимание на количественно измеряемых физических характеристиках товара, которые можно воспроизводить и тиражировать, беря за базу определенный эталон
Экономический	предполагает учет экономической целесообразности придания товару определенных характеристик на основе конъюнктуры спроса и предложения
Правовой	предполагает соответствие нормативно-технической документации, в которой юридически закрепляются официальные требования к качеству товаров, работ и услуг

Помимо рассмотренных выше подходов к трактовке понятия «качество» выделим еще один подход – маркетинговый, основанный на том, что разные сегменты потребительского рынка предъявляют разные требования к качеству товаров, один и тот же товар потребителями с невысокими доходами будет восприниматься как качественный, а для другого сегмента он таковым являться не будет, так как они в силу более высоких располагаемых доходов могут предъявлять повышенные требования к качеству товара, его престижности и популярности.

Согласно данному подходу можно дать следующее определение термину «качество» – это набор совокупности характеристик объекта (товара, услуги), который данным сегментом потребителей воспринимается как отвечающий



требованиям с точки зрения функционала, полезности, удобства, стоимости, то есть с позиции соотношения цена-качество и приемлемый данной группой потребителей для покупки.

В этой связи, согласимся с мнением Курочкиной А. Ю., что требования к качеству товаров и услуг могут формироваться государством, потребителями, конкурентами и самим предприятием-изготовителем [5].

При этом, у каждого из перечисленных субъектов цели в области формулировки требований к качеству товаров и услуг свои (табл. 2).

Таблица 2

Цели заинтересованных субъектов в области оценки и контроля качества товаров и услуг

Субъект	Цель
Государство	гарантировать и защитить право потребителей на приобретение качественных товаров и услуг
Потребитель	удовлетворить свои потребности через ожидаемые характеристики товара/услуги, формирующие его качество, по доступной цене
Предприятие-изготовитель (или предприятие сферы услуг)	имея опыт успешной продажи качественных товаров или услуг, масштабировать свой бизнес, сохраняя заданный уровень качества, который ассоциируется у клиентов с данной фирмой или искусственно с помощью маркетинга и лимитирования объемов выпуска какой-либо продукции повышать ее ценность для определенных сегментов потребителей и одновременно обеспечивать рост собственных доходов ¹
Конкуренты	конкурентоспособность товаров и услуг, завоевание лидерских позиций на рынке и получение прибыли через учет пожеланий клиентов, воплощенных в характеристиках товара/услуги, формирующих качество, конкуренция задают курс на повышение качества

В связи с разнообразием формулировок исследуемого понятия и разными целями в области обеспечения качества товаров и услуг у перечисленных субъектов рынка, необходим комплексный подход к формированию перечня характеристик, формирующих качество, а также критериев их оценки и контроля.

Систематизируем предпринимаемые сегодня меры по обеспечению и регулированию вопросов качества [9] в табл. 3.

¹ Последнее положение распространяется, главным образом на т.н. товары Веблена (Veblen goods)

Таблица 3

Существующие меры по оценке и контролю качества товаров и услуг, предпринимаемые заинтересованными субъектами рынка

Субъект	Вид и содержание предпринимаемых мер			
	Правовые	Технологические	Организационно-экономические	Информационно-профилактические
Государство	Создание нормативно-правовой базы (ГОСТы, сертификация, штрафы и др.) и обеспечение ее исполнения	Создание гос. реестров, размещенных на специальных эл. платформах, приложений для проверки качества	Рекомендации по созданию систем менеджмента качества на предприятиях, штрафы по результатам проверок	Создание и распространение информационных материалов по вопросам оценки и контроля качества товаров и услуг
Предприятия	Внутренние локальные НПА, стандарты и системы менеджмента качества предприятия	Современные технологии контроля качества товаров/услуг; защита продукции с помощью голограмм, QR-кодов, участие в «Честный знак», «Мер-курий» и др.	Обучение и мотивация работников на качественное выполнение работ/услуг, организация обратной связи и реагирования на жалобы клиентов	Информирование через СМИ и собственные социальные сети о методах защиты предприятием своих товаров/услуг
Потребители	Знание прав потребителя, обращение в Общество защиты прав потребителей, отстаивание своих прав в суде	Использование приложения «Честный знак», проверка наличия предприятия в гос.реестре, поиск стандартов	Умение экономически обосновать претензии в случае получения некачественных товаров/услуг	Давать обратную связь по качеству товаров/услуг в виде отзывов на сайте/в соц.сетях организации или в виде жалоб в соответствующие инстанции

Рассмотрим подробнее меры, предпринимаемые заинтересованными субъектами по вопросам оценки и контроля качества товаров и услуг.

1) Со стороны государства, имеющего двойную цель – с одной стороны гарантировать потребителям качество и безопасность товаров и услуг, а с другой – создавать условия для развития конкурентной бизнес-среды:

а) правовые меры:

– для потребителей: укрепление правовой базы по защите прав потребителей, узаконивание требований возмещения морального и материального вреда и др.;

– для предприятий: разработка в соответствии с достижениями научно-



технического прогресса нормативно-правовой базы и ее упорядочение по вопросам стандартизации, сертификации, аккредитации и лицензирования. Уже несколько лет работает так называемая «регуляторная гильотина», выявляющая и ликвидирующая устаревшие, неактуальную или противоречивую нормативно-правовую базу. Однако, она работает достаточно медленно и во многих сферах еще присутствуют противоречия в нормативных документах, а также, в связи с быстро меняющейся ситуацией на рынке, часть нормативной документации в момент ввода в действие уже устаревает и требует корректировки. В 2023 г. была принята «Концепция совершенствования контрольной (надзорной) деятельности до 2026 года» [4], где был разработан конкретный план мероприятий и очерчены сроки исполнения, но на данный момент времени ее реализация идет с нарушением сроков;

б) технологические меры:

– для потребителей разрабатываются государственные интернет-платформы, где население может проверить наличие организации в государственном реестре или ее лицензии, аккредитации и т.д., сообщить о серьезных нарушениях; также создано приложение «Честный знак», куда занесено уже более чем 20 групп сертифицированных товаров (лекарства, молочные товары, одежда, меховые изделия, обувь, шины и так далее), где по QR-коду можно проверить подлинность товаров;

– для предприятий существует обязанность маркировать определенным способом свои товары, подлежащие сертификации и заносить их в систему «Честный знак», интегрированную с кассой, эта мера уже показала эффективность по аналогии с системой «Меркурий» и др.);

в) организационно-экономические меры:

– для потребителей закреплено право на получение определенных сумм, при условии, если клиент докажет наличие причиненного ему материального и морального вреда, однако, появилась вторичная проблема так называемого «потребительского экстремизма», когда потребители начинают злоупотреблять правами, создавая излишнюю нагрузку на судебную систему;

– для предприятий существуют рекомендации по разработке внутренних систем качества (например, при классификации гостиниц и присвоении им соответствующих звезд, наличие внутренних стандартов и системы менеджмента качества дает дополнительные баллы, повышая шансы на присвоение желаемой категории), проводятся систематические государственные проверки с целью контроля качества товаров и услуг на потребительском рынке, повышение сумм штрафов за нарушения до значимых для предприятия сумм, когда производить некачественный товар или оказывать некачественную услугу становится просто не выгодно и т.д.):

г) информационно-профилактические меры:

– для потребителей проводится информирование по способам выявления некачественных товаров и услуг, фальсифицированных товаров, по правам потребителей и их защите (выделяются гранты на создание таких актуальных для потребителей информационных программ и материалов, социальная реклама

по центральному телевидению, например, сейчас транслируются рекламные ролики по продвижению приложения «Честный знак»);

– для предприятий сейчас рассматривается вопрос создания единого реестра обязательных характеристик качества для различных товаров и услуг, проведение консультаций по вопросам обеспечения обязательных требований к качеству товаров/услуг, запущены пилотные проекты по тестированию разработанных процедур самообследования организаций, выносятся предписания организациям о нарушении обязательных требований качества с разъяснениями и определением времени на их устранение).

2) Со стороны предприятий-изготовителей (или предприятий сферы услуг), цель которых – получить прибыль, с учетом интересов потребителей и выполнением обязательств перед государством:

а) правовые меры: разработка внутренних стандартов и системы менеджмента качества предприятия, выработка механизмов защиты от «потребительского экстремизма»;

б) технологические меры: применение современных технологий для контроля за качеством производимых товаров или оказываемых услуг; защита своей продукции с помощью голограмм, QR-кодов, участие в программе «Честный знак» и др.;

в) организационно-экономические меры: организация системы обучения и мотивации работников на качественное выполнение работ/услуг с помощью системы морального и материального стимулирования, организация каналов обратной связи и оперативная работа по реагированию на замечания клиентов по поводу качества товаров и услуг;

г) информационно-профилактические меры: информирование реальных и потенциальных клиентов через СМИ и собственные социальные сети о методах защиты производителем своих товаров (внешний вид упаковки, серийные номера, наличие QR-кодов, голограмм и других признаков качества, а также о способах выявления фальсифицированных товаров, создаются профессиональными ассоциациями платформы, где размещаются данные о проверенных исполнителях услуг (возможно государство со временем возьмет под контроль и этот вопрос).

3) Со стороны потребителей, цель которых – удовлетворение своих потребностей):

а) правовые меры: самообразование, повышение знаний о своих правах как потребителя, взаимодействие с Обществом защиты прав потребителей при нарушении прав, активное отстаивание своих интересов в суде (по статистике всего 5 % в той или иной мере пострадавших клиентов предъявляют реальные претензии организациям, при более высокой активности потребителей в отстаивании своих прав в суде, их массовом характере, организации будут вынуждены оказывать услуги и выпускать качественные товары, так за все недочеты в вопросах качества им придется платить и это будут уже серьезные суммы);

б) технологические меры: установка и использование приложения «Честный знак», умение проверять наличие предприятия в государственном реестре,



нахождение необходимых стандартов на продукт/услугу при необходимости, так с помощью технологий можно более эффективно защититься от потребления некачественных товаров и услуг;

в) организационно-экономические меры: умение экономически обосновать свои претензии при получении некачественных товаров и услуг;

г) информационно-профилактические меры: необходимо давать организациям обратную связь, реагировать на низкое качество полученных товаров и услуг в виде отзывов на сайте, в социальных сетях предприятия или в виде жалоб в соответствующие инстанции при грубом нарушении прав потребителя.

Помимо перечисленных выше мер, желательно добавить участие представителей всех заинтересованных сторон в работе над вопросами оценки и контроля качества товаров и услуг. Организатором данного процесса закономерно должно стать государство с участием общественных и предпринимательских институтов.

Актуальность контроля качества на российском потребительском рынке подтверждается данными официальной государственной статистики. Выявляемые нарушения обязательных требований качества товаров, работ и услуг имеют следующую динамику (табл. 4). [3]

Таблица 4

Динамика выявляемых нарушений обязательных требований качества товаров, работ и услуг

Год	Кол-во нарушений, ед	Год	Кол-во нарушений, ед
2014	18580	2019	9393
2015	15584	2020	1399
2016	14783	2021	1412
2017	10262	2022	658
2018	6750	2023	3535

Динамика нарушения обязательных требований качества за анализируемый период времени имеет относительно положительную тенденцию к сокращению (период пандемии не берем в расчет по объективным причинам), величина таких грубых нарушений в 2023 г. составила примерно 30 % от допандемийных значений 2019 г. Вместе с тем, необходимо учесть, что в России сегодня действует мораторий на внезапные проверки, сдерживающие развитие бизнеса, поэтому и нарушений выявляется значительно меньше. Несколько лет имеет место практика, предполагающая щадящий, скорее профилактический формат проверок в виде вынесения предостережений о недопустимости нарушения обязательных требований, согласно которым, на устранение выявленных нарушений предприятиям выделяется определенное время и здесь уже совсем другой порядок цифр. Этот подход был закреплен в «Концепции совершенствования контрольной (надзорной) деятельности до 2026 года» [4].

Рассматривая структуру вынесенных предостережений в разрезе отдельных сфер деятельности в 2023 г. видим, что наибольшее их число направлено

предприятиям сферы розничной торговли – 80742 (86 % от общего числа вынесенных предостережений на потребительском рынке) [3]. Отчасти это можно объяснять значительным количеством предприятий розничной торговли, функционирующими на рынке, в сравнении с другими отраслями, что и обуславливает большее число выявленных нарушений.

По данным Российского статистического ежегодника за 2023 г. было изъято товаров из оборота (в процентах от количества отобранных образцов (проб) в каждой товарной группе):

– среди отечественных товаров: моющих средств 63,4 %, мясных консервов 20 %, мебели 19,2 %, одежды (кроме меха) 10,8 %, обуви 5,3 %, парфюмерия и косметика 5,3 %;

– среди импортных товаров (в условиях санкций и ограничения импорта): бытовой техники – по разным позициям до 7 %, обуви 5,4 %, одежды (кроме меха) 1,9 %, табачных изделий 1,8 %, парфюмерии и косметики 1,5 % [6].

Данные свидетельствуют о наличии, прежде всего, проблем с качеством отечественных потребительских товаров, реализуемых в розничной сети.

В сфере услуг в 2023 г. было вынесено предостережений – 13634 (соответственно 14 % от общего числа), в разрезе отраслей сферы услуг предостережения распределились следующим образом (рис. 1) [3].

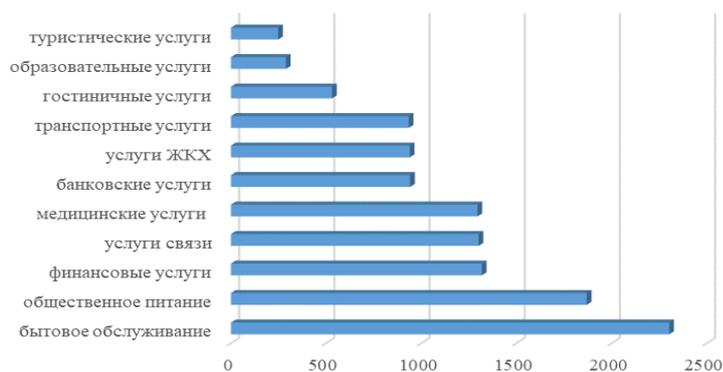


Рис. 1. Распределение предостережений о недопустимости нарушения обязательных требований по отраслям сферы услуг в 2023 году

Наибольшее количество предостережений по качеству в сфере услуг было вынесено организациям бытового обслуживания, общественного питания и организациям, осуществляющим деятельность на финансовом рынке, именно здесь фиксируются массовые жалобы потребителей.

Таким образом, анализ данных официальной статистики показывает, что вопросы качества товаров и услуг на потребительском рынке России являются весьма актуальными.

Еще одну сложность при оценке и контроле качества на потребительском рынке создают характерные особенности самих товаров и услуг, имеющих дифференцированные требования и показатели качества.



Среди показателей качества с учетом характерных свойств материальных товаров принято выделять следующие:

- назначение;
- надежность;
- экономичность;
- эргономичность;
- эстетичность;
- технологичность;
- стандартизация и унификация;
- патентно-правовые;
- экологичность;
- безопасность.

В свою очередь показатели качества услуг во многом обусловлены их особенностями как специфического товара: нематериальностью, невозможностью хранения, потреблением в момент оказания услуги, нестабильностью качества в зависимости от исполнителя услуги и др.

К номенклатуре показателей качества услуг по ГОСТ Р 52113-2014 относят следующие [2]:

– показатели назначения, подразделяются на: показатели применения, показатели совместимости, показатели качества предприятия сферы услуг (материально-техническая база предприятия, санитарно-эпидемиологические и эргономические условия обслуживания, этика общения и возможность получения дополнительных услуг, продолжительность ожидания или обслуживания), специфические показатели, (характерные для конкретного вида услуг);

– безопасности;

– надежности;

– профессионального уровня персонала (уровень профессиональной подготовки и квалификации, способность к руководству (для руководителей), знание и соблюдение профессиональной этики поведения).

Как видно из представленных выше перечней существуют серьезные различия в показателях качества товаров и услуг, обусловленные их характерными особенностями, ситуацию усугубляет многообразие товаров и услуг, что в свою очередь затрудняет выделение универсальных показателей, поэтому необходим индивидуализированный подход к формированию их номенклатуры с учетом требований всех заинтересованных субъектов.

Для повышения эффективности предложена следующая схема взаимодействия при выработке требований к качеству товаров и услуг и его контролю (рис. 2).

На начальном этапе формируются рабочие группы представителей от государственных органов, бизнеса и потребителей, работая параллельно они выработывают важные по их мнению требования к качеству различных групп товаров и услуг, критерии оценки и контроля и формулируют свои предложения для дальнейшего обсуждения.

Работа по вынесению предложений по разработке обязательных характеристик качества, их оценки и регулированию со стороны потребителей может проходить в качестве общественных инициатив сообществ потребителей, общества по защите прав потребителей, со стороны бизнес-среды это могут быть профессиональные ассоциации, эксперты-практики, имеющие большой опыт работы в данной сфере и так далее.



Рис. 2. Порядок взаимодействия заинтересованных субъектов по вопросам качества

На втором этапе происходит совместное обсуждение и выработка обобщенного комплекса показателей качества, критериев их оценки, процедур реализации и контроля. Необходимость совместного обсуждения и выработки требований к качеству товаров и услуг и его регулированию – это объективная необходимость, чтобы спускаемые сверху инициативы были реальны, актуальны, обоснованны и вызвали понимание и поддержку у всех заинтересованных сторон (например, в утвержденном профессиональном стандарте работника по присмотру и уходу за детьми определены требования к квалификации, образованию, навыкам и условиям допуска к работе данных специалистов, но даже обладатель всех перечисленных требований может не понравиться родителям, не найти подход к ребенку и тогда появляется проблема как оценить его работу: качественно она выполнена или нет).

Результатом третьего этапа – совместного обсуждения должны стать номенклатуры перечней показателей качества, процедуры оценки и контроля качества по конкретным товарам и услугам.

На четвертом этапе разработанные меры внедряются в работу и доводятся



до сведения всех заинтересованных сторон через всевозможные информационные ресурсы, платформы, на которых можно ознакомиться с требованиями к качеству, организациям провести самооценку, позволяющую выявить слабые места и улучшить ситуацию.

На пятом этапе взаимодействия необходимо организовать каналы обратной связи для учета изменений и оперативной корректировки требований к качеству, его оценке и контролю.

Подводя итог, следует еще раз отметить, что в данной статье были исследованы некоторые существующие аспекты вопросов качества потребительских товаров и услуг, проведен анализ теоретической и правовой базы, изучена доступная официальная статистика по качеству товаров и услуг, выявлены основные проблемы в данной сфере и сформулированы рекомендации по возможным путям эффективного решения данных проблем.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь // СПС «Консультант Плюс» : офиц. сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_195013/ (дата обращения: 27.05.2025).

2. ГОСТ Р 52113-14. Услуги населению. Номенклатура показателей качества услуг. Национальный стандарт Российской Федерации. М. : Стандартинформ, 2015. 19 с.

3. Защита прав потребителей в Российской Федерации в 2023 году : гос. доклад. М. : Федер. служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. 392 с.

4. Концепция совершенствования контрольной (надзорной) деятельности до 2026 года, утверждена распоряжением Правительства РФ от 21 дек. 2023 г. № 3745-р. // СПС «Гарант» : офиц. сайт. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408171459/#1000> (дата обращения: 27.05.2025).

5. Курочкина А. Ю. Управление качеством услуг : учебник и практикум для вузов. М. : Юрайт, 2025. 172 с.

6. Российский статистический ежегодник 2024. Качество товаров, поступивших на потребительский рынок // Федеральная служба государственной статистики : офиц. сайт. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejagodnik_2024.htm (дата обращения: 27.05.2025).

7. Основы функционирования систем сервиса : учебник для вузов / М. Е. Ставровский [и др.]. М. : Юрайт, 2025. 190 с. URL: <https://urait.ru/bcode/567137> (дата обращения: 03.06.2025).

8. Управление качеством : учебник для вузов / под ред. А. Г. Зекунова. М. : Юрайт, 2025. 460 с. // Образовательная платформа Юрайт : офиц. сайт. URL: <https://urait.ru/bcode/559619> (дата обращения: 27.05.2025).

9. Червова Н. В., Ивашкин М. В. Российский бизнес и проблема фальсификации товаров: современное состояние и способы решения проблемы // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2021. № 3. С. 38-46.



10. Червова Н. В. Товароведение и экспертиза продовольственных товаров: актуальные теория и практика : учеб. пособие. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2022. 127 с.
11. Щербакова Е. В., Ольховатов Е. А., Орлова Т. В. Организация контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов : учеб. пособие для вузов. СПб. : Лань, 2024. 80 с.
12. Юдин С. В., Юдин А. С. Управление качеством: теоретические основы и практические рекомендации : учебник для вузов. СПб. : Лань, 2023. 340 с.

Title: Problems of Assessment and Quality Control of Goods and Services in the Consumer Market

Authors' affiliation:

Chervova N. V. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: In the article the author substantiates the relevance of the problem of assessment and control of the quality of goods and services in the modern consumer market of the Russian Federation. The purpose of the study is to identify relevant aspects of the issue of assessment and control of the quality of consumer goods and services, as well as to develop recommendations for solving this problem in the conditions of the modern market, when the requirements for quality, its assessment and control are formed simultaneously by the state, consumers, the manufacturer and competitors. In the course of the study, the methods of comparative analysis, synthesis, generalization and systematization have been used. In the article the author reflects the official state statistics on violation of mandatory requirements for the quality of goods and services, studies the structure of goods withdrawn from circulation, which confirms the severity of this problem. The author has considered approaches to the interpretation of the concept of «quality», studied scientific works and the regulatory framework that served as the basis for the development of this problem. In addition, the subjects involved in the problem of the quality of goods and services, its control and assessment have been studied, and the main goals pursued by them in this respect have been formulated. The article systematizes the measures taken by interested parties to ensure the quality of goods and services in relation to other participants in this process, both existing and proposed for consideration for implementation. The author has also proposed a procedure for interaction between parties interested in a comprehensive solution to the problem of quality, its control and assessment, taking into account the opinion of all participants, which could contribute to a more effective implementation of initiatives on the development of requirements for quality assessment and the effectiveness of its control.

Keywords: consumer market, quality, goods, service, counterfeiting of goods, quality management, quality assessment, quality control, government regulation, standardization, certification, consumer protection



УДК 005.95:331

DOI <https://doi.org/10.38161/1996-3440-2025-3-169-180>*Г. А. Шестакова, В. В. Яценко***РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
ПЕРСОНАЛА С УЧЕТОМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
И ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АСПЕКТОВ**

Шестакова Г. А. – аналитик Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана, г. Москва, e-mail: shestakova.g@bmstu.ru; *Яценко В. В.* – д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры «Промышленная логистика» Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана, г. Москва, e-mail: yatsenkovv@bmstu.ru

В настоящей статье представлен механизм комплексной оценки персонала, с учётом профессионального и поведенческого аспектов, что предполагает анализ различных вариантов уровня развития компетенций и степени вовлечённости. Комплексная оценка проводится с использованием модели оценки на основе вариативности уровня развития компетенций и степени вовлечённости работников. Приведены схемы и описаны процессы проведения оценки как для традиционного с точки зрения реализации способа, так и для автоматизированного. Представлена структура базы данных, содержащей необходимые параметры для оценки по комплексной модели (шифр, параметры уровня развития компетенций и степени вовлечённости, принятые значения параметров, а также ответы на вопросы открытого типа). Для автоматизированного способа приведены примеры форм значений уровня развития компетенций сотрудников выбранного отдела и значений степени их вовлечённости, а также примеры отображения значений результатов оценки как по комплексной модели, так и для частных случаев, когда требуется рассмотрение одного конкретного параметра модели. Указаны рекомендации по практическому применению разработанного механизма.

Ключевые слова: оценка человеческих ресурсов, механизм оценки, компетентность, компетенции, вовлечённость персонала, менеджмент предприятия

В условиях динамичной бизнес-среды и усиливающейся конкуренции эффективное управление человеческими ресурсами становится ключевым фактором устойчивого развития организаций. В связи с этим, особую значимость приобретает оценка персонала. Инновационная активность предприятий, конкурентоспособность, технологическая и экономическая независимость зависят не только от научно-технического и производственного потенциала, но и от кадрового потенциала, определяющего уровень профессиональной квалификации и компетентности персонала организации, а также мотивированность и вовлеченность в рабочие процессы [3,4,5,6,8,9,10].

Все существующие методы оценки персонала можно разделить на три группы: качественные, количественные и комбинированные. Качественные методы являются описательными и не содержат количественные данные. К ним относятся матричный метод, метод произвольных характеристик, «360 градусов», метод оценки выполнения задач, групповая дискуссия, психологический метод, невербальная коммуникация, интервьюирование, «Performance management». Такие методы позволяют выявить не только результат, но и способ их достижения, оценить личностные качества и мотивацию работников. Благодаря адаптивности, они могут быть применены на предприятиях различного профиля. Однако главными ограничениями качественных методов становятся субъективность, трудоёмкость и сложность стандартизации.

Количественные методы основываются на результатах, имеющих числовое (количественное) выражение. Отсюда вытекают четыре главных преимущества их использования: объективность (основаны на измеримых данных); прозрачность (чёткие критерии, понятные сотрудникам); простота сравнения результатов; связь с бизнес-результатами – (например, «KPI» напрямую влияет на прибыль компании). Однако количественные методы не учитывают среду, в которой работники ведут профессиональную деятельность (в том числе сложность выполняемых задач) и не всегда подходят для оценки личных качеств работников. Кроме того, работники могут фокусироваться только на достижении «нужных» показателей оценки, что будет сильно влиять на её точность. Примерами количественных методов служат: ранговый метод, метод балльной оценки, метод свободной балльной оценки, шкала рейтингов поведенческих установок, сравнение по парам, простая классификация, метод стандартных оценок, «KPI».

Комбинированные методы оценки персонала сочетают в себе качественные и количественные методы оценки и являются более полными и достоверными. Комбинированные методы (тестирование, метод суммы оценок, метод сравнительных анкет, группировка, деловые игры, метод решающей ситуации, аттестация) широко распространены и довольно разнообразны. Они позволяют получить более полную картину и сгладить недостатки отдельных методов. Однако, несмотря на возможность адаптации под разные должности / отделы,



процесс их внедрения на предприятии довольно сложен и требует больше ресурсов. К недостаткам данной группы методов также можно отнести высокий риск перегруженности оцениваемых работников (сотрудники могут устать от большого числа оценочных процедур).

Исследования в этой области показывают, что организации, внедряющие системные подходы к оценке персонала, достигают более высоких результатов по показателям производительности труда, скорости адаптации к изменениям, уровню вовлечённости сотрудников, качеству кадрового резерва [1,2,7]. При этом важно оценить не только уровень имеющихся знаний, умений и навыков, но и степень желания и готовность применять имеющиеся компетенции в рамках рабочих процессов, так как обладая высоким потенциалом, человек может всецело направить его для достижения стратегических целей предприятия, использовать не в полной мере, вовсе не применять. Методами исследования в настоящей работе выступают: системный подход, методы статистического исследования, алгоритмизации, графической визуализации

Модель оценки на основе вариативности уровня развития компетенций и степени вовлечённости персонала характеризуется двусторонним подходом к оценке сотрудников, учитывающим не только уровни владения компетенциями, но и стремление работников применить свой творческий потенциал для качественного и своевременного решения рабочих задач и достижения целей организации. Она представляет собой матрицу порядка 4 на 5 (см. рис. 1). При этом чем выше значение по оси X, тем более развиты компетенции, а чем выше значение по оси Y, тем более высокая степень вовлечённости у работника.

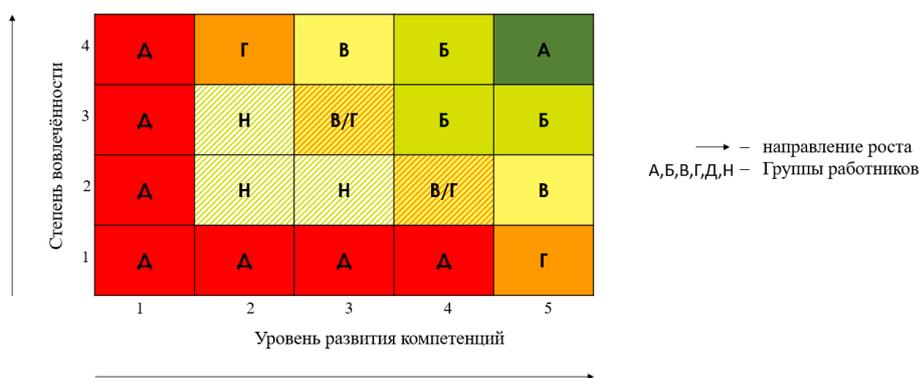


Рис. 1. Модель оценки на основе вариативности уровня развития компетенций и степени вовлечённости

Уровни владения компетенцией и их поведенческие характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни владения компетенцией	
Уровень	Поведенческие проявления
1 Существенно ниже требуемого	Сотрудник не владеет компетенцией или владеет в малой степени, не предпринимает мер для её развития, не пытается её применять в своей деятельности.
2 Ниже требуемого (начальный)	Сотрудник находится на начальной стадии процесса освоения компетенции, проявляет её с осторожностью и только в знакомых ситуациях.
3 Удовлетворительный, но ещё не достаточный (развития)	Сотрудник обладает данной компетенцией, но не в полной мере, проявляет её частично и непостоянно, предпринимает все необходимые меры для развития требуемой компетенции.
4 Требуемый (базовый, достаточный)	Сотрудник в полной мере обладает необходимой компетенцией, обладает желанием и возможностями применять её на практике, проявляет компетенцию во всех рабочих ситуациях.
5 Выше требуемого	Сотрудник обладает очень высокой степенью развития компетенции, может применять её в нестандартных, сложных ситуациях.

Оценка степени вовлечённости проводится по разработанной анкете, которая содержит утверждения для оценки уровня удовлетворённости, лояльности и инициативности, а также несколько вопросов открытого типа. По результатам опроса респондент определяется в одну из четырёх групп, которым соответствуют значения:

- 1 – активно невовлечённый;
- 2 – пассивный;
- 3 – умеренно вовлечённый;
- 4 – высоко вовлечённый.

Механизм оценки по комплексной модели может проводиться как традиционным с точки зрения реализации способом, так и автоматизированным. Традиционный с точки зрения реализации способ, схема которого представлена на рис. 2, подразумевает участие внешнего интервьюера и непосредственного руководителя оцениваемого. Ответственным за проведение оценки со стороны организации лицом совместно с управленческими кадрами определяется набор требуемых для каждой должности компетенций, формируется перечень вопросов по вовлечённости (открытых и закрытых). Согласно этим вводным данным интервьюер(ы) общается(ются) с работниками структурных



подразделений организации, собирают и анализируют полученную информацию, отмечают результаты в матрице. Данный процесс довольно трудоёмок и продолжителен. Кроме того, возрастает доля субъективизма в оценке, так как интервьюер может считать информацию неточно или неверно, что приведёт к появлению ошибки.

Результатом неавтоматизированной оценки является матрица, с нанесёнными на неё значениями, – результат по выбранной единице. Работники, участвовавшие в оценке, не могут увидеть собственный результат. Все участники видят только общую картину.

Схема автоматизированного способа оценки представлена на *рис. 3*. Автоматизация процессов оценки параметров модели позволяет сократить время на обработку информации и получить более релевантные данные. Такой способ позволяет проводить оценку удалённо, что особенно актуально в реалиях современного рынка, когда дистанционный формат работы активно используется многими предприятиями.

Перед проведением оценки в выбранной организации в специальную программу вносятся названия структурных подразделений организации, Ф.И.О. сотрудников, работающих в каждом из них, отмечаются сотрудники, занимающие руководящие должности. Другими словами, формируется каталог сотрудников. Для каждого сотрудника автоматически генерируется логин и пароль для входа в личный кабинет. Далее программой присваивается шифр, призванный обеспечить анонимность и конфиденциальность ответов респондентов. Ответственным за проведение оценки со стороны организации лицом совместно с управлением кадрами определяется набор требуемых для каждой должности компетенций, формируется перечень вопросов по вовлечённости (открытых и закрытых).

По окончании подготовительных работ можно переходить к сбору исходных данных. Реализацию данного процесса можно описать следующим образом: сотрудник заходит в программу, используя логин и пароль для входа в личный кабинет. Автоматически подтягивается информация о Ф.И.О., занимаемой должности, отделе, где он/она работает. В появившейся форме, содержащей определённое конечное число закрытых утверждений, сотрудник отмечает, насколько он согласен или не согласен с каждым из них по шкале оценки от 1 – «категорически не согласен» до 6 – «совершенно согласен». Далее идут открытые вопросы: они могут быть обязательными или опциональными. Усложнение вопросов происходит постепенно от начала к концу анкеты, этим объясняется в том числе и расположение всех вопросов открытого типа ближе к завершению опросника.

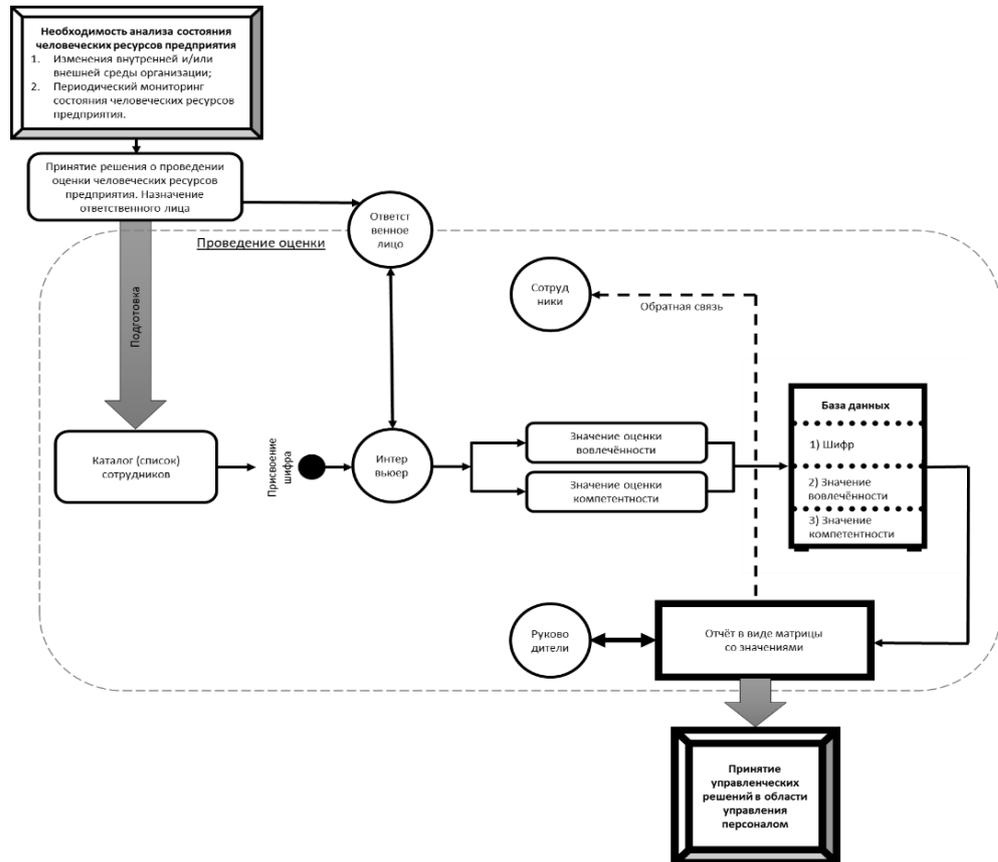


Рис. 2. Механизм проведения оценки традиционным способом

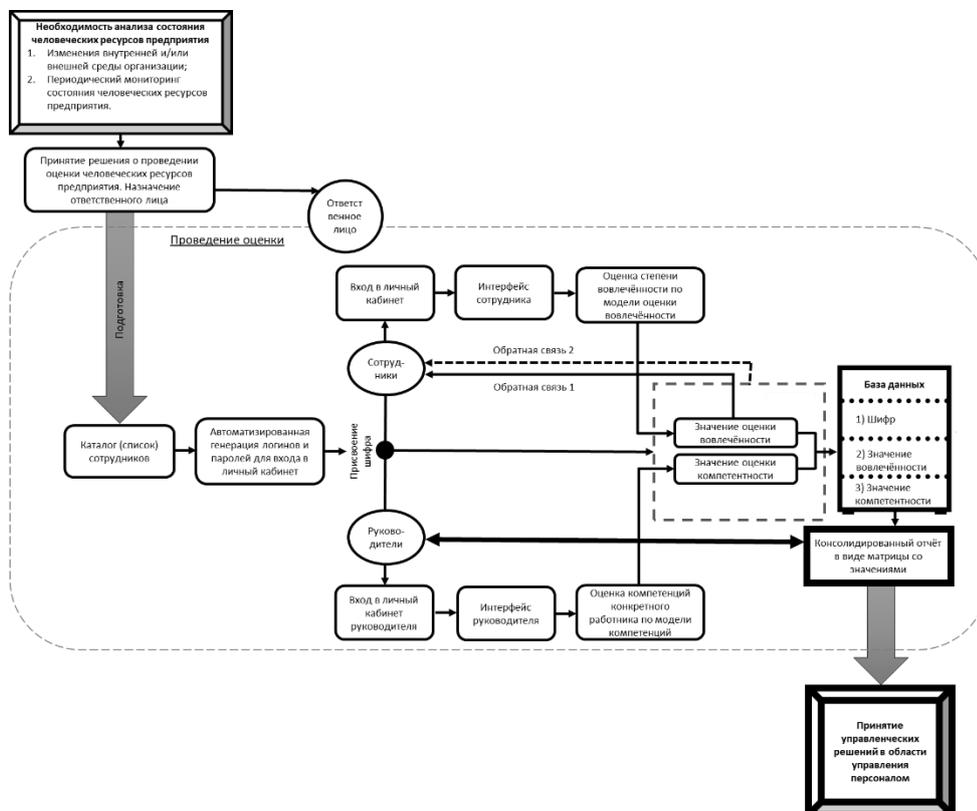


Рис. 3. Механизм проведения оценки автоматизированным способом

При выборе сотрудником степени согласия по каждому из представленных утверждений, программа автоматически рассчитывает значение его/её степени вовлечённости) и выдаёт всплывающее окно с результатом (названием и описанием соответствующей полученному. Путём математического округления данного показателя получается значение округлённого (принятого) среднего уровня вовлечённости, нужного для простоты визуализации, если речь идёт об оценке только степени вовлечённости сотрудников.

Реализация представленного механизма обуславливает предоставление оперативной обратной связи непосредственно после прохождения оценочных мероприятий: работник сразу узнаёт оценку его степени вовлечённости (на рис 3 этот процесс обозначен стрелкой «Обратная связь 1»). Полученное значение вовлечённости подвязывается к шифру, присвоенному сотруднику на подготовительном этапе, и записывается в базу данных. Также в базу данных записываются ответы на открытые вопросы.

Параллельно с прохождением оценки степени вовлечённости сотрудниками, их непосредственные руководители оценивают уровень компетентности

сотрудников. Для этого каждому руководителю выдаётся «доступ руководства». Именно непосредственный руководитель может оценить работу подчинённого ему сотрудника.

Руководителю предлагается выбрать из раскрывающегося списка конкретного сотрудника и в появившейся форме модели компетенций выбрать наиболее верную оценку поведенческого проявления для каждой компетенции выбранного сотрудника (рис. 4) от 1 – «существенно ниже требуемого» до 5 – «выше требуемого».

Комплексная оценка человеческих ресурсов							
Выберите наиболее верную оценку поведенческого проявления для каждой компетенции выбранного сотрудника:							
№	Название компетенции	Оценка	1	2	3	4	5
			Существенно ниже требуемого	Ниже требуемого (начальный уровень)	Удовлетворительный, но ещё не достаточный (уровень развития)	Требуемый (базовый уровень)	Выше требуемого
1	Компетенция ₁						
2	Компетенция ₂		...	...	...	...	...
...
n	Компетенция _n		...	...	...	...	...

Рис. 4. Схема формы для оценки поведенческого проявления для каждой компетенции выбранного сотрудника

На основе результатов оценки каждой компетенции сотрудника программа рассчитывает итоговое значение оценки уровня развития компетенций.

Получившееся значение заносится в базу данных вместе с номером сотрудника (шифром, присваиваемым каждому сотруднику для обеспечения конфиденциальности и анонимности) и будет использовано для дальнейшей оценки сотрудника по комплексной модели. Путём математического округления данного показателя получается значение округлённого (принятого) среднего уровня развития компетенций, нужного для простоты визуализации, если речь идёт об оценке только уровней компетенций сотрудников по модели.

Таким образом, в итоговой базе данных содержатся шифр сотрудника, оценка уровня компетентности, принятое значение оценки уровня компетентности, оценка степени вовлечённости, принятое значение оценки степени вовлечённости, ответы на открытые вопросы (рис. 5).



№ п/п	Шифр сотрудника	Оценка (параметр) уровня развития компетенций	Принятое значение уровня развития компетенций	Оценка (параметр) вовлечённости	Принятое значение параметра вовлечённости	Ответы на открытые вопросы			
						Вопрос ₁	Вопрос ₂	...	Вопрос _n
1	1	$K_{1,}$, где $K_1 \in R$, $1 \leq K_1 \leq 5$	$K_{1,пр.}$, где $K_{1,пр.} \in N$, $1 \leq K_{1,пр.} \leq 5$	$V_1,$ где $V_1 \in R$, $1 \leq V_1 \leq 4$	$V_{1,пр.}$, где $V_{1,пр.} \in N$, $1 \leq V_{1,пр.} \leq 4$	Ответ ₁₁	Ответ ₁₂	...	Ответ _{1n}
2	2	$K_{2,}$, где $K_2 \in R$, $1 \leq K_2 \leq 5$	$K_{2,пр.}$, где $K_{2,пр.} \in N$, $1 \leq K_{2,пр.} \leq 5$	$V_2,$ где $V_2 \in R$, $1 \leq V_2 \leq 4$	$V_{2,пр.}$, где $V_{2,пр.} \in N$, $1 \leq V_{2,пр.} \leq 4$	Ответ ₂₁	Ответ ₂₂	...	Ответ _{2n}
3	3	$K_{3,}$, где $K_3 \in R$, $1 \leq K_3 \leq 5$	$K_{3,пр.}$, где $K_{3,пр.} \in N$, $1 \leq K_{3,пр.} \leq 5$	$V_3,$ где $V_3 \in R$, $1 \leq V_3 \leq 4$	$V_{3,пр.}$, где $V_{3,пр.} \in N$, $1 \leq V_{3,пр.} \leq 4$	Ответ ₃₁	Ответ ₃₂	...	Ответ _{3n}
...
n	n	$K_{n,}$, где $K_n \in R$, $1 \leq K_n \leq 5$	$K_{n,пр.}$, где $K_{n,пр.} \in N$, $1 \leq K_{n,пр.} \leq 5$	$V_n,$ где $V_n \in R$, $1 \leq V_n \leq 4$	$V_{n,пр.}$, где $V_{n,пр.} \in N$, $1 \leq V_{n,пр.} \leq 4$	Ответ _{n1}	Ответ _{n2}	...	Ответ _{nn}

Рис. 5. Структура базы данных

Итогом оценки является получение консолидированного отчёта руководителями. Отчёт может быть составлен по всей организации в целом, по отделению / департаменту и другим системным подразделениям. В этом случае программа использует только определённое множество значений базы данных, отвечающих требуемому параметру вывода. Для выбора вида отчёта руководителю требуется выбрать вариант из предложенного списка.

Программа обрабатывает полученную базу данных и выводит информацию на матрицу в соответствии с заданным видом отчёта, обозначая сотрудников точками на модели оценки на основе вариативности уровня развития компетенций и степени вовлечённости (рис. 6).



Рис. 6. Пример результата оценки для отдела

Наведя курсор на точку, обозначающую того или иного сотрудника, заинтересованное лицо (сотрудник или руководитель) получает информацию в

виде таблицы, содержащей название группы сотрудников, номера ячеек, принадлежащих к данной группе, воздействие на организацию, характеристику деятельности сотрудников и последствия их воздействия, а также вывод, представляющий присущие группе свойства, и стратегию воздействия на таких сотрудников; и ответов на открытые вопросы. Если открытые вопросы были опциональными и работник ничего не ответил, оставив пустую строку, такие данные не отобразятся. Программа выведет только те вопросы, на которые был дан ответ.

Кроме того, в программе предусмотрена возможность вывода только значений уровня развития компетенций (рис. 7) и степени вовлечённости (рис. 8) сотрудников отдела. Для удобства визуализации и отнесения к той или иной группе в таком варианте отчёта отображается принятое (округлённое) значение параметров.

Комплексная оценка человеческих ресурсов						
Уровень развития компетенций. Отдел А						
№ п/п	Компетенции / № сотрудника	1	2	3	4	5
1	Средний уровень компетентности	4,8	4,7	4,2	4,4	4,0
2	Средний уровень компетентности (округлённый)	5	5	4	4	4

Рис. 7. Пример отображения значений уровня развития компетенций сотрудников выбранного отдела

Комплексная оценка человеческих ресурсов			
Вовлечённость. Отдел А			
№ п/п	№ сотрудника	Степень вовлечённости	Группа
1	1	3	Умеренно вовлечённые
2	2	4	Высоко вовлечённые
3	3	3	Умеренно вовлечённые
4	4	3	Умеренно вовлечённые
5	5	3	Умеренно вовлечённые

Рис. 8. Пример отображения значений степени вовлечённости сотрудников выбранного отдела

Работники, участвовавшие в оценке, могут увидеть собственный результат, войдя в личный кабинет, используя выданные логин и пароль. На рис. 3 этот процесс обозначен пунктирной стрелкой «Обратная связь 2». Важно отметить, что каждый конкретный сотрудник может видеть только свой собственный результат в виде точки на матрице, расположенной согласно полученным значениям оценки степени вовлечённости и уровня компетентности. Возможность просмотра собственного результата работником позволяет



понять собственную позицию в организации, оценить перспективы карьерного роста, определить векторы для саморазвития.

Предложенный подход к комплексной оценке позволяет отследить динамику перехода сотрудников из одной группы в другую и выявить неочевидные проблемы, которые могут сильно снижать вовлечённость сотрудников и мешать им максимально эффективно применять свои компетенции для выполнения должностных обязанностей.

Особенность разработанного механизма в отличие от существующих методов заключается в двустороннем подходе к оценке сотрудников, учитывающим не только профессиональный аспект (уровни освоения компетенций), но и поведенческий аспект, проявляющийся в стремлении и желании работников применить свой потенциал для качественного и своевременного решения рабочих задач и достижения целей организации. Комплексная оценка, связывающая профессиональные характеристики персонала и особенности поведения, зависящие от мотивированности и ряда других факторов, позволит своевременно диагностировать проблемные зоны и разрабатывать соответствующие корректирующие действия, снизить издержки предприятия, благодаря повышению точности кадровых решений.

Таким образом, интеграция механизма комплексной оценки персонала в систему управления персоналом может способствовать расширению арсенала инструментов и технологий управления человеческими ресурсами с целью принятия обоснованных управленческих решений в соответствии с усиливающейся динамикой и нарастающей сложностью стратегических задач. Представленный механизм может применяться как на малых предприятиях, так и в крупных организациях различных отраслей экономики.

Библиографические ссылки

1. The Talent Strategy Group. Global Performance Management Report. 2023. URL: <https://www.shrm.org/hr-today/trends-and-forecasting/research-and-surveys> (дата обращения: 10.05.2025).
2. Deloitte Insights. 2024 Global Human Capital Trends: The new boundaryless workforce. 2024. URL: <https://trendsunplugged.io/wp-content/uploads/2024/07/2024-Global-Human-Capital-Trends.pdf> (дата обращения: 10.05.2025).
3. Полежаева Н. В., Фокина Д. А. Производственная кооперация как один из инструментов стимулирования инновационной активности предприятий ракетно-космической промышленности // Управление экономическими системами. 2019. № 12 (130). С. 60.
4. Яценко В. В. Компетенции как фактор развития инновационного потенциала предприятий ракетно-космической отрасли // Инновации в менеджменте. 2024. № 3 (41). С. 34-40.
5. Яценко В. В. Влияние потенциала компетенций организации на выбор стратегии высокотехнологичных предприятий ракетно-космической отрасли // Инновации в менеджменте. 2023. № 2 (36). С. 66-71.



6. Яценко В. В. Оценка потенциала компетенций высокотехнологичных предприятий // Инновации в менеджменте. 2022. № 1 (31). С. 46–53.
7. Иванова И. А., Сажаева Г. А. Управление вовлеченностью персонала как одна из задач менеджмента высокотехнологичных предприятий // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10, № 3. С. 1207-1218.
8. Управление уникальными технологическими компетенциями компании: система мотивации / Артяков В. В., Каширин А. И., Турко Н. И., Филиппов П. Г. // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 7, № 10 (139). С. 39-46.
9. Жигун Л. А., Литвинюк А. А. Мотивационные сбои в системе управления персоналом // Экономика. Налоги. Право. 2023. Т. 16, № 2. С. 48-58.
10. Литвинюк А.А. Будущие лидеры высшего образования: качество молодых специалистов и особенности их организационного поведения // Лидерство и менеджмент. 2021. Т. 8, № 4. С. 447-468.

Title: Implementation of a Comprehensive Personnel Assessment Mechanism Subject to Professional and Behavioral Aspects

Authors' affiliation:

Shestakova G. A. – Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Yatsenko V. V. – Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract: This article presents a mechanism for comprehensive personnel assessment, taking into account professional and behavioral aspects, which involves an analysis of various options for the level of competence development and the degree of involvement. A comprehensive assessment is carried out using an assessment model based on the variability of the level of competence development and the degree of involvement. The schemes are presented and the evaluation processes are described for both the traditional method from the point of view of implementation and the automated one. The structure of the database is presented, which contains the necessary parameters for evaluation using a complex model (a cipher, parameters of the level of competence development and degree of involvement, accepted parameter values, as well as answers to open-ended questions). For the automated method, examples of forms of values for the level of competence development of employees of the selected department and the values of the degree of involvement of employees of the selected department are given, as well as examples of selecting the values of evaluation results both for a complex model and for special cases where consideration of one specific parameter of the model is required. Recommendations on the practical application of the developed mechanism are indicated.

Keywords: human resource assessment, evaluation mechanism, competence, competencies, staff involvement, enterprise management

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям “Ulrich’s Periodicals Directory”.

«Вестник Тихоокеанского государственного университета» включен в международную базу данных академических научных журналов “EBSCO Publishing, Inc.”.

Публикуемые в журнале материалы могут не отражать точку зрения учредителей, редколлегии и редакции.

Авторы несут ответственность за подбор и достоверность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических данных, имен собственных, географических названий и прочих сведений, а также за использование данных, не предназначенных для открытой печати.

Журнал печатается с оригинал-макета, предоставленного редакцией.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

Представляемые статьи должны излагать новые, обзорные и оригинальные, не опубликованные результаты исследований. Статьи рецензируются.

Статья и дополнительная информация предоставляются в электронном виде по адресу, указанному внизу. Плата за публикацию рукописей не взимается.

Подписная цена 550 руб.

Элементы издательского оформления статьи (ГОСТ 7.5 – 98) включают:

– выходные данные: индекс УДК, знак охраны авторского права, Ф.И.О. автора, название научной статьи, сведения об авторе, телефон, e-mail, реферат на русском и английском языках, ключевые слова;

– текст статьи с библиографическими ссылками.

Требования к элементам издательского оформления представлены на сайте <http://togudv.ru/ru/vestnik/about/>

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Наш подписной индекс ПС523 по региональному каталогу российской прессы «Почта России». Подписаться на журнал можно с любого номера.

Цена договорная

**Вестник Тихоокеанского
государственного университета**

Научный журнал

№ 3 (78) • Сентябрь • 2025

Свидетельство ПИ № ФС 77-43112 от 20 декабря 2010 г.

Подписано в печать 15.09.2025. Формат 70x108/16.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 15,92. Тираж 1 000 экз. Заказ 140.

Дата выхода в свет 19.09.2025.

Адрес редакции, издателя и типографии
журнала «Вестник ТОГУ»:
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136
e-mail: vestnik@togudv.ru

ВЕСТНИК ТОГУ. 2025. № 3 (78)

ISSN 1996-3440



9 771996 344270