

БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

Научный журнал НИУ ВШЭ

СОДЕРЖАНИЕ

В.А. Назаркина, В.Ю. Щеколдин

Нейросетевые технологии в управлении цепями поставок: методика выбора покупателя 7

*М.М. Низамутдинов, В.В. Орешников,
З.А. Давлетова*

Разработка и апробация инструментария стратегического планирования территориального развития на основе интеллектуальной адаптивной имитационной модели 25

*Р.А. Жуков, С.В. Прокочина, М.А. Плинская,
М.А. Желуницина*

Построение системы динамических нормативов для оценки функционирования сложных систем на примере субъектов Центрального федерального округа 46

Н.Н. Середенко

Разработка высокоуровневого дизайна программно-аналитического комплекса предприятия, обеспечивающего сквозное планирование 61

Ф. Ван, О.В. Стоянова, А. Барахас

Демистификация цифровой трансформации брокерской индустрии недвижимости в Китае: пример компании Lianjia (Beike) 81

Р.С. Рогулин

Управление ценовой политикой лесопромышленного предприятия с учетом проблем формирования цепей поставок сырья и расчета объемов производства 98



Издатель:
Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Подписной индекс
Объединенного каталога
«Пресса России» – E79128
Выпускается ежеквартально

Журнал включен в Перечень
российских рецензируемых
научных журналов,
в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук

Главный редактор
Е.П. Зараменских

Заместитель главного редактора
Э.А. Бабкин

Компьютерная верстка
О.А. Богданович

Дизайн обложки выполнен
с использованием контента (изображения),
сгенерированного Пользователем
Хрусталева И.И.
(по поручению НИУ ВШЭ),
при помощи Сервиса Kandinsky 3.0
(fusionbrain.ai).

Администратор веб-сайта
И.И. Хрусталева

Адрес редакции:
119049, г. Москва,
ул. Шаболовка, д. 26-28
Тел./факс: +7 (495) 772-9590 *28509
<http://bijournal.hse.ru>
E-mail: bijournal@hse.ru

За точность приведенных сведений
и содержание данных,
не подлежащих открытой публикации,
несут ответственность авторы

При перепечатке ссылка на журнал
«Бизнес-информатика» обязательна

Тираж:
русскоязычная версия – 100 экз.,
англоязычная версия – 100 экз.,
онлайн-версии на русском и английском –
свободный доступ

Отпечатано в типографии НИУ ВШЭ
г. Москва, Измайловское шоссе, д. 44, стр. 2

© Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

О ЖУРНАЛЕ

«**Б**изнес-информатика» – рецензируемый междисциплинарный научный журнал, выпускаемый с 2007 года Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). Администрирование журнала осуществляется Высшей школой бизнеса НИУ ВШЭ. Журнал выпускается ежеквартально, на русском и английском языках.

Миссия журнала – развитие бизнес-информатики как новой области информационных технологий и менеджмента. Журнал осуществляет распространение последних разработок технологического и методологического характера, способствует развитию соответствующих компетенций, а также обеспечивает возможности для дискуссий в области применения современных информационно-технологических решений в бизнесе, менеджменте и экономике.

Журнал публикует статьи по следующей тематике: моделирование социальных и экономических систем, цифровая трансформация бизнеса, управление инновациями, информационные системы и цифровые технологии в бизнесе, анализ данных и системы бизнес-интеллекта, математические методы и алгоритмы бизнес-информатики, моделирование и анализ бизнес-процессов, поддержка принятия управленческих решений.

Журнал «Бизнес-информатика» включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (Перечень ВАК).

Журнал входит в базы Scopus, Web of Science Emerging Sources Citation Index (WoS ESCI), Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (RSCI), EBSCO.

Журнал распространяется как в печатном виде, так и в электронной форме.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Зараменских Евгений Петрович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Бабкин Эдуард Александрович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Нижний Новгород, Россия

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Авдошин Сергей Михайлович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Акопов Андраник Сумбатович

Центральный экономико-математический институт РАН,
Москва, Россия

Алескеров Фуад Тагиевич

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Афанасьев Александр Петрович

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
РАН, Москва, Россия

Афанасьев Антон Александрович

Центральный экономико-математический институт РАН,
Москва, Россия

Баранов Александр Павлович

Главный научно-исследовательский вычислительный центр
Федеральной налоговой службы, Москва, Россия

Бараннин Владимир Борисович

Федеральный исследовательский центр информационных
и вычислительных технологий, Новосибирск, Россия

Беккер Йорг

Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Вестнер Маркус

Технический университет прикладных наук,
Регенсбург, Германия

Гаврилова Татьяна Альбертовна

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Глотен Эрве

Тулонский университет, Ла-Гард, Франция

Гурвич Владимир Александрович

Ратгерский университет (Университет Нью-Джерси),
Ратгерс, США

Джейкобс Лоренц

Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Дискин Иосиф Евгеньевич

Всероссийский центр изучения общественного мнения,
Москва, Россия

Зандкуль Курт

Университет Ростока, Росток, Германия

Иванников Александр Дмитриевич

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН,
Москва, Россия

Исаев Дмитрий Валентинович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Калягин Валерий Александрович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Нижний Новгород, Россия

Кравченко Татьяна Константиновна

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Кузнецов Сергей Олегович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Лугачев Михаил Иванович

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Лин Квей-Жей

Технологический институт Нагои, Нагоя, Япония

Мальцева Светлана Валентиновна

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Мейор Питер

Комиссия ООН по науке и технологиям, Женева,
Швейцария

Миркин Борис Григорьевич

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Назаров Дмитрий Михайлович

Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

Пальчунов Дмитрий Евгеньевич

Новосибирский государственный университет, Новосибирск,
Россия

Пардалос Панайот (Панос)

Университет Флориды, Гейнсвилл, США

Пастор Оскар

Политехнический университет Валенсии, Валенсия,
Испания

Посегга Йоахим

Университет Пассау, Пассау, Германия

Самуйлов Константин Евгеньевич

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Стоянова Ольга Владимировна

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Санкт-Петербург, Россия

Триболе Жозе

Университет Лиссабона, Лиссабон, Португалия

Ульянов Михаил Васильевич

AVECO, Любляна, Словения

Ускенбаева Раиса Кабиевна

Казахский национальный исследовательский технический
университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Цуканова Ольга Анатольевна

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Чхартишвили Александр Гедеванович

Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия

ISSN 1998-0663 (print), ISSN 2587-8166 (online)

English version: ISSN 2587-814X (print), ISSN 2587-8158 (online)

BUSINESS INFORMATICS

HSE Scientific Journal

CONTENTS

V.A. Nazarkina, V.Yu. Shchekoldin

Neural network technologies in supply chain management: Consumer selection technique..... 7

*M.M. Nizamutdinov, V.V. Oreshnikov,
Z.A. Davletova*

Development and testing of the toolkit of strategic planning of territorial development on the basis of an intelligent adaptive simulation model..... 25

*R.A. Zhukov, S.V. Prokopchina,
M.A. Plinskaya, M.A. Zhelunitsina*

Building a system of dynamic norms for evaluating the functioning of complex systems on the example of the regions of the Central Federal District 46

N.N. Seredenko

Development of a high-level design of an analytical software complex for an enterprise that provides end-to-end planning..... 61

F. Wang, O.V. Stoianova, A.Barajas

Demystifying the digital transformation of the real estate brokerage industry in China: A case study of Lianjia (Beike) 81

R.S. Rogulin

Management of pricing policy of a timber enterprise considering the problems of formation of raw material supply chains and determining production volumes 98

Vol. 18 No. 4 – 2024



Publisher:
HSE University

The journal is published quarterly

The journal is included into the list of peer reviewed scientific editions established by the Supreme Certification Commission of the Russian Federation

Editor-in-Chief
E. Zaramenskikh

Deputy Editor-in-Chief
E. Babkin

Computer making-up
O. Bogdanovich

The cover design is made using the content (image) generated by the User I. Khrustaleva (on behalf of HSE University), using the Kandinsky 3.0 Service (fusionbrain.ai).

Website administration
I. Khrustaleva

Address:
26-28, build. 4, Shablovka Street
Moscow 119049, Russia

Tel./fax: +7 (495) 772-9590 *28509
<http://bijournal.hse.ru>
E-mail: bijournal@hse.ru

Circulation:
English version – 100 copies,
Russian version – 100 copies,
online versions in English and Russian – open access

Printed in HSE Printing House
44, build. 2, Izmaylovskoye Shosse,
Moscow, Russia

© HSE University

ABOUT THE JOURNAL

Business Informatics is a peer reviewed interdisciplinary academic journal published since 2007 by HSE University, Moscow, Russian Federation. The journal is administered by HSE Graduate School of Business. The journal is issued quarterly, in English and Russian.

The mission of the journal is to develop business informatics as a new field within both information technologies and management. It provides dissemination of latest technical and methodological developments, promotes new competences and provides a framework for discussion in the field of application of modern IT solutions in business, management and economics.

The journal publishes papers in the following areas: modeling of social and economic systems, digital transformation of business, innovation management, information systems and technologies in business, data analysis and business intelligence systems, mathematical methods and algorithms of business informatics, business processes modeling and analysis, decision support in management.

The journal is included into the list of peer reviewed scientific editions established by the Supreme Certification Commission of the Russian Federation.

The journal is included into Scopus, Web of Science Emerging Sources Citation Index (WoS ESCI), Russian Science Citation Index on the Web of Science platform (RSCI), EBSCO.

The journal is distributed both in printed and electronic forms.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF

Evgeny P. Zaramenskikh
HSE University, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Eduard A. Babkin
HSE University, Nizhny Novgorod, Russia

EDITORIAL BOARD

Sergey M. Avdoshin

HSE University, Moscow, Russia

Andranik S. Akopov

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Fuad T. Aleskerov

HSE University, Moscow, Russia

Alexander P. Afanasyev

Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Anton A. Afanasyev

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vladimir B. Barakhnin

Federal Research Center of Information and Computational Technologies, Novosibirsk, Russia

Alexander P. Baranov

Federal Tax Service, Moscow, Russia

Jörg Becker

University of Munster, Munster, Germany

Alexander G. Chkhartishvili

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Tatiana A. Gavrilova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Hervé Glotin

University of Toulon, La Garde, France

Vladimir A. Gurvich

Rutgers, The State University of New Jersey, Rutgers, USA

Laurence Jacobs

University of Zurich, Zurich, Switzerland

Iosif E. Diskin

Russian Public Opinion Research Center, Moscow, Russia

Dmitry V. Isaev

HSE University, Moscow, Russia

Alexander D. Ivannikov

Institute for Design Problems in Microelectronics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Valery A. Kalyagin

HSE University, Nizhny Novgorod, Russia

Tatiana K. Kravchenko

HSE University, Moscow, Russia

Sergei O. Kuznetsov

HSE University, Moscow, Russia

Kwei-Jay Lin

Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Mikhail I. Lugachev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Svetlana V. Maltseva

HSE University, Moscow, Russia

Peter Major

UN Commission on Science and Technology for Development, Geneva, Switzerland

Boris G. Mirkin

HSE University, Moscow, Russia

Dmitry M. Nazarov

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Dmitry E. Palchunov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Panagote (Panos) M. Pardalos

University of Florida, Gainesville, USA

Óscar Pastor

Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain

Joachim Posegga

University of Passau, Passau, Germany

Konstantin E. Samouylov

Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

Kurt Sandkuhl

University of Rostock, Rostock, Germany

Olga Stoyanova

HSE University, St. Petersburg, Russia

José M. Tribolet

Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Olga A. Tsukanova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Mikhail V. Ulyanov

AVECO, Ljubljana, Slovenia

Raissa K. Uskenbayeva

Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan

Markus Westner

Technical University for Applied Sciences (OTH Regensburg), Regensburg, Germany

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.7.24

Нейросетевые технологии в управлении цепями поставок: методика выбора покупателя*

В.А. Назаркина 

E-mail: valeria71@bk.ru

В.Ю. Щеколдин 

E-mail: schekoldin@corp.nstu.ru

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Аннотация

Эффективность управления цепями поставок зависит, в том числе, от выбора и слаженного взаимодействия с покупателями продукции. Статья посвящена разработке методики выбора покупателя на региональном оптово-розничном рынке топлива. Методологической базой исследования является теория многомерного статистического анализа и нейронных сетей. Основным инструментом для разработки методики послужили нейросетевые технологии, при помощи которых можно корректно оценить границы диапазона значений показателей, характеризующих потребителей и отражающих их историю покупательского поведения, для выбора потенциальных клиентов и возможности дальнейшего сотрудничества с уже существующими. Информационную базу работы составили данные о покупателях продукции, данные электронного справочника 2ГИС, результаты проведенного первичного статистического анализа и построения прогнозов, сделанных на основе нейросетей различной топологии. Предложена авторская методика выбора покупателя, имеющая потенциал развития и использования для решения ряда других управленческих задач. В рамках апробации была определена наиболее подходящая конфигурация нейросети, и оценены стандартные значения входных барьеров для выбора покупателя. Апробация разработанной методики была проведена на примере компании, функционирующей на оптово-розничном рынке топлива в г. Новосибирске и Новосибирской области. В процессе верификации модели нейронной сети было проведено сопоставление качества классификации клиентов на основе моделей логистической регрессии, дерева принятия решений и случайного леса, и обнаружено, что нейросетевой подход обеспечивает наилучшие результаты оценивания степени пригодности клиентов. Разработаны рекомендации по совершенствованию нейросетевых моделей, включающие расширение набора факторов, которые определяют характеристики потребителей, а также оптимизацию внутренней структуры нейронных сетей.

* Статья опубликована при поддержке Программы НИУ ВШЭ «Университетское партнерство»

Ключевые слова: нейронные сети, управление цепями поставок, логистика распределения, методика выбора покупателя, обучение нейросети

Цитирование: Назаркина В.А., Шеколдин В.Ю. Нейросетевые технологии в управлении цепями поставок: методика выбора покупателя // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 7–24.

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.7.24

Введение

Непредсказуемость влияния факторов внешнего окружения ставит перед менеджментом организаций задачи, связанные с риском выбора неверного управленческого решения в различных направлениях деятельности компании. Несмотря на стремление привлечь как можно большее число покупателей и заручиться их лояльностью, организация сталкивается с проблемами сложности взаимодействия, неэффективности сделок и невыполнением договорных обязательств со стороны контрагентов. В теории и на практике выработано достаточное количество методик выбора надежного поставщика ресурсов, однако вопросами выбора покупателя ученые и представители бизнеса детально не занимаются. Зачастую решение вопроса о выборе и дальнейшей работе с ними определяется методом проб и ошибок, что в итоге сказывается на эффективности управленческих решений в области управления цепями поставок в целом и на взаимодействиях с потребителями в частности.

На сегодняшний день одним из актуальных методов решения самых разнообразных экономических и управленческих задач считается применение нейросетевых технологий. С точки зрения логистики значимыми объектами для применения нейронных сетей являются процессы управления цепями поставок, поскольку с помощью этих методов их можно оценивать, моделировать и прогнозировать развитие с заранее заданной точностью.

Цель исследования – разработка методики выбора покупателей на основе применения нейросетей и ее апробация на примере организации, функционирующей на региональном оптово-розничном рынке топлива.

1. Теоретические аспекты исследования

Нейронные сети представляют собой определенный тип моделей искусственного интеллекта, базирующийся на структуре, динамике и функциях человеческого мозга. В самом общем виде нейросети состоят из множества взаимосвязанных между собой узлов (нейронов), и используются для обработки, моделирования и анализа сложных неоднородных процессов. Нейронные сети привлекают широкое внимание и интенсивно применяются в различных областях благодаря их способности не просто анализировать данные, но и самостоятельно строить логические выводы, формировать оценочные суждения и разрабатывать прогнозные решения самого разнообразного профиля.

Исторически первые работы, связанные с приложением теорий, описывающих функционирование мозга, появились в 40–50-е года прошлого века, когда появилась необходимость построения концепций искусственных нейронов для определения их потенциала при создании сложных интеллектуальных систем. Одним из первых удачных представлений нервной системы стала предложенная Ф. Розенблаттом в 1957 году модель перцептрона [1], которая оказалась способна решать некоторые задачи распознавания. Несмотря на первые успехи модели перцептрона, в ней нашлись определенные недостатки, не дающие возможность решения на ее основе определенных типов задач. В 1970–80-х годах был разработан алгоритм обратного распространения ошибки [2], который позволил обучать более сложные сети. Среди многочисленных работ, посвященных рассматриваемым вопросам, следует отметить существенный вклад в развитие теории нейронных сетей и распознавания образов советского и российского ученого А.И. Галушкина [3].

Свою лепту в развитие и распространение нейросетевых технологий внес и XXI век, можно отметить резкое увеличение разработок, связанных с так называемым глубоким обучением (deep learning). Пионерские исследования в этой области связаны с именем Дж. Хинтона, который внес значительный вклад в разработку современных алгоритмов обучения глубоких нейронных сетей [4]. Глубокое обучение включает в себя обучение нейросетей с несколькими скрытыми слоями, в том числе с динамически меняющейся структурой, наличием внешних и внутренних топологий и т.д.

Следует отметить, что наряду с нейросетевыми моделями на практике встречаются и другие подходы, позволяющие решать различные задачи классификации. К таким методам относятся, например, построение моделей логистической регрессии, деревьев принятия решений, моделей случайного леса и т.д. [5]. Отметим, что каждый из этих подходов обладает своими преимуществами и недостатками. Рассмотрим некоторые из них.

К преимуществам моделей логистической регрессии относятся [6]: высокая степень интерпретируемости результатов, большая эффективность статистических процедур, используемых для оценивания параметров модели; гибкость при решении бинарных и многофакторных задач классификации. Модели логистической регрессии обладают и рядом недостатков: зависимость получаемых результатов от структуры входных факторов; высокая чувствительность к наличию выбросов в исходных данных; частое возникновение эффекта мультиколлинеарности.

Применение моделей деревьев принятия решений обеспечивает построение легкой и удобной интерпретации получаемых решений; универсальность вычислительной схемы для любых типов данных; робастность результатов классификации, т.е. устойчивость к выбросам в исходных данных. Минусы данного подхода состоят в том, что получаемые деревья принятия решений часто имеют сложную и запутанную структуру (склонность к переобучению); возникает неустойчивость классификации к изменениям в исходных данных; часто появляются локально-оптимальные решения, которые определяются неоднородностями исходных данных или изучаемых процессов [7].

При использовании моделей случайного леса исследователь получает следующие преимущества: возможность масштабирования и удобного распараллеливания базового алгоритма в зависимости от

свойств решаемой задачи; возможность ранжирования независимых факторов, включаемых в модель; высокую эффективность классификаций для задач больших размерностей. При этом такие модели обладают следующими недостатками: сложная и неоднозначная структура модели из-за большого разнообразия вариантов усреднения; неустойчивость к флуктуациям в исходных данных; большое число эмпирически определяемых параметров алгоритма; высокие требования к характеристикам вычислительной техники (память, быстродействие и т.д.) [8, 9].

Развитие нейросетевых технологий оказало большое влияние на сферу логистической деятельности. Многие постановки задач логистики и их методы решений претерпели существенные изменения в свете теории нейросетей, перечислим некоторые из них.

В работе [10] авторы применяют идею построения многослойной нейронной сети для анализа данных о заказах, включающих количество посещений веб-сайта компании, время посещения, а также учитывающие рабочие, будние и праздничные дни. В статье [11] рассматривается применение нейросети Хопфилда для решения задачи построения динамически оптимального маршрута в телекоммуникационной сети и предлагается эвристическое правило для остановки процесса обучения нейросети, которое позволяет эффективно ограничивать время обучения.

Нейронные сети можно применять для оптимизации выполнения складских операций. В статье [12] авторы доказывают, что при управлении складом наиболее эффективно работают сети со специальными функциями активации нейронов типа Traingdx при использовании трехслойных нейросетей с топологией 6-8-1.

Еще одной сферой применения нейросетей является анализ и прогнозирование рисков в логистике. В статье [13] рассматривается задача безопасного облета препятствий пилотируемыми и беспилотными летательными аппаратами, где автор предлагает использовать многослойную сеть последовательного распространения ошибок с тремя слоями.

Следует отметить, что среди большого числа работ, посвященных решению задач логистического характера, в которых применялись бы нейросетевые технологии, практически отсутствуют те, в которых исследованию подвергались потребители товаров и услуг. В то же время изучению истории покупательского поведения и построению классификаций потребителей уделяется достаточно большое внимание

при решении задач не из области логистики [14–17], поскольку понимание структуры клиентской базы и динамики ее изменений дает в руки компании дополнительные инструменты по совершенствованию эффективности взаимодействий с клиентами.

В современной быстроменяющейся и часто плохо прогнозируемой экономической среде компаниям приходится иметь дело с ситуациями, в которых важно определять приоритеты при сотрудничестве с теми или иными клиентами. Так, на этапе заключения контрактов, бывает необходимо своевременно выявить, является ли тот или иной клиент финансово независимым, платежеспособным, не возникнут ли сложности с выполнением заказов из-за географической удаленности, возможно ли совместное использование складских мощностей и т.д. Безусловно, анализируя историю покупательского поведения, возможно определить, какие из уже заключенных и выполненных контрактов оказались для компании выгодными, какие не привели к достижению поставленных целей, а какие и вовсе оказались провальными с точки зрения получения выручки, затрат ресурсов и времени сотрудников, отразились на ухудшении имиджа компании и т.д. Эту информацию можно использовать для того, чтобы, зная

характеристики очередного потенциального клиента, заранее определить степень выгодности сотрудничества с ним. На решение этой задачи и направлено предлагаемое исследование.

2. Методика исследования

Необходимость решения задач оптимизации логистического процесса определило возможность использования технологии нейросетей в части определения границ диапазона значений для выбора потенциального покупателя, и его значимости для компании с точки зрения прибыльности и выполнения договорных обязательств. Данное исследование было структурировано на основе эмпирического материала, собранного из вторичных и первичных источников. Для решения задач исследования были использованы метод первичного статистического анализа, корреляционно-регрессионный анализ, метод обратного распространения ошибки, методы интеллектуального анализа данных [2, 6, 18, 19].

Содержание и ожидаемые результаты от применения методики выбора покупателя представлены в *таблице 1*.

Таблица 1.

Основные этапы методики выбора покупателя с помощью нейросети

№	Название этапа	Содержание	Результат
1	Описание проблемы	Анализ этапов логистического цикла, выявление проблем	Определение необходимости поиска актуальных методов получения информации о потребителях
2	Определение факторов, влияющих на процесс выбора покупателя	Формирование набора факторов, подлежащих количественной оценке специалистами компании, экспертами, заказчиками исследования	Перечень факторов, характеризующих свойства покупателей, для построения нейросети
3	Создание базы данных по актуальным покупателям организации	Определение значений выбранных факторов для оценивания покупателей	База актуальных данных о потребителях и заключенных ими сделках для обучения нейросети
4	Первичный статистический анализ	Вычисление и интерпретация статистических характеристик факторов	Предварительные выводы о свойствах наблюдаемых объектов (потребителей)
5	Определение ролей факторов	Построение простейшей нейронной сети	Ранжированный список факторов для принятия решения по выбору покупателя
6	Построение нейросети сложной структуры	Построение нейросетей различной структуры и сравнение с результатами, получаемыми на основе других моделей классификации	Выбор наилучшей конфигурации (топологии) нейросети
7	Применение «наилучшей» нейросети для идентификации перспективных клиентов	Оценивание коридоров значений факторов, при которых определяется статус покупателя	Определение стандартных значений входных барьеров для выбора покупателя

На *первом этапе* методики необходимо описать сущность проблем в части взаимодействия с потребителями компании. Анализируются этапы логистического цикла, характерного для работы с потребителями. Проблемы, возникающие в процессе распределения продукции, могут касаться вопросов информационного взаимодействия компании с покупателями, контроля качества и перевозок, их документационного обеспечения и т.д. В результате выявления проблемы руководством организации принимается решение о поиске наилучших методов выбора покупателей.

На *втором этапе* необходимо выбрать показатели, которыми руководствуется организация, принимая решение о взаимодействии с покупателем. К факторам, характерным для выбора покупателя, можно отнести: расстояние до места поставки; количество видов продукции, подлежащих одновременной реализации; мощность оборудования; рейтинг; объем продаж за определенный период времени и т.д.

На *третьем этапе* необходимо разработать и сформировать базу данных для обучения нейросети. Для всех потенциальных потребителей компании определяются значения факторов, выбранных на втором этапе. Часть факторов оценивается путем прямых измерений соответствующих показателей, а другая часть требует получения и использования вторичной информации. Кроме того, каждый из потенциальных покупателей должен быть оценен специалистом в области логистики на предмет приоритетности выбора его как реального клиента.

Четвертый этап предполагает вычисление основных статистических характеристик, определяемых по значениям факторов построенной на третьем этапе базы данных покупателей. Для обеспечения корректности статистического анализа, в частности, для определения однородных групп, внутри которых можно говорить об определенной идентичности анализируемых объектов (покупателей), данные необходимо распределять (группировать) по классам однородности, число которых k определяется, например, по формуле Стерджеса [20]

$$k = [1 + 3,32 \lg(N)], \quad (1)$$

где N – общее число наблюдений величины (объем выборки или объем базы данных);
 $\lg(.)$ – десятичный логарифм;
[.] – операция взятия целой части числа.

В результате проводится статистический анализ значений мер положения, разброса и формы, делаются предварительные выводы о свойствах потребителей и истории их покупательского поведения.

На пятом этапе осуществляется ранжирование факторов по степени влияния на принятие решения о взаимодействии с потенциальными клиентами. Для этого строится простейшая нейросеть, состоящая из одного нейрона и входных переменных, соответствующих выбранным на третьем этапе факторам. Степень и характер влияния факторов будут определяться значениями весовых коэффициентов сети. Как правило, эффективность такой сети оказывается достаточно низкой, что не позволит применять ее для прогнозирования приоритетности клиентов. Однако она позволяет проранжировать входные факторы, что дает возможность построить качественную интерпретацию процесса принятия решений по выбору клиентов.

На шестом этапе осуществляется разработка и обучение нейросетей различной топологии для обеспечения наилучшей степени прогнозируемости «нужности» клиента. При этом необходимо рассмотреть несколько вариантов сетей, отличающихся друг от друга числом скрытых слоев, их взаимосвязями между собой, а также числом нейронов на каждом слое [21]. Результатом этого этапа будет выбор такой конфигурации нейросети, которая обеспечивает наименьший уровень ошибки при прогнозировании надежности клиентов.

Для обеспечения адекватности получаемых результатов необходимо провести сопоставление качества классификации клиентов, получаемой на основе нейросетей, и классификаций, строящихся другими методами интеллектуального анализа данных. Простейшим способом сопоставления различных классификаций является применение метода таблиц сопряженности (contingency tables) [22]. Будем считать, что наилучшей будет являться та классификация, которая обеспечивает наименьшее число ошибок прогнозирования.

На седьмом этапе наилучшая из нейросетей, построенных на шестом этапе, применяется для определения коридоров значений факторов, при которых сохраняется статус текущего клиента. Это также позволит определить стандартные (базовые) значения входных факторов для упрощения процедуры выбора нового клиента.

3. Практические аспекты исследования: апробация методики

Апробация методики проводилась на основе информации, предоставленной компанией, специализирующейся на продаже сжиженного газа населению и организациям в г. Новосибирске и Новосибирской

области. Организация также осуществляет реализацию сопутствующих товаров и услуг, проводит проектные работы, оказывает сервисные услуги и организует техническое обслуживание газопроводов природного газа.

На *первом этапе* были рассмотрены операции логистического цикла. В качестве покупателей определены автогазозаправочные станции (далее – АГЗС), расположенные на территории г. Новосибирска и Новосибирской области. Изучение логистического процесса в компании позволило обнаружить необходимость регулярной проверки информации о характеристиках покупателей, так как отсутствуют четкие границы значений факторов, которые дают возможность идентифицировать покупателей со свойствами, позволяющими их считать пригодными для сотрудничества. В связи с этим возникают ошибки, причинами которых являются, например, влияние внешних факторов, ограниченность ресурсов, ошибки специалистов и др., что может приводить к неверной идентификации покупателей и, как следствие, к принятию неверных решений по работе с ними.

Руководством организации было принято решение о поиске путей оптимизации взаимодействия с покупателями в части определения стандартных значений факторов как для текущих клиентов, так и для выбора и взаимодействия с потенциальными клиентами.

На *втором этапе* был составлен пул факторов, определяющих характеристики клиентов, учитываемые при принятии решений. В этот пул вошли следующие показатели:

- ♦ расстояние от компании до клиента (км);
- ♦ ширина ассортимента (количество видов сжиженного газа, приобретаемое клиентом);
- ♦ производственная мощность (количество колонок на АГЗС);
- ♦ рейтинг АГЗС;
- ♦ суммарный объем (емкость) основных и дополнительных цистерн на АГЗС;
- ♦ средний объем продаж топлива за сутки (тыс. л).

На *третьем этапе* разработана структура базы данных, содержащая информацию о сделках компании. База данных содержала результаты деятельности компании за период сентябрь–ноябрь 2023 г.

Специалист компании, занимающий должность руководителя отдела логистики, провел оценку выгоды совершенных сделок, в результате чего все записи базы данных были промаркированы значениями бинарной переменной, определяющей «надежность» клиентов: обозначение «1» использовалось для «подходящих» клиентов, с которыми компании выгодно сотрудничать и далее, а «0» – для «неподходящих».

На *четвертом этапе* проводился первичный статистический анализ по каждому из факторов, которые характеризуют деятельность потребителей АГЗС. Вычислялись значения мер положения (среднее, медиана), мер разброса (стандартное отклонение, нижняя и верхняя границы), мер формы (коэффициенты асимметрии и эксцесса), а также экстремальные значения (минимум и максимум), результаты сведены в *таблицу 2*.

Таблица 2.

Значения статистических характеристик факторов

Статистические показатели	Факторы и их обозначения					
	Расстояние, км	Ширина ассортимента, ед.	Производ. мощность ед.	Рейтинг, усл. ед.	Емкость цистерн, тыс. л	Объем продаж, тыс. л
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
Среднее	118,469	2,563	4,547	2,469	19,983	5,610
Медиана	51,500	2,000	4,000	2,300	17,000	4,375
Стандартное отклонение	136,189	1,344	2,949	0,920	14,351	3,749
Нижняя граница	0,000	1,219	1,598	1,549	5,632	1,861
Верхняя граница	254,658	3,907	7,496	3,389	34,334	9,359
Коэффициент асимметрии	1,687	0,531	2,09	0,633	1,986	1,428
Коэффициент эксцесса	2,535	1,035	8,054	0,141	5,649	2,335
Минимум	11	1	1	1	3,3	0,8
Максимум	628	5	18	5	85	18

Отметим, что нижняя и верхняя границы в *таблице 2* соответствуют так называемому интервалу «одна сигма» и определяются как разность и сумма среднего значения и среднеквадратического отклонения соответственно. В интервал, заключенный между этими границами, попадают наиболее вероятные значения анализируемой случайной величины, которые в случае нормального распределения составляют около 70% наблюдений выборки [7, 23].

Для обеспечения корректности анализа данные были распределены по классам однородности, число которых было определено по формуле Стерджеса (1) и оказалось равным семи. Гистограмма, представляющая собой графическую интерпретацию частотного распределения АГЗС по расстоянию до потребителей, представлена на *рисунке 1*.

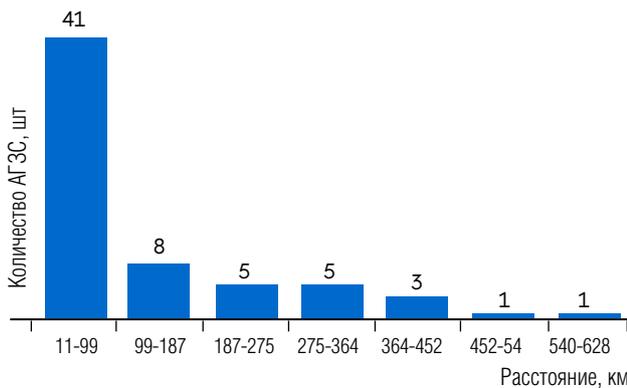


Рис. 1. Распределение потребителей по фактору «расстояние от компании до клиента».

На основе *рисунка 1* можно сделать предположение об экспоненциальности распределения расстояния до клиентов, что объясняется значительным увеличением их количества при приближении к городу. 41 АГЗС из 64 исследуемых (64%), находятся в пределах 100 км от компании. Среднее расстояние до клиентов составляет 118 км, половина всех значений укладывается в интервал от 11 км до 51,5 км, что говорит о сильном преобладании низких значений этого фактора, что подтверждается также и положительным значением коэффициента асимметрии. Наиболее вероятные значения этого показателя находятся в интервале (0–254), в него попадает 79% всех потребителей. Коэффициент эксцесса больше нуля, что говорит о достаточно хорошей прогнозируемости показателя относительно нормального распределения, поскольку большое число АГЗС сгруппировано в одном классе.

Аналогично была дана интерпретация частотных распределений числа АГЗС по остальным факторам.

Так, при анализе количества реализуемых видов топлива выяснилось, что наиболее часто встречаются АГЗС с двумя и четырьмя видами сжиженного газа (40%). Для показателя «производственные мощности» отмечено, что всего АГЗС имеют не более шести колонок. Анализируя данные о рейтинге клиентов, можно заметить не самую приятную статистику: чаще всего встречаются АГЗС с низким рейтингом (не выше 3 баллов), при этом среднее значение рейтинга находится в районе 2,5. Распределение значений объема цистерн похоже на экспоненциальное. Подавляющая часть клиентов (более 80%) имеет установленные цистерны суммарным объемом не выше 34 тыс. л. При анализе объемов суточных продаж выяснилось, что наибольшее число АГЗС характеризуется низкими продажами относительно остальных — менее 6 тыс. л газа в день. Всего шесть заправочных станций из 64 имеют среднесуточные продажи более 10 тыс. л (менее 10% от их общего числа).

После анализа исходных данных по выбранным показателям важно понять, насколько эти факторы влияют на итоговый результат («пригодность» клиента для сотрудничества). Для этой цели воспользуемся идеей построения перцептрона Розенблатта [1, 2].

На пятом этапе была построена нейросеть, состоящая из одного нейрона. В качестве функции активации нейрона (как и для всех других вариантов нейросетей, рассмотренных в работе), была взята логистическая функция в виде

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (2)$$

Выбор логистической функции обусловлен ее непрерывностью, что обеспечивает гладкость в переходной области. В качестве функционала, определяющего корректность работы нейросети, использовалась величина *ESS* — остаточная сумма квадратов [7] между оценкой специалиста (Y) и оценкой, выдаваемой нейросетью (\hat{Y}):

$$ESS = \sum_{k=1}^N (Y_k - \hat{Y}_k)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

В (3) суммирование проводится по всем записям базы данных, N — объем базы данных (число записей). Для входных факторов приняты обозначения x_1 – x_6 в порядке перечисления (*табл. 2*).

Вычисление оценок, определяемых нейросетью, проводилось на основе значения функции активации (2) от определяемых топологией нейросети линейных комбинаций значений входных переменных модели x_1-x_6 , а также любых переменных внутренних слоев нейросети. Так, например, для нейросети, состоящей из одного нейрона и имеющей шесть входных переменных, оценочное значение вероятности того, что клиент будет признан «пригодным» для сотрудничества, будет определяться как

$$\hat{Y} = \sigma(w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4x_4 + w_5x_5 + w_6x_6) = \sigma(\Sigma), \quad (4)$$

где $w_i, i = 1, \dots, 6$ – весовые коэффициенты каждого из входных факторов, определяемые путем решения задачи (3);

Σ – значение линейной комбинации входных факторов, называемое сумматором.

Минимизация значения функционала (3) проводится путем изменения неизвестных весовых коэффициентов в сумматоре w_i . Поскольку в аналитической форме задача (3) решения не имеет, нахождение оценок весовых коэффициентов проводилось численным образом [24]. На рисунке 2 представлена схема реализованной модели из одного нейрона.

Модель простейшей сети включает значения входных факторов (круги слева на рис. 2), сумматор Σ из формулы (4), а также значение функции активации (2). Результат работы нейросети определяется долей корректных прогнозов – отношением числа верных срабатываний нейросети к общему объему базы данных N (в рассматриваемом случае $N = 64$). Степень затемнения стрелок отражает силу влияния соответствующего входного фактора на результат оценивания «пригодности» клиента, чем темнее соответствующая стрелка, тем сильнее влияние фактора.

Путем минимизации суммы квадратов отклонений вероятностей принятия решения о сотрудничестве с потребителем, оцененных экспертом компании, от прогнозируемых по нейросети ее значений получены оценки значений весовых ко-

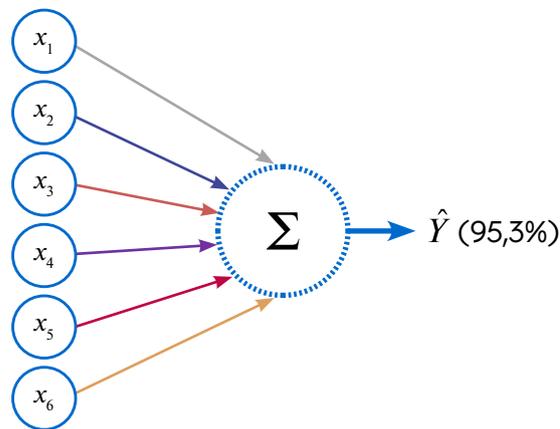


Рис. 2. Вид модели из одного нейрона.

эффициентов. В таблице 3 представлены значения оценок коэффициентов и результаты ранжирования анализируемых показателей по абсолютным величинам весовых коэффициентов.

Полученные значения весовых коэффициентов возможно интерпретировать: так, например, знак коэффициента говорит о характере зависимости. Из таблицы 3 видно, что только коэффициент w_1 оказался меньше нуля, что означает наличие отрицательной зависимости, т.е. с увеличением расстояния до потребителя вероятность принятия решения о сотрудничестве в среднем уменьшается. Остальные факторы имеют положительную зависимость с вероятностью принятия решения о сотрудничестве.

Значения коэффициентов по модулю означают «силу влияния» соответствующих факторов на принятие решения о сотрудничестве с тем или иным клиентом. Проанализируем полученные результаты.

1. Расстояние до АГЗС (фактор x_1) оказывает самое сильное влияние, его степень важности относительно всех остальных показателей составляет почти 60%. При этом оценка соответствующего ему весового коэффициента (w_1) упирается в границу допустимых значений (± 50), что означает

Таблица 3.

Оценки весовых коэффициентов нейрона и ранжирование показателей

Весовой коэффициент	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6
Оценка коэффициента	-50,000	11,101	0,671	11,639	8,600	3,744
Степень важности, %	58,305	12,944	0,783	13,573	10,029	4,366
Ранг показателя	1	3	6	2	4	5

полное его доминирование при принятии решений. Достаточно логично, что компании не имеет смысла организовывать доставки на большие расстояния.

2. Рейтинг АГЗС (фактор x_4) занимает второе место, на него приходится чуть более 13% важности. Безусловно, чем выше репутация и оценки компании от клиентов, тем более надежной она является.
3. Разнообразие видов топлива на АГЗС (фактор x_2) стоит на третьем месте, немного уступая рейтингу (менее 13% важности). Важность данного фактора обуславливается более высокой финансовой стабильностью компании в случае наличия широкого ассортимента топлива для клиентов.
4. Объем цистерн (фактор x_5) располагается на четвертом месте. Влияние этого фактора подтверждается «удобством» выбранной АГЗС для сотрудничества. В какой-то степени этот показатель можно рассматривать как объем склада для торговой компании: он должен быть достаточным (как и запасы в нем), чтобы компания могла осуществлять свою деятельность без почасовой доставки продукции. Для АГЗС ситуация аналогичная. Путем оптимизации можно минимизировать необходимый объем цистерн, но доставка продукции при помощи систем типа just-in-time [25] может быть достаточно сложной по причине специфики перевозимых грузов, поэтому будет важно иметь запасные емкости для хранения газа.
5. Суточный объем продаж газа (фактор x_6) находится на предпоследнем месте (менее 5% важности), что несколько удивляет. Влияние этого показателя должно быть очевидным, ведь чем больше оборот компании, тем выше ее стабильность. Однако важно понимать, что все компании (равно как и АГЗС) находятся в разных ситуациях. Так, для мощных станций на шесть и более колонок, располагающихся в центре города, высокий, с первого взгляда, оборот может на самом деле оказаться достаточно низким по сравнению с близко расположенными к нему другими клиентами.
6. Производственная мощность АГЗС (фактор x_3) занимает последнее место (важность менее 1%). Как и предыдущий показатель, он не имеет четких рамок, поэтому как фактор он не является сильным. В целом большее число колонок является возможностью для развития компании, что может сыграть свою роль в долгосрочной перспективе.

Отметим, что полученные при помощи нейросети оценки корректно отражают мыслительный

процесс специалиста, который занимается этим вручную. Анализируя результаты работы нейросети, следует отметить, что из 64 записей базы данных о клиентах компании нейрон ошибся только в трех, что составляет 4,7% ошибок. Для понимания причин этих ошибок нужно рассмотреть результаты и выявить особенности этих АГЗС. Во всех трех случаях оценка вероятности «надежности» клиента, выдаваемая нейросетью, была более 0,9, т.е. она была более чем уверена в их «пригодности» для сотрудничества.

Первая АГЗС обладает невысокими значениями почти всех показателей, однако она имеет высокий рейтинг, что, скорее всего и послужило причиной такой оценки. Очевидно, что рейтинги, предоставляемые специальными сервисами – самый ненадежный показатель, поскольку в целом ряде случаев они или нерепрезентативны из-за малого числа усредняемых оценок, или некорректны из-за использования определенных схем «накручивания» нужных значений.

Вторая АГЗС обладает хорошими значениями показателей, однако специалист компании отметил, что с данной станцией они не сотрудничают, поскольку другой филиал находится ближе к клиенту, и взаимодействие осуществляется через них.

Третья АГЗС была оценена положительно, но специалист негативно оценил опыт работы с этой компанией потому, что станция находится в процессе запуска, данные по ней противоречивы, и нужно больше времени для подписания договоров. Такая ситуация не является ошибкой, однако в свете повышения распознавательных способностей нейросети можно порекомендовать добавить проверку на время работы АГЗС на рынке.

На шестом этапе для исключения ошибочных срабатываний нейросети было решено рассмотреть более сложные варианты, добавив внутренние слои из разного числа нейронов, наиболее подходящим вариантом оказалась топология с семью нейронами 4-2-1 (рис. 3).

Выбранная топология позволила успешно описать процесс взаимодействия выбранных показателей, при этом расхождений между оценками специалиста и результатами работы нейросети выявлено не было. Более темные стрелки связей нейронов в сети соответствуют третьему нейрону первого слоя и шестому нейрону второго, при этом разница влияния значений нейронов второго слоя на выход нейросети составляет лишь 18,4%. Также

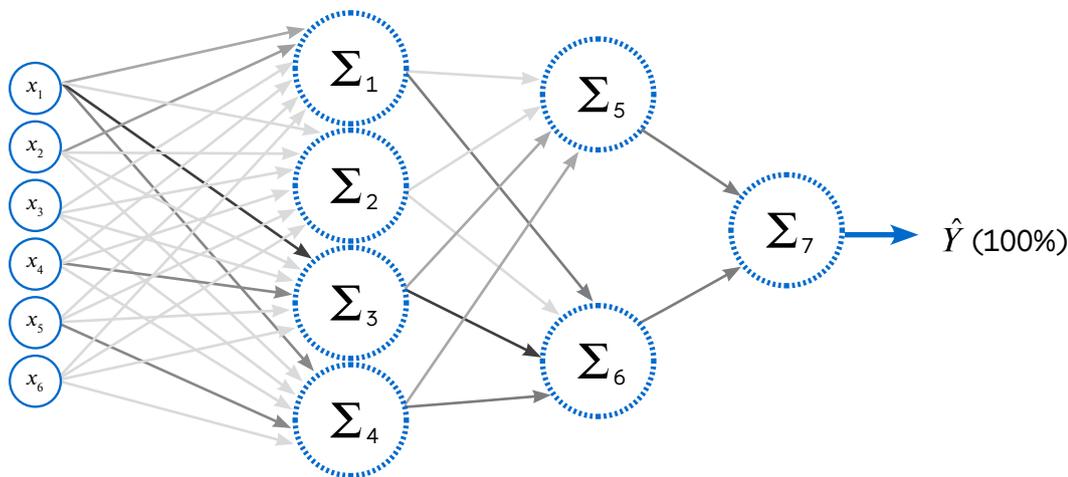


Рис. 3. Вид модели нейросети по топологии 4-2-1.

отметим, что значения пятого нейрона оказывают отрицательное влияние на результат, а шестого – положительное. К сожалению, этот факт нельзя использовать для интерпретации результатов (как это было для нейросети из одного нейрона), поскольку значения каждого из нейронов внутренних слоев складываются под влиянием предыдущих слоев нелинейным образом из-за выбранной функции активации в виде логистической функции (2).

В целях обеспечения адекватности получаемых результатов, помимо модели нейросети были построены классификации клиентов при помощи логистической регрессии, деревьев принятия решений и случайного леса. Для разработки и идентификации соответствующих моделей был использован свободно распространяемый программный комплекс Orange Data Mining интеллектуального анализа данных [19].

Для построения наилучшей модели логистической регрессии был выбран метод максимального правдоподобия как наиболее часто применяемый в подобных ситуациях. В рамках данного исследования был рассмотрен стандартный вариант линейной по параметрам и входным факторам регрессионной модели.

Что касается построения модели при помощи методов дерева решений и случайного леса, то были рассмотрены различные варианты деревьев, качество классификаций, строимых на их основе, определялось при помощи стандартного показателя – меры F_1 [4, 19, 22]. При этом для обеспечения построения эффективных деревьев классификации были рассмотрены деревья с различными параметрами, результаты представлены в *таблице 4* и *таблице 5*. Кроме того, в *таблице 6* приведены результаты сопоставления классификаций по наилучшим результатам полученных моделей.

В *таблице 4* представлены результаты оценивания качества моделей, построенных по методу дерева решений. Здесь использованы следующие обозначения: a – минимальное число элементов в одном листе дерева; b – количество элементов в листе, при котором не производится дальнейшее разбиение; F_1 – значение меры качества классификаций. В *таблице 4* и *таблице 5* жирным шрифтом выделены варианты классификаций, которые оказываются наилучшими с точки зрения максимального значения меры качества. В *таблице 5* представлены данные результатов оценивания качества моделей, построенных по методу случайного леса. В скобках после меры F_1 указано число деревьев соответствующего случайного леса.

Таблица 4.

Параметры модели дерева решений и качество получаемых классификаций

a	2		4		6	8	10	
b	2, 4, 6	8	10	4, 6, 8	10	6, 8, 10	8, 10	10
F_1	0,876	0,891	0,857	0,889	0,857	0,842	0,842	0,844

Таблица 5.

Параметры моделей случайного леса и качество получаемых классификаций

<i>a</i>	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	8	10
<i>b</i>	2	4	6	8	10	4	6	8	10	6	8	10	8	10	10
$F_1(10)$	0,840	0,840	0,855	0,855	0,870	0,874	0,889	0,859	0,874	0,889	0,859	0,874	0,859	0,874	0,874
$F_1(50)$	0,904	0,904	0,904	0,889	0,889	0,874	0,904	0,874	0,874	0,889	0,874	0,874	0,874	0,874	0,874
$F_1(100)$	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,874	0,889	0,889	0,874	0,874	0,889	0,874	0,889	0,874	0,871

Отметим, что при некоторых комбинациях параметров случайного леса результирующие классификации оказываются одинаковыми, что отражается в значениях F_1 -меры. Кроме того, дальнейшее увеличение числа деревьев в лесе не приводит к изменениям в значениях меры качества классификаций, что является логичным следствием усреднения свойств получаемых деревьев.

Результаты классификации по перечисленным методам представлены в *таблице 4*, где обозначение «1» использовалось для «подходящих» клиентов, с которыми компании выгодно сотрудничать, а «0» – для «неподходящих». При этом «наблюдаемые значения» соответствуют оценкам специалиста, а «прогнозируемые» – результатам классификаций по рассматриваемым методам.

Из *таблицы 6* видно, что применение логистической регрессии привело к шести ошибкам (9,4% ошибок), три из которых возникли для «подходящих» клиентов, а другие три – для «неподходящих»; при использовании метода дерева решений число ошибок для «подходящих» клиентов составило два, а «неподходящих» – пять (итого – 10,9% ошибок); метод случайного леса привел к появлению

четырёх ошибок для «неподходящих» клиентов (всего 7,8% ошибок). В целом можно отметить, что методы, альтернативные нейросетевому, не обеспечили полного совпадения оценок эксперта и результатов классификации. Это позволяет сделать вывод о том, что для решения рассматриваемой задачи модель нейросети является наиболее подходящей для оценивания качества клиентов.

Необходимо понимать, что для проверки корректности работы нейронной сети недостаточно использовать только набор данных, который имеется на текущий момент. Важно обеспечить сохранение ее прогностических свойств для новых порций данных, что со статистической точки зрения означает обеспечить адекватность модели [6]. Поэтому после окончания обучения нейросети для проверки ее работоспособности были взяты десять новых АГЗС, контракты с которыми были заключены в процессе проведения исследования, и которые, естественно, не попали в первоначальную базу данных. Результаты работы нейросети (в виде оценок вероятности «пригодности» клиента и окончательной оценки) были сопоставлены с оценками специалиста (*табл. 7*).

Таблица 6.

Оценка качества методов классификации

		Прогнозируемые по логистической регрессии		Прогнозируемые по дереву решений		Прогнозируемые по методу случайного леса		Σ
		0	1	0	1	0	1	
Наблюдаемые значения	0	20	3	18	5	19	4	23
	1	3	38	2	39	0	41	41
	Σ	23	41	20	44	19	45	64

Таблица 7.

Сравнение оценок нейросети и эксперта по новым клиентам

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оценка эксперта	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Оценка вероятности	0,954	0,121	0,851	0,884	0,732	0,999	0,411	0,970	0,804	0,925
Оценка нейросети	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1

Нейросеть верно оценила девять позиций из десяти, ошибка совершена с седьмой станцией, погрешность в оценке вероятности составляет менее одной десятой (0,411 против 0,500, что было бы достаточно для признания АГЗС пригодной для сотрудничества). Эта станция обладает высоким рейтингом (4), реализует пять видов топлива и имеет среднюю мощность (четыре колонки). Однако она расположена в 149 км от компании и имеет установленные цистерны относительно невысокой емкости (порядка 16 тыс. л). Объем продаж газа составляет менее 6 тыс. л, т.е. данная АГЗС весьма средняя, но неоднозначная по характеристикам.

Нейросеть оценила, что сотрудничество с таким клиентом не будет выгодным, но специалист компании решил, что она подходит. Это противоречие может быть признаком того, что для данной АГЗС, возможно, следует провести более тщательное изучение ее возможностей для обеспечения успешного сотрудничества с компанией. При накоплении определенного числа таких «спорных» ситуаций может быть принято решение о переобучении нейросети на более обширной базе данных, либо, если результаты продолжают не соответствовать действительности, то может потребоваться более радикальное действие – изменение топологии нейросети и полное ее переобучение.

На седьмом этапе для самостоятельного анализа клиента на соответствие требованиям компании можно использовать список пороговых значений для каждого показателя, который поможет быстро оценить, насколько клиенты со значениями факторов, близкими к средним, подходят для дальнейшего анализа.

Для построения такого перечня при помощи разработанной нейросети были поочередно определены диапазоны значений показателей, при которых «пригодность» клиента сохраняется, при этом значения всех остальных характеристик были зафиксированы на средних уровнях (табл. 2). На ос-

новании весовых коэффициентов нейросеть самостоятельно рассчитывает значения, при которых оценка вероятности \hat{Y} (оценка «надежности клиента») будет в промежутке от 0,5 до 1, что соответствует принятию решения о том, что клиент подходит для сотрудничества. Таким образом, составим таблицу пороговых значений (табл. 8), которая может использоваться в качестве подсказки для специалиста при проведении оценивания степени пригодности клиента.

Сопоставляя данные в таблице 2 и таблице 8, можно заключить, что результаты моделирования, полученные в ходе исследования, позволяют говорить о корректности применения нейросетей для задач выбора покупателей в оптово-розничной торговле продуктами нефтегазовой сферы.

4. Обсуждение результатов

В процессе апробации разработанной методики возникла необходимость в построении дополнительной интерпретации полученных результатов, не только в части получения аналитических и статистических выводов, но и для разработки наглядных и конкретных рекомендаций по взаимо-

Таблица 8.

Перечень пороговых значений показателей клиентов

Наименование фактора	Допустимое значение	
	min	max
Расстояние до клиента, км	–	156
Широта ассортимента, ед.	2	–
Производственная мощность, ед.	1	–
Рейтинг АГЗС (по 5-балльной шкале)	1,1	–
Емкость цистерн, тыс. л	20	–
Объем продаж, тыс. л	5,6	–

действию с клиентами компании. Так, например, интерес представляет построение географической интерпретации полученных результатов, например, изобразив на карте примерную зону покрытия компании и проанализировать ее. Радиус этой зоны, согласно *таблице 8*, составляет 156 км.

Предельное значение расстояния можно назвать важнейшим показателем, поскольку он основан на факторе, имеющем наибольший вес в нейросети. Оно определяет, насколько далеко расположены потенциальные клиенты и, отчасти, насколько удобен доступ к автозаправочным газовым станциям (АГЗС) для них. Эта величина играет ключевую роль для компании, поскольку она напрямую влияет на стоимость транспортировки газа до потребителей, что, в свою очередь, может существенно повлиять на их собственные расходы.

Для уточнения показателя «расстояние до клиента» можно добавить новую характеристику, учитывающую направление расположения клиента относительно местоположения компании. Однако при этом важно понимать, что весовой коэффициент нового показателя будет «отнимать» часть силы старого, так как они учитывают похожие особенности клиентов.

Другой вариант решения данной проблемы состоит в замене имеющегося показателя на четыре новых, каждый из которых является расстоянием в определенном направлении (например, север-юг-запад-восток). Тогда расстояние до каждой АГЗС будет учитываться по одному—двум отдельным показателям (например, городские заправочные станции будут преимущественно расположены по направлению на запад, север или юг вследствие специфики географии г. Новосибирска). Такой подход позволит определить более точные пограничные значения расстояний и поможет в более четком оценивании зоны покрытия, которая, предположительно, будет вытянутой в разные стороны. Например, максимально возможное расстояние на восток, в сторону Новосибирска, будет заметно больше, чем на запад, так как большая часть города, и, соответственно, возможные клиенты компании, расположены на восточном берегу реки Обь.

Важно понимать, что определение переходного значения расстояния является сложной задачей и может зависеть от множества факторов (транспортная инфраструктура, плотность населения, топография местности и др.). Поэтому при принятии решения о сотрудничестве с АГЗС необходи-

мо учитывать эти факторы и проводить подробный анализ рынка и соответствующей инфраструктуры.

Пороговое количество видов топлива важно для заправочных станций, поскольку оно влияет на потребительский сервис и эффективность управления запасами топлива. Этот показатель может зависеть от разных факторов, таких как местоположение АГЗС и потребности местных жителей. Обычно на удаленных станциях предлагается не более двух—трех видов топлива для автомобилей, что соответствует найденному пороговому значению в два вида топлива. Если станция осуществляет заправку газом, то одновременно осуществляется и его реализация в баллонах, что может быть удобным для владельцев автомобилей, которые используют газ как в качестве топлива, так и для бытовых нужд.

Нижнее пороговое значение мощности АГЗС оказалось равным единице, что, скорее всего, вызвано малой степенью его важности (0,783%, *табл. 3*). Однако если на станции слишком мало колонок, то она может оказаться недостаточной для обеспечения потребностей всех пользователей. С другой стороны, слишком высокая мощность может привести к избыточным затратам на строительство и обслуживание АГЗС. Поэтому перед выбором мощности АГЗС рекомендуется провести анализ потребностей пользователей, доступности газопроводов и других факторов, чтобы выбрать оптимальную мощность, которая будет соответствовать требованиям всех заинтересованных сторон и обеспечивать максимальную эффективность и экономичность использования АГЗС.

Минимально возможный рейтинг АГЗС составил 1,1 балла по пятибалльной шкале, что оказывается весьма низким и является следствием низкого уровня удовлетворенности клиентов, выраженных в отзывах об АГЗС. Для получения более объективной картины о качестве сервиса и уровне удовлетворенности клиентов на АГЗС, необходимо изучить отзывы из 2ГИС и других источников, используя при этом средневзвешенную оценку, учитывающую репутацию и надежность источников, а также их количество.

Пороговое значение объема установленных на станциях цистерн равно 20 тыс. л, что вполне соответствует объемам средних АГЗС (*табл. 2*, среднее равно 19,983 тыс. л). Однако, если расходы заметно превышают ожидания, то установленных емкостей может хватать не более чем на день, что повлечет за собой частые дозаправки по несколько раз в день,

что может потребовать установки дополнительных цистерн для увеличения общей емкости.

Минимальные допустимые дневные продажи на АГЗС – это важный показатель, который определяет минимальный объем топлива, который должен быть продан (и, соответственно, быть в наличии на момент продажи), чтобы станция могла оставаться рентабельной. Для среднестатистических АГЗС минимальные допустимые дневные продажи составляют 5600 литров. Однако такая величина является достаточно низкой для городских станций, которые обслуживают большое количество автомобилей. В то же время для АГЗС на окраинах города или в малонаселенных районах, где объем продаж топлива ниже, такое значение будет более чем достаточным.

В дальнейших модификациях нейросети имеет смысл заменить этот показатель на более объективный, такой как отношение величины продаж к численности населения того района, в котором располагается АГЗС, чтобы учитывать потенциальный спрос на топливо в конкретном районе. Кроме того, можно рассчитать отдельные показатели для города и области, учитывая особенности регионального рынка топлива.

Дополнительный интерес представляет также исследование при помощи нейросети того, как могут меняться величины пороговых значений при изменении не только одного, но и двух (трех и т.д.) других показателей одновременно. Пример подобного расчета, проведенного при помощи методов регрессионного анализа для построения соответствующих зависимостей [6], представлен на *рисунке 4*.

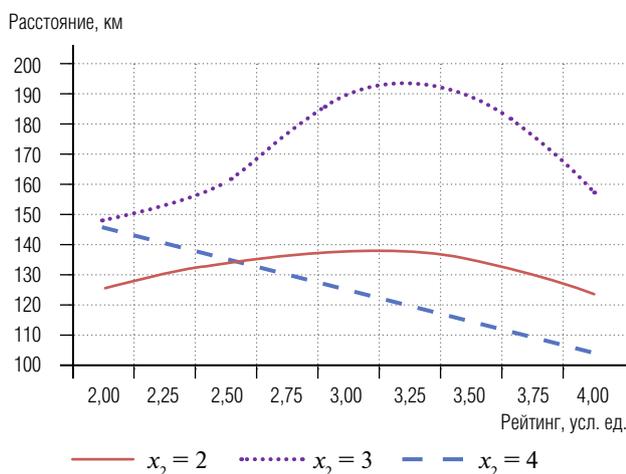


Рис. 4. Сравнение верхних пороговых значений расстояния в зависимости от рейтинга и числа видов топлива.

Анализируя *рисунок 4*, можно говорить о том, что характер изменения максимально возможного расстояния существенно меняется: для потребителей, реализующих четыре вида топлива ($x_2 = 4$) с увеличением рейтинга расстояние уменьшается, тогда как при трех или четырех видах топлива – сначала увеличивается, а потом уменьшается. Более того, можно определить максимально допустимое расстояние, которое для клиентов с $x_2 = 2$ равно 193 км, а для клиентов с $x_2 = 3$ – 138 км.

Полученные пороговые значения могут использоваться для быстрой оценки клиентов при заключении договора. При дальнейшей разработке нейросети факторы могут изменяться как количественно, так и качественно, поэтому своевременное обновление пула входных факторов и содержимого базы данных будет позволять получать более корректные оценки клиентов.

Заключение

Результатом применения авторской методики является построение модели принятия решения о выборе покупателей, с которыми компания планирует дальнейшее взаимовыгодное сотрудничество. С этой целью был сформирован пул факторов, характеризующих потребителей и их покупательское поведение. На основе базы данных о покупателях компании и экспертных оценок, определяющих их надежность, были разработаны нейронные сети, позволяющие оценивать перспективность сотрудничества с клиентами. При их помощи была решена задача ранжирования факторов, характеризующих потребителей, относительно степени и характера их влияния на процесс принятия решения о надежности того или иного клиента.

По результатам обучения нейросетей была выбрана сеть «наилучшей» топологии, которая обеспечила корректное прогнозирование для всех записей базы данных. Сравнение результатов работы этой нейросети с классификациями, построенными на основе других методов интеллектуального анализа данных, позволило сделать вывод о наилучшей адекватности модели нейросети для решения рассматриваемой задачи.

Построенная нейросеть была использована для определения пороговых значений входных факторов модели. Это позволило разработать рекомендации для сотрудников компании по отбору предложений о сотрудничестве с потребителями.

Дальнейшее совершенствование предложенной методики может заключаться в расширении пула входных факторов за счет привлечения новых характеристик потребителей, в том числе и предлагаемых в настоящей работе, а также путем расщепления имеющихся факторов на несколько составляющих, каждая из которых характеризует определенную специфику потребителей. Кроме того, для нейросетей с большим числом входных переменных име-

ет смысл рассматривать более сложные топологии, которые могут включать не только дополнительные внутренние слои, но и обратные связи.

Разработанная методика вследствие своей универсальности может быть рекомендована для решения различных классификационных задач не только в сфере логистики, но и для широкого спектра проблем экономического и управленческого характера. ■

Литература

1. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга. Пер. с англ. М: Мир, 1965.
2. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning internal representations by error propagation // *Parallel Distributed Processing*, Cambridge, MA, MIT Press, 1986. Vol. 1. P. 318–362. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-1446-7.50035-2>
3. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. М.: Горячая линия – Телеком, 2010.
4. Hinton G., Le Cun Y., Bengio Y. Deep learning // *Nature*. 2015. Vol. 521. P. 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
5. Севастьянов Л.А., Щетинин Е.Ю. О методах повышения точности многоклассовой классификации на несбалансированных данных // *Информатика и ее применения*. 2020. Т. 14. №. 1. С. 63–70. <https://doi.org/10.14357/19922264200109>
6. Тимофеев В.С., Фаддеенков А.В., Щеколдин В.Ю. Эконометрика. М.: Юрайт, 2016.
7. Цой М.Е., Щеколдин В.Ю. Маркетинговые исследования: методы анализа маркетинговой информации. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021.
8. Breiman L. Random forests // *Machine Learning*. 2001. Vol. 45. No. 1. P. 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
9. Чистяков С.П. Случайные леса: обзор // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2013. № 1. С. 117–136.
10. Abbate R., Manco P., Caterino M., Fera M., Macchiaroli M. Demand forecasting for delivery platforms by using neural network // *IFAC-Papers OnLine*. 2022. Vol. 55. No. 10. P. 607–612. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.465>
11. Данильченко М.Н., Муравник А.Б. Нейросетевой подход к построению маршрута в автоматизированной системе управления специального назначения // *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*. 2021. Т. 13. № 1. С. 58–66.
12. Sustrova T. A suitable artificial intelligence model for inventory level optimization // *Trends Economics and Management*. 2016. Vol. 10(25). P. 48–55. <https://doi.org/10.13164/trends.2016.25.48>
13. Михайлин Д.А. Нейросетевой алгоритм безопасного облета воздушных препятствий и запрещенных наземных зон // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2017. Т. 20. № 4. С. 18–24. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2017-20-4-18-24>
14. Hughes A. *Boosting Response with RFM*. New York: Marketing Tools, 1996.
15. Griffin J. *Customer loyalty: how to earn it, how to keep it*. San Francisco, CA: Jossey Bass, 1996.
16. Guo Li. A research on influencing factors of consumer purchasing behaviors in cyberspace // *International Journal of Marketing Studies*. 2011. Vol. 3. No. 3. P. 182–188. <https://doi.org/10.5539/ijms.v3n3p182>
17. Цой М.Е., Щеколдин В.Ю., Лежнина М.Н. Построение сегментации на основе модифицированного RFM-анализа для повышения лояльности потребителей // *Российское предпринимательство*. 2017. Т. 18. № 21. С. 3113–3134. <https://doi.org/10.18334/rp.18.21.38506>
18. Сондерс М., Льюис Ф., Торнхилл Э. Методы проведения экономических исследований. Пер. с англ. М.: ЭКСМО, 2006.
19. Orange: Data mining toolbox in Python / J. Demsar [et al.] // *Journal of Machine Learning Research*. 2013. Vol. 14. P. 2349–2353.
20. Sturges H. The choice of a class-interval // *Journal of the American Statistical Association*. 1926. Vol. 21. P. 65–66. <https://doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>
21. Neural networks: An overview of early research, current frameworks and new challenges / A. Prieto [et al.] // *Neurocomputing*. 2016. Vol. 214. P. 242–268. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.06.014>
22. Аптон Г. Анализ таблиц сопряженности. М.: Финансы и статистика, 1982.
23. Кокрен У. Методы выборочного исследования. М.: Статистика, 1976.
24. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. Москва: Лаборатория знаний, 2020.
25. Лайкер Дж. Дао Тойота: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.

Об авторах

Назаркина Валерия Александровна

к.э.н., доц.;

доцент, кафедра маркетинга и сервиса, Новосибирский государственный технический университет, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, д. 20;

E-mail: valeria71@bk.ru

ORCID: 0000-0002-2207-5228

Щеколдин Владислав Юрьевич

к.т.н.;

доцент, кафедра маркетинга и сервиса, Новосибирский государственный технический университет, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, д. 20;

E-mail: schekoldin@corp.nstu.ru

ORCID: 0000-0001-8016-1282

Neural network technologies in supply chain management: Consumer selection technique

Valeriya A. Nazarkina

E-mail: valeria71@bk.ru

Vladislav Yu. Shchekoldin

E-mail: schekoldin@corp.nstu.ru

Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia

Abstract

The supply chain management's effectiveness depends, among other things, on the selection and coordinated interaction with product consumers. This article is devoted to the development of a method for selecting a consumer in the regional wholesale and retail fuel market. The methodological basis of the study is the theory of statistical analysis and neural networks. The main tool for developing the methodology was neural network technologies, with the help of which it is most likely possible to correctly estimate the boundaries for indicators' values that characterize consumers and reflect their history of purchasing behavior, to select potential clients and the possibility of further cooperation with existing ones. The information base for the work is the data on consumers of a given company's products, data from the 2GIS electronic directory, as well as the results of the primary statistical analysis and forecasts made based on neural networks of various topologies. The author presents his methodology for selecting a consumer. It has the potential for development and implementation for solving a number of other management problems. As part of the testing, the best configuration (topology) of the neural network was determined, and standard

values of entry barriers when consumer choice accomplished were assessed. The methodology we developed was tested using the example of a company operating in the wholesale and retail fuel market in Novosibirsk and the Novosibirsk region. When verifying the neural network model, the quality of client classification was compared based on logistic regression, decision tree and random forest models and we found that the neural network approach provides the best results for assessing the degree of client suitability. As a result of testing the methodology, recommendations for improving neural network models were developed, including expanding the set of factors that determine the characteristics of consumers, as well as optimizing the internal structure of neural networks.

Keywords: neural networks, supply chain management, distribution logistics, consumer selection, neural network training

Citation: Nazarkina V.A., Shchekoldin V.Yu. (2024) Neural network technologies in supply chain management: Consumer selection technique. *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 7–24. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.7.24

References

1. Rosenblatt F. (1965) *Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms*. Moscow: Mir (in Russian).
2. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. (1986) Learning internal representations by error propagation. *Parallel Distributed Processing, Cambridge, MA, MIT Press*, vol. 1, pp. 318–362. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-1446-7.50035-2>
3. Galushkin A.I. (2010) *Neural networks: basic theory*. Moscow: Hotline –Telecom (in Russian).
4. Hinton G., Le Cun Y., Bengio Y. (2015) Deep learning. *Nature*, vol. 521, pp. 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
5. Sevastyanov L.A., Shchetinin E.Yu. (2020) On methods for increasing the accuracy of multi-class classification on unbalanced data. *Informatics and its applications*, vol. 14, no. 1, pp. 63–70 (in Russian). <https://doi.org/10.14357/19922264200109>
6. Timofeev V.S., Faddeenkov A.V., Shchekoldin V.Yu. (2016) *Econometrics*. Moscow: YURAYT (in Russian).
7. Tsoi M.E., Shchekoldin V.Yu. (2021) *Marketing research: methods for analyzing marketing information*. Novosibirsk: Publishing house of NSTU (in Russian).
8. Breiman L. (2001) Random Forests. *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
9. Chistyakov S.P. (2013) Random forests: a review. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, no. 1, pp. 117–136 (in Russian).
10. Abbate R., Manco P., Caterino M., et al. (2022) Demand forecasting for delivery platforms by using neural network. *IFAC-Papers OnLine*, vol. 55, no. 10, pp. 607–612. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.465>
11. Danilchenko M.N., Muravnik A.B. (2021) Neural network approach to route construction in a special-purpose automated control system. *High-tech technologies in space exploration of the Earth*, vol. 13, no. 1, pp. 58–66 (in Russian). <https://doi.org/10.36724/2409-5419-2021-13-1-58-66>
12. Sustrova T. (2016) A suitable artificial intelligence model for inventory level optimization. *Trends Economics and Management*, vol. 10(25), pp. 48–55. <https://doi.org/10.13164/trends.2016.25.48>
13. Mikhailin D.A. (2017) Neural network algorithm for safe flight around air obstacles and prohibited ground zones. *Scientific Bulletin of MSTU GA*, vol. 20, no. 4, pp. 18–24 (in Russian). <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2017-20-4-18-24>
14. Hughes A. (1996) *Boosting Response with RFM*. New York: Marketing Tools.
15. Griffin J. (2002) *Customer loyalty: how to earn it, how to keep it*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
16. Guo Li. (2011) A research on influencing factors of consumer purchasing behaviors in cyberspace. *International Journal of Marketing Studies*, vol. 3, no. 3, pp. 182–188. <https://doi.org/10.5539/ijms.v3n3p182>
17. Tsoi M.E., Shchekoldin V.Yu., Lezhnina M.N. (2017) Construction of segmentation based on modified RFM analysis to increase consumer loyalty. *Russian Entrepreneurship*, vol. 18, no. 21, pp. 3113–3134 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/rp.18.21.38506>
18. Saunders M., Lewis F., Thornhill E. (2006) *Methods of conducting economic research*. Moscow: EKSMO (in Russian).
19. Demsar J., Curk T., Erjavec A., et al. (2013) Orange: Data mining toolbox in Python. *Journal of Machine Learning Research*, vol. 14, pp. 2349–2353.

20. Sturges H. (1926) The choice of a class-interval. *Journal of the American Statistical Association*, vol. 21, pp. 65–66. <https://doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>
21. Prieto A., Prieto B., Ortigosa E.M., et al. (2016) Neural networks: An overview of early research, current frameworks and new challenges. *Neurocomputing*, vol. 214, pp. 242–268. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.06.014>
22. Upton G. (1982) *Analysis of contingency tables*. Moscow: Finance and Statistics (in Russian).
23. Cochran W. (1976) *Sampling methods*. Moscow: Statistics (in Russian).
24. Bakhvalov N.S., Zhidkov N.P., Kobelkov G.M. (2020) *Numerical methods*. Moscow: Knowledge Laboratory (in Russian).
25. Liker J. (2005) *Dao Toyota: 14 principles of management of the world's leading company*. Moscow: Alpina Business Books (in Russian).

About the authors

Valeriya A. Nazarkina

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof.;

Associate Professor, Marketing and Service Department, Novosibirsk State Technical University (NSTU), 20, Karl Marx Ave., Novosibirsk 630092, Russia;

E-mail: valeria71@bk.ru

ORCID: 0000-0002-2207-5228

Vladislav Yu. Shchekoldin

Cand. Sci. (Tech.);

Associate Professor, Marketing and Service Department, Novosibirsk State Technical University (NSTU), 20, Karl Marx Ave., Novosibirsk 630092, Russia;

E-mail: schekoldin@corp.nstu.ru

ORCID: 0000-0001-8016-1282

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.25.45

Разработка и апробация инструментария стратегического планирования территориального развития на основе интеллектуальной адаптивной имитационной модели*

М.М. Низамутдинов 

E-mail: marsel_n@mail.ru

В.В. Орешников 

E-mail: voresh@mail.ru

З.А. Давлетова 

E-mail: davletova11@mail.ru

Институт социально-экономических исследований Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Уфа, Россия

Аннотация

Управление стратегическим развитием регионов России является сложной задачей, решение которой связано с комплексом сложностей как методологического, так и методического характера. В частности, наблюдается низкое качество формируемых прогнозных оценок по основным рассматриваемым параметрам. Несмотря на наличие исследований в данной области и нормативной правовой базы, документы стратегического планирования в России зачастую не увязаны друг с другом, неоднократно пересматриваются в ходе реализации и, в конечном счете, не реализуются в полной мере. Во многом это связано с тем, что имеющийся научный потенциал не используется в полной мере, в том числе в области разработки соответствующих информационных систем. Цель исследования заключается в разработке инструментария поддержки принятия решений при стратегическом планировании развития региона. В качестве основных методов исследования используются агент-ориентированное моделирование, адаптивное управление, интеллектуальный анализ данных, сценарное моделирование. В ходе исследования предложена концепция формирования инструментария, основывающаяся на

* Статья опубликована при поддержке Программы НИУ ВШЭ «Университетское партнерство»

построении интеллектуальной адаптивной имитационной модели (ИАИМ) с учетом теории стратегического планирования и возможностей обработки разнородных данных. Предложенная структура ИАИМ включает в себя четыре взаимосвязанных иерархических уровня – интеллектуальные агенты, макропроцессы, система управления и внешняя среда. Особое внимание уделено разработке модели адаптивного поведения интеллектуального агента. Предлагаемый подход к реализации позволит охватить весь комплекс задач – от анализа входных данных до разработки управленческих решений. Программная реализация разработанной модели осуществлена с использованием инструментария AnyLogic.

Ключевые слова: стратегическое планирование, территориальные социально-экономические системы, имитационная модель, адаптивное управление, интеллектуальный анализ, система поддержки принятия решений, агент-ориентированный подход

Цитирование: Низамутдинов М.М., Орешников В.В., Давлетова З.А. Разработка и апробация инструментария стратегического планирования территориального развития на основе интеллектуальной адаптивной имитационной модели // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 25–45.

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.25.45

Введение

Основой принятия любого решения в области управления развитием территориальных социально-экономических систем является четкое научно обоснованное представление о том, как его реализация отразится на изменении значений всех ключевых показателей, характеризующих данную систему. Тем самым актуализируются функции прогнозирования и планирования как составные элементы системы управления. При этом формирование прогнозов развития на долгосрочную перспективу требует от лица принимающего решения объема знаний, исходной информации и опыта в значительно большей степени по сравнению с решением вопросов оперативного управления [1]. Именно стратегическое управление и разработка стратегий регионального развития нуждаются в соответствующем инструментарии информационной поддержки [2]. Следует отметить, что в данном направлении имеются существенные разработки применительно к производственным предприятиям [3].

В данных условиях актуализируются проблемы выработки подходов, методов и инструментов прогнозирования и стратегического планирования в области развития субъектов Российской Федерации,

учитывающих указанные вызовы. Вместе с тем, на сегодняшний день в этой сфере есть ряд сложностей [4–7], связанных с несогласованностью и противоречивостью целей, обозначенных в документах стратегического развития, недостаточным использованием управленческой информации, уровнем подготовки кадров. Также значительное влияние оказывает фактический приоритет вопросов тактического уровня на фоне низкой проработки стратегического управления регионом. В итоге получаемые прогнозные оценки и принятые решения зачастую требуют пересмотра и корректировки.

Во многом это связано с наличием методологических проблем в стратегическом планировании и управлении, которые основываются на сложном комплексе межведомственных согласований. Сегодня эта проблема не решена даже на высшем уровне. Представление Министерством экономического развития России обновленной Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации до 2023 г., намеченное на 14 мая 2021 г., так и не состоялось. Фактически было объявлено о переходе к разработке некоего широкого перечня «новых инициатив». Одной из причин подобной ситуации является жесткая критика проекта Стратегии со стороны ученых-экономистов, которые пришли к выводу, что этот документ «продолжает традицию регуляр-

но нарушаемых планов». Аналогичным образом в ежегодном отчете Счетной палаты РФ указывается, что «система стратегического планирования в настоящее время разбалансирована и неэффективна, недостаточно методически обеспечена, с низким уровнем контроля и исполнительской дисциплины, система стратегического планирования отсутствует, цели органов власти не увязываются между собой и с требованиями Президента РФ и не стыкуются с проектной деятельностью Правительства РФ, определяются формально, а их достижение не контролируется» [8]. Еще в 2017 году представитель Министерства экономического развития РФ отмечал разногласия в документах стратегического планирования, в частности различия в наименования одинаковых показателей, несогласованность значений целевых индикаторов, отсутствие сбалансированности и согласованности внутри документов, а также отсутствие навыков работы с такими данными. Среди основных задач отмечалось создание к 2020 году цифровой платформы, позволяющей автоматизировать процесс стратегического планирования с момента принятия решения о разработке документа до его завершения и оценки результативности. Для достижения данной задачи предполагалось использование больших данных, методов имитационного моделирования, искусственного интеллекта, облачных технологий [9].

Многие другие эксперты также отмечают, что действующие в России документы стратегического планирования разных уровней (их порядка 54 тыс. единиц) хотя и разрабатывались на базе ФЗ №172 «О стратегическом планировании в Российской Федерации», но никак не увязаны друг с другом [10–12]. Фактически учеными и специалистами уже открыто констатируется, что в сложившихся условиях стратегический уровень оказывается подчиненным оперативным и тактическим задачам, что принципиально противоречит логике формирования любой эффективной системы управления.

Высокие риски и затраты, связанные с принятием неправильных и неэффективных решений, требуют тщательного рассмотрения и оценки возможных альтернативных вариантов [13]. Важную роль играет доступность и достоверность информации.

Цель исследования заключается в разработке инструментария поддержки принятия решений при стратегическом планировании развития региона. Требуется интегрировать модели управления, технологии обработки знаний и средства моделиро-

вания в едином информационном поле, а также предложить методики их встраивания в имеющуюся систему планирования. На этом этапе предполагается создание методологии и концепции информационной поддержки процессов стратегического планирования социально-экономического развития систем макро- и мезоуровня на базе системной интеграции адаптивных моделей управления, технологий интеллектуальной обработки знаний и имитационного моделирования.

В качестве инструментальной среды имитационного моделирования предложена система AnyLogic. Данный программное решение имеет ряд неоспоримых преимуществ: является профессиональным инструментом для агентного моделирования, интегрирован с ГИС-картами, обладает широкими возможностями для анимации и визуализации, способен обрабатывать большие данные в качестве входной информации для модели. Отличительной особенностью системы AnyLogic является также возможность комбинирования различных парадигм моделирования, например, в агент-ориентированных моделях могут быть применены методы системной динамики. Эксперименты на базе имитационных моделей, построенных в AnyLogic, позволяют проводить сценарные расчеты и оптимизировать планирование ресурсов.

1. Концепция исследования и разработки интеллектуальной адаптивной имитационной модели

Инструментарий поддержки принятия решений (ППР) при разработке стратегии развития субъектов России в первую очередь основывается на понимании тех задач, которые будут решаться с его использованием. Для этого должен быть определен спектр решений, требующих обоснования. При этом разработка стратегии регионального развития является не целью, а механизмом для достижения целей регионального развития. То есть более общие цели определяют частные цели. Таким образом, проведя анализ целей разработки стратегии регионального развития как документа и ее структуры, нами был сделан вывод о том, что конечной целью работы инструментария ППР должен быть научно обоснованный комплекс значений управляемых параметров. Вместе с тем, при использовании разрабатываемого инструментария, на наш взгляд, могут решаться и другие сопутствующие этому задачи, включая:

1. Оценка наблюдаемого и ретроспективного состояния региональной системы, выявление ее сильных и слабых сторон, анализ и мониторинг показателей.
2. Разработка сценарного прогноза развития, включая базовый сценарий в текущих условиях, анализ возможных результатов реализации тех или иных мер стратегического управления.
3. Определение значения управляемых параметров, необходимых для достижения того или иного заданного значения целевого параметра в условиях заданных ограничений, решение задач планирования.
4. Определение комплекса рекомендуемых мероприятий в рамках задачи поддержки принятия решения.

Исходя из этого и определяются требования к инструментарию поддержки принятия решений [14]. В управлении региональным развитием можно достаточно условно выделить два уровня – оперативное и стратегическое управление. В первом случае целью является устранение текущих проблем, в частности, связанных с необходимостью достижения отдельных элементов стратегических целей. В свою очередь, стратегическое управление устанавливает приоритеты развития региональной социально-экономической системы (РСЭС), ключевые параме-

тры, а также цели для оперативного уровня. Таким образом, на параметры развития региона влияют управляющие параметры – результаты деятельности субъектов управления. В дополнение к этому, на динамику параметров РСЭС воздействуют процессы, происходящие как в самой системе, так и во внешней среде.

Следует уточнить, что в рамках проводимого исследования под интеллектуальностью в интеллектуальной адаптивной имитационной модели (ИАИМ) нами понималась способность работать со знаниями, слабо структурированной информацией за счет наличия соответствующих компонент (базы знаний, базы правил, применения методов нечеткой логики и т.д.) в дополнение к возможностям имитационных моделей, построенных на основе общепринятых подходов. В то же время, адаптивность – реализуется через алгоритмы поведения, минимизирующие ошибки планирования за счет поэтапной корректировки стратегий экономических агентов [15].

Ядром инструментария выступает экономико-математическая модель РСЭС (рис. 1). При этом, как было показано выше, динамика региональных социально-экономических процессов определяется совокупностью решений, принимаемых отдельными агентами, обладающими свойствами адаптивности, способными воспринимать инфор-

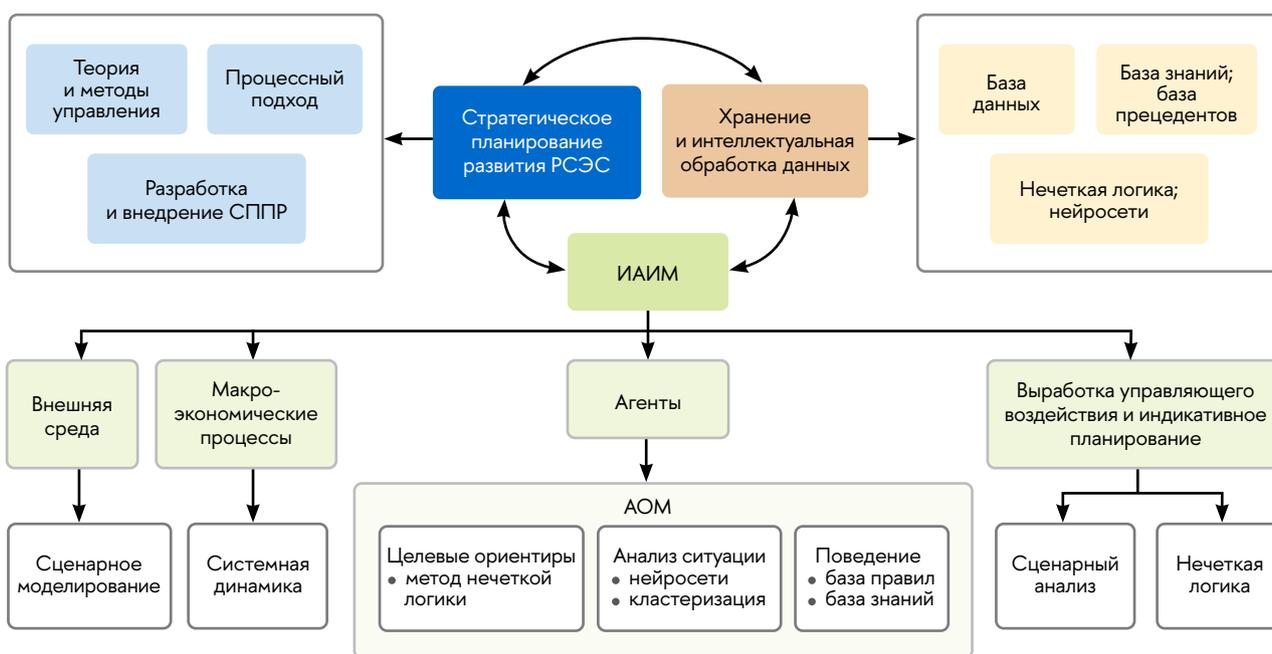


Рис. 1. Концепция исследования и разработки инструментария.

мацию, обрабатывать ее и формировать на ее базе логически обоснованные решения, то есть проявлять интеллектуальные функции. В связи с этим, в основе разрабатываемой модели предлагается использовать агент-ориентированный подход.

В рамках построения экономико-математических моделей развития РСЭС, основанных на принципах агентного моделирования, все агенты должны быть описаны через совокупность количественных показателей развития и механизмы, применяемые для их достижения. Разработка данных механизмов является одной из наиболее сложных задач, так как они описывают поведение агента в части принятия решений. Данные действия базируются на работе с информацией: получение, хранение, обработка и использование. Взаимодействие с внешней средой также представляет собой обмен информацией, то есть значениями некоторых параметров.

На наш взгляд, именно наличие возможности формирования логически обоснованных выводов и адаптации агента за счет его обучения позволяет получить наиболее адекватную модель реальной РСЭС. В связи с этим, предлагается разработка ИАИМ.

Вместе с тем, очевидно, что для описания многих макроэкономических процессов более логичным представляется использование методов, не требующих описания поведения отдельных агентов, то есть с более высоким уровнем агрегирования [16]. В связи с этим, часть макроэкономических процессов имеет смысл отражать с использованием методов динамического моделирования и иных методов. Подобное сочетание различных подходов оптимизирует затраты на разработку и функционирование модели социально-экономической системы.

Новизна постановки задачи и предлагаемой концепции исследования, на наш взгляд, заключается в оценке возможности применения класса адаптивных моделей управления [17] и методов интеллектуальной обработки знаний, широко используемых в теории принятия решений в сложных человеко-машинных системах, для формализации ограниченно-рациональной логики поведения экономических агентов регионального уровня при реализации стратегии их развития в условиях конкурентной рыночной среды.

В теоретическом аспекте отличительной особенностью предлагаемого подхода является рассмотрение региона не с позиции макроэкономики, в рамках которой агрегированные процессы не позволяют увидеть вклад отдельных их составляющих, а с пози-

ции баланса представления макро- и микро-уровней, что находит свое отражение как в методологии управления развитием объекта, так и в одновременном использовании двух парадигм имитационного моделирования – системной динамики и агент-ориентированного подхода для решения соответствующих задач. В этом проявляется направленность предлагаемого исследования на интеграцию знаний об объекте исследования, требующей для изучения отдельных ее элементов специфических методов и подходов.

В инструментальном аспекте оригинальность предлагаемой модели организации информационной поддержки, на наш взгляд, состоит в логико-иерархической композиции в единой информационной среде множества поведенческих, агент-ориентированных и управленческих моделей, что позволяет, в отличие от ранее разработанных подходов, формировать стратегии развития региональных систем, согласованные по уровням иерархии и разработанные с учетом целей и интересов агентов и стратегических планов развития региона в целом.

2. Структура интеллектуальной адаптивной имитационной модели

Представленный подход основывается на применении формализованных методов анализа, прогнозирования и планирования. Разработка соответствующего инструментария предполагает в первую очередь формирование его ядра – интеллектуальной адаптивной имитационной модели. Для ее описания, на наш взгляд, требуется определить структуру модели, а также методическую и информационную основы формирования. Общая структура ИАИМ представлена на *рис. 2*.

Модель РСЭС включает в себя несколько уровней.

1. Уровень интеллектуальных агентов, отражающих функционирование отдельных агентов и малых социальных групп. Каждый из них имеет собственные интересы, которые во многом обуславливаются ситуацией, в которой он находится. В рамках модели агент осуществляет сравнение параметров данной ситуации с ожидаемыми характеристиками и на основе этого принимает решения. Для моделирования процедуры анализа и классификации ситуации предлагается применять нейросетевые технологии и методы, позволяющие не только делать выбор между уже известными вариантами, но и идентифи-

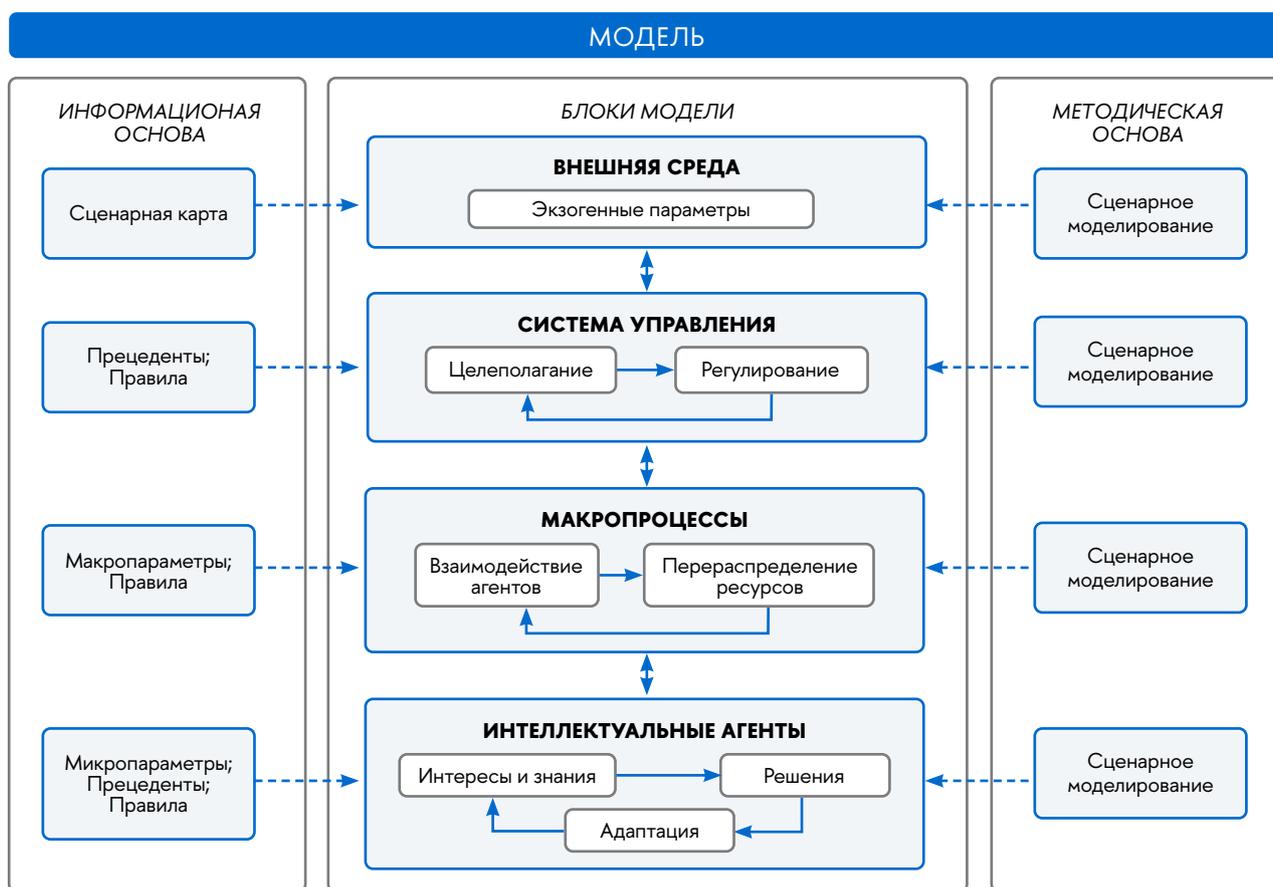


Рис. 2. Структура интеллектуальной адаптивной имитационной модели.

цировать принадлежность ранее неизвестных ситуаций [18]. При этом принятие решений может основываться как на использовании правил (в случае четко обозначенных требований к действиям агента), так и на базе прецедентов (в случае, если правило отсутствует и имеется множество известных вариантов действия). В случае, если ситуация носит принципиально новый характер, требуется разработка нового решения, что также является проявлением свойства интеллектуальности агента. При этом описание его поведения базируется на теории ограниченной рациональности [19], в рамках которой принимаемые решения не обязательно будут носить оптимальный характер. Реализация каждого из решений и оценка последствий приводят к расширению и корректировке его базы знаний и базы прецедентов, то есть происходит адаптивное обучение агента. Благодаря этому, с появлением новых прецедентов следующие решения могут приниматься по новым правилам. В целом функционирование и

развитие агента описывается в рамках методологии агент-ориентированного моделирования (АОМ), использование которой применительно к сложным социально-экономическим системам рассматривается в работах ряда авторов [20, 21].

2. Взаимодействие множества отдельных агентов порождает макроэкономические процессы. На данном уровне агрегирования рассмотрение каждого агента в отдельности становится излишне затратным. В связи с этим рассматривается комплекс макроэкономических агентов. Соотношение запасов различных ресурсов данных агентов формирует структурную модель экономики. При этом ресурсы могут переходить от одного агента к другому и преобразовываться. Все это предлагается описывать с применением методов системной динамики. При взаимодействии каждый из агентов имеет собственные интересы. Взаимодействие в рыночных условиях возможно лишь, если интересы согласованы.

3. Система управления является настройкой над моделью региона и служит для установления целевых индикаторов и регуляторов. Если фактические значения индикаторов не соответствуют установленным ранее значениям, то в первую очередь осуществляется корректировка регуляторов. Однако в если это не дало ожидаемого эффекта при имеющихся ограничениях, то осуществляется корректировка значения целевых индикаторов. При этом выбор решения (по изменению значений регуляторов или целевых индикаторов) базируется на анализе ситуации и адаптивном управлении.

4. Существенное влияние на развитие региональной системы оказывает внешняя среда, которая описывается комплексом экзогенных параметров. В рамках данного исследования они являются независимыми от процессов, протекающих в рамках РСЭС. Значения экзогенных параметров задаются при помощи сценарных карт.

Таким образом, структура интеллектуальной адаптивной имитационной модели описывает совокупность социально-экономических отношений, реализуемых на различных уровнях в наиболее обобщенном виде. При этом ее основой является функционирование интеллектуальных агентов.

3. Модель адаптивного поведения интеллектуального агента

Поведение интеллектуального агента описывается в рамках разрабатываемой модели через принятие им решений, направленных на удовлетворение собственных интересов в сложившихся условиях функционирования с учетом имеющихся знаний (правил, прецедентов, известных ситуаций и решений), а также возможности адаптации агента. Принятое и реализованное решение определяет изменение параметров агента и оказывает влияние на характеристики внешней среды. Как указано выше, агент функционирует в условиях неполной и противоречивой информации. Его действия могут быть описаны теорией ограниченной рациональности. Данная концепция в классическом смысле характеризует положение, при котором человек учитывает небольшое число вариантов, различающихся в существенной степени, и выбирает наиболее близкий к его устремлениям вариант, что не гарантирует максимизацию полезности [22, 23]. В рамках предлагаемой модели данная ситуация может быть представлена комплексом возможных решений агента, реализуемых с некоторой

вероятностью. Основываясь на предыдущем опыте и имеющихся знаниях, агент выбирает удовлетворяющее его решение, что не говорит об оптимальности сделанного выбора, т.е. рассмотрении всей возможной совокупности решений.

Исходя из данных предпосылок, в рамках проведенного исследования была разработана модель принятия решения агента (рис. 3), основанная на применении комплекса методов агент-ориентированного моделирования, классификации ситуации, теории ограниченной рациональности, применении баз правил и прецедентов, анализа данных и др.

Совокупность информации определяет ситуацию, в которой находится агент. Идентификация ситуации заключается в отнесении ее к какому-либо известному классу или, при необходимости, выделении нового класса. Множество известных агенту ситуаций образует часть базы знаний агента – «Базу ситуаций». Другой ее частью является «База решений», содержащая информацию о том, какие действия агент может совершить (перечень управляемых параметров и их характеристики).

Функционирование интеллектуального агента представляет собой совокупность принимаемых им решений $Rh = \{Rh_t^1, Rh_t^2, \dots, Rh_t^n\}$ исходя из сложившегося в момент времени t класса ситуации $K = \{K_t^1, K_t^2, \dots, K_t^n\}$.

Выбор варианта решения осуществляется исходя из имеющегося в распоряжении агента правил и прецедентов, содержащихся соответственно в «Базе правил» и «Базе прецедентов». Именно они описывают, какие именно действие и с какой вероятностью выбирает агент в той или иной ситуации. Обращение к данным базам позволяет не только соотнести наблюдаемые условия и решения, но и определить предполагаемые последствия от их реализации (ожидания). При этом действия, которые не могут быть выполнены (нет условий для их выполнения) имеют нулевую вероятность выбора, то есть фактически исключаются из перечня возможных решений агента.

База правил включает в себя условия $U = \{U_t^1, U_t^2, \dots, U_t^n\}$, решения и ожидаемые результаты $Rz_r = \{Rz_r^1, Rz_r^2, \dots, Rz_r^n\}$ и отписывается кортежем элементов $Ru = \langle U, Rh, Rz_r \rangle$. В свою очередь, база прецедентов содержит решения $Rh_b = \{Rh_b^1, Rh_b^2, \dots, Rh_b^n\}$, принимавшиеся в той или иной ситуации, наблюдавшейся ранее, $K_b = \{K_b^1, K_b^2, \dots, K_b^n\}$, а также информацию о наблюдавшихся ранее результатах $Rz_b = \{Rz_b^1,$

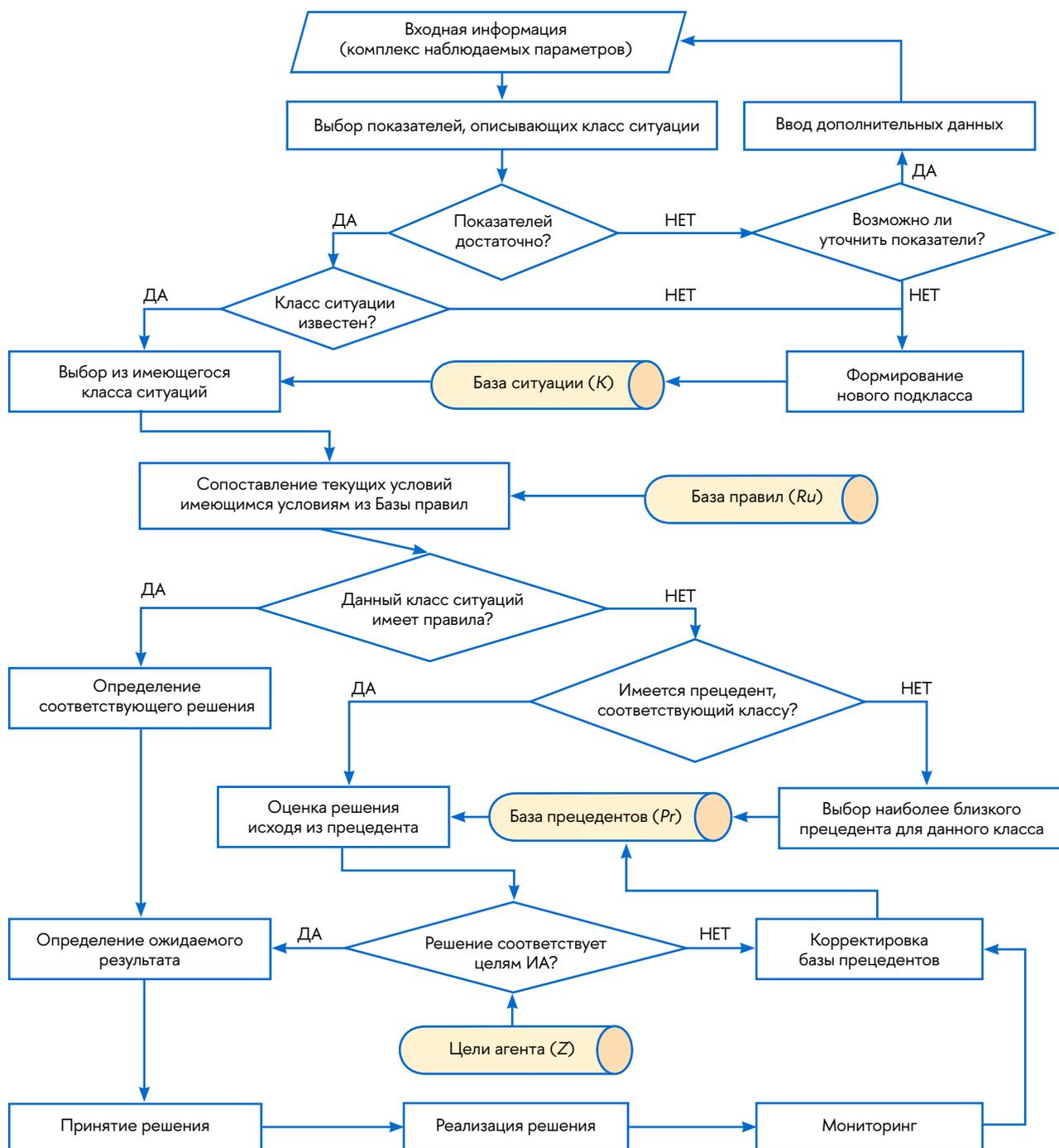


Рис. 3. Модель принятия решения интеллектуальным агентом.

$Rz_{b_i^2}, \dots, Rz_{b_i^n}$. База прецедентов описывается кортежем элементов $Pr = \langle K_b, Rh_b, Rz_r \rangle$.

Прецедент – это случай или событие, имевшее место в прошлом и служащее примером или основанием для последующих действий в настоящем [24]. Исходя из этого, прецеденты – это отражение

опыта агента и его знаний о взаимосвязи событий и явлений. Результатом является перечень показателей, которые изменили свое значение после реализации действия и ассоциируются у агента с последствиями данного действия, а также значение изменений этих показателей.

Приоритет в данном случае отдается использованию базы правил, поскольку она содержит в себе более строгие требования к определению решения, закладываемые в нормативной форме или в результате многократного повторения прецедентов. При этом, база правил не является неизменной. Она может пополняться и корректироваться.

Использование базы прецедентов предполагает обращение к ней и поиск ситуации наиболее схожей с текущей. Для этого параметры текущей ситуации сравниваются с существовавшими условиями известных прецедентов. Следует отметить, что поиск прецедента осуществляется не по отдельному показателю, а по всей совокупности показателей, формирующих ситуацию. В данном случае, речь идет о рассуждениях на основе прецедентов, которые в широком смысле являются методом решения новых проблем на основе уже известных решений. Рассуждения на основе известных ситуаций являются частным случаем рассуждений по аналогии.

Говоря об идентификации ситуации, следует понимать, что агенту необходимо не только определить ее положение среди множества других вариантов развития ситуации в данной области, но и определить насколько она ему знакома. Так, если агент ранее сталкивался с ней, то данную ситуацию можно назвать известной и рассматривать для нее известные решения. В противном случае, у агента нет опыта поведения в данной ситуации, а решение может быть принято на основе наиболее близкого из известных.

Таким образом, интеллектуальный агент, анализируя сложившуюся ситуацию, производит сравнение фактических условий U_f с условиями, содержащимися в базе правил U_b , и в случае обнаружения совпадения применяет соответствующее правило R_h . При отсутствии правила рассматриваются имеющиеся прецеденты и среди них выявляется наиболее совпадающий по фактической и ранее наблюдавшейся ситуации.

Одним из основных свойств агента является наличие у него целевых установок. Под целевыми установками агента в рамках данного исследования понимается комплекс представлений агента о том, какие параметры являются значимыми индикаторами и какое из направлений изменений значений индикаторов его развития является более предпочтительными, а также каково соотношение значимости целевых индикаторов между собой. Таким образом, в части формирования целевых ориентиров агента можно выделить три принципиальных вопроса:

1. Что является целевыми ориентирами для данного агента, т.е. состав параметров, которые отнесены к целевым индикаторам?
2. Каково желаемое значение целевых ориентиров агента, т.е. некое количественное измерение данных целевых индикаторов?
3. Как соотносятся между собой значимости тех или иных целей агента?

Важнейшие ориентиры развития общества определены в Указе о национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. Исходя из них, можно выделить ряд показателей для количественной оценки функционирования экономических агентов, включая следующие:

- ◆ повышение суммарного коэффициента рождаемости;
- ◆ увеличение ожидаемой продолжительности жизни;
- ◆ снижение уровня бедности;
- ◆ обеспечение граждан жильем;
- ◆ обеспечение темпа роста валового внутреннего продукта страны выше среднемирового;
- ◆ увеличение объема инвестиций в основной капитал;
- ◆ обеспечение устойчивого роста доходов населения и т.д.

Как можно заметить, несмотря на то что сами показатели являются количественно измеримыми, целевые установки носят качественные характеристики. Данный факт позволяет отразить более адекватно поведение реальных людей, чьи целевые установки могут быть описаны как «увеличение денежных доходов», «повышение уровня экологической безопасности мест проживания» и т.д., а соотношение важности между ними описывается понятиями «существенно важнее», «несколько более важнее» и т.д. То есть речь идет о применении показателей, описываемых с использованием методов нечеткой логики. Пример совмещения данного подхода и агент-ориентированного моделирования имеется в публикации [25].

Реализация установленных целей агента осуществляется через выбор решений, направленных на изменение управляемых параметров в определенных условиях, формирующих ситуацию, с которой сталкивается агент. Анализируя сложившиеся условия, агент определяет, к какому из известных классов относится та или иная ситуация. Для этого ему требуется иметь соответствующую базу зна-

ний, включающую описание ситуаций, и инструмент для их идентификации и классификации. Для определения класса ситуации предлагается использовать методы кластеризации.

Поведение экономического агента в значительной степени обуславливается тем, какой информацией он обладает. Можно выделить следующие источники получения информации: 1) информация из внешней среды, параметры которой не зависели от самого агента; 2) информация, которая была сформирована при взаимодействии агента с внешней средой; 3) информация, характеризующая самого агента, получение которой не требует взаимодействия с иными агентами или внешней средой.

Говоря о множестве параметров, характеризующих самого агента, следует отметить, что в данную группу показателей входят и ресурсы, которыми обладает агент. В этом смысле прослеживается взаимосвязь между ресурсами и управляемыми параметрами агента. Фактически, поведение агента представляет собой изменение им значений данных параметров. В рамках формирования экономико-математической модели, информация о перечне данных показателей и их характеристики содержатся в базе решений агента. Следует подчеркнуть, что в широком смысле, перечень данных показателей не только не одинаков даже для агентов одного типа, но и не постоянен во времени. Если рассматривать агента «Человек», то перечень управляемых параметров и возможности по изменению их значений зависят от возраста, социального статуса, места проживания и т.д. Однако с точки зрения решения практических вопросов моделирования, представляется целесообразным установить общий перечень управляемых параметров для всех агентов одного типа, но определив для каждого из них различные возможности корректировки его значений. Более сложным в плане формализации, на наш взгляд, является проблема появления принципиально новых управляемых параметров в результате изменения внешних условий, научно-технического прогресса и творческой деятельности человека. Следует отметить, что перечень управляемых параметров в существенной степени зависит от уровня детализации модели и общей ее направленности на решение тех или иных задач.

На основе представленной обобщенной схемы была проведена формализация поведения каждого из рассматриваемых агентов.

Функционирование экономического агента «Человек» является многоаспектным. Принимаемые им решения затрагивают вопросы во всех сферах жизнедеятельности и в зависимости от выбранной степени детализации могут включать как стратегические вопросы (например, место жительства, смена рода деятельности, выбор направления подготовки в вузе и т.д.), так и бытовые вопросы, решение которых отнесено к оперативному уровню и зачастую носит «механический» характер.

Для данного экономического агента в рамках проведенного исследования предлагается рассматривать принятие решения по трем аспектам:

- ◆ смена места жительства (миграция);
- ◆ формирование доходов;
- ◆ формирование расходов.

Рассмотрим второй вопрос более подробно, поскольку во многом его решение определяет параметры ситуации для других (рис. 4).

Адаптация экономического агента к изменению ситуации заключается в изменении правил его поведения в зависимости от тех или иных условий.

Ключевой целью агента по данному направлению является получение дохода не ниже ожидаемого. При этом следует подчеркнуть, что в данном случае, как было упомянуто ранее, речь идет не о максимизации значений параметра, а об удовлетворении некоторого заданного уровня.

Из множества характеристик агента «Человек» требуется выделить значимые с точки зрения решения данной задачи. При этом характеристики могут быть выбраны из различных групп – Демографические показатели (пол, возраст), Образование (уровень образования, направление подготовки), Работа (стаж, опыт предпринимательской деятельности, текущий статус профессиональной деятельности), Финансы населения (текущий и ретроспективный уровень дохода). С другой стороны, на решение агента влияет состояние среды, в которой он находится, включая характеристики рассматриваемых видов экономической деятельности с точки зрения потенциального работника (уровень оплаты труда, наличие вакансий) и с точки зрения предпринимателя (уровень конкуренции и наличие спроса на продукцию ВЭД). Сочетание данных характеристик определяет те или иные ситуации, выделение которых предполагается производить методом кластерного анализа. Учитывая множество возможных значений ука-

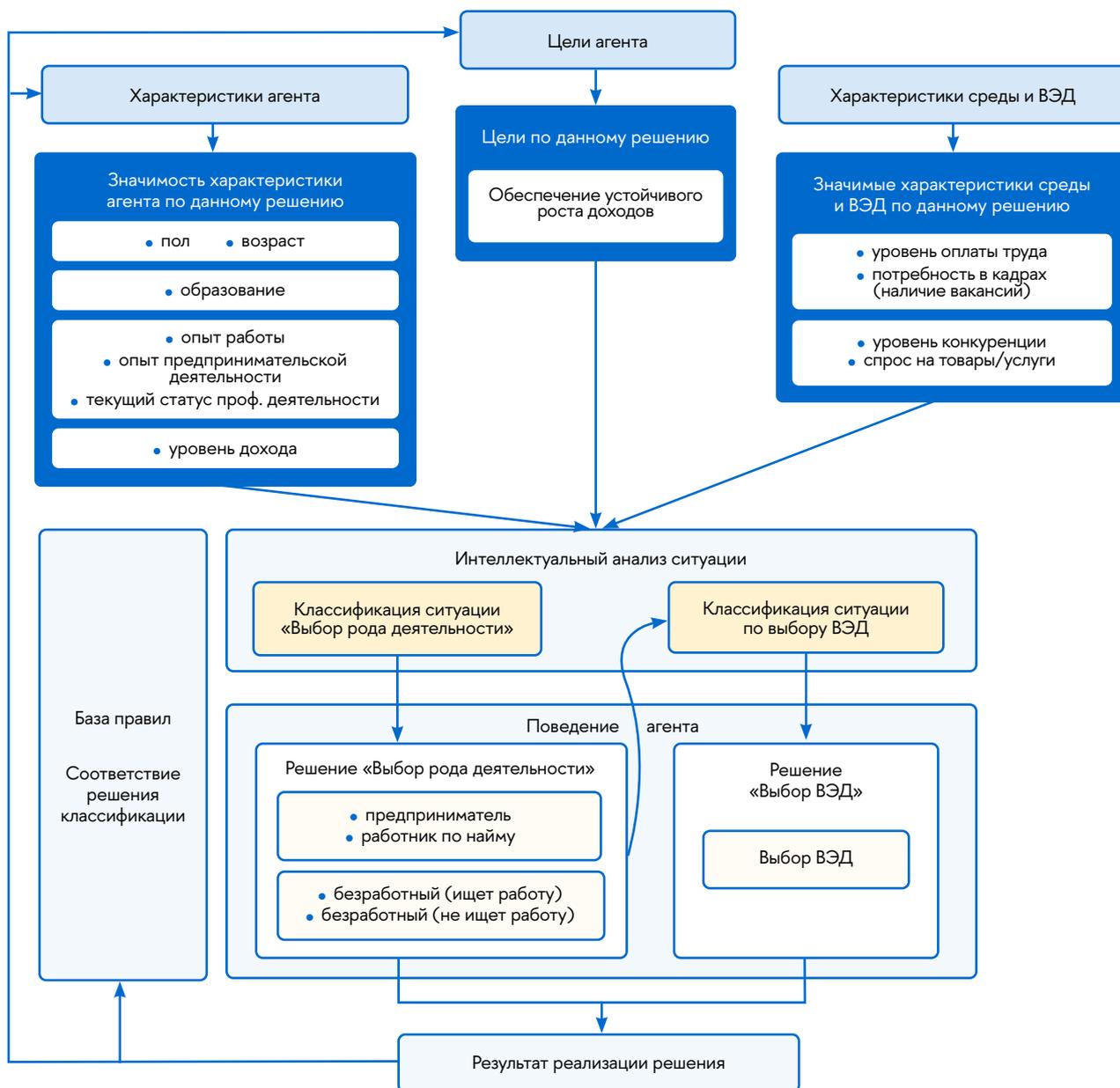


Рис. 4. Формирование доходов агента «Человек».

занных характеристик, заранее определить точное количество и параметры каждой ситуации не представляется возможным, однако очевидно, что решение, принимаемое молодым специалистом без опыта предпринимательской деятельности в условиях спада экономики и избытком кадров на рынке труда будет существенно отличаться от решения предпринимателя с опытом работы на рынке, на котором наблюдается рост спроса. При этом различия в решениях обусловленные не только различием значений факторов, но и прави-

лами, применяемыми агентами. Поскольку установление детерминированных взаимосвязей между условиями и решениями в данном случае не представляется возможным (в том числе в силу невозможности полной формализации условий и их количественной оценки, а также однозначного отнесения наблюдаемого сочетания условий к тому или иному классу ситуаций), то выбор решения представляется целесообразным осуществлять с применением интеллектуальных алгоритмов, в том числе на основе методов нечеткой логики.

Данные правила могут трансформироваться в результате получаемого опыта в ходе реализации ранее принятых решений. Более того, этот опыт может приводить к изменению целевых установок агента. Данная процедура реализует не только возможность адаптации экономического агента к изменению условий, но и адаптацию правил поведения самого агента.

В отношении остальных экономических агентов и решений процедура выбора решений представляется целесообразным формализовать аналогичным образом.

Вместе с тем, расчет других параметров функционирования экономического агента «Человек» реализуется в рамках комплекса уравнений, представленных ниже.

Одной из ключевых подсистем модели выступает демографический блок, включающий описание движения населения. Эти процессы ведут к изменению численности групп. В модельном инструментарии применяется метод передвижки возрастов. Учет гендерного аспекта повышает адекватность отражения процессов. В исследование включено N половозрастных групп: $\forall n, n = 1; N$.

$$P_t^n = P_{(t-1)}^{(n-1)} + B_t^n - D_t^n + M_t^n,$$

где P_t^n – численность населения;

B_t^n – численность родившихся (для первой возрастной группы);

D_t^n – численность умерших;

M_t^n – сальдо миграционных потоков.

Число родившихся в t -м году рассчитывается исходя из коэффициента рождаемости kB_t по формуле:

$$B_t^n = kB_t \cdot P_t \cdot k_{m/w}$$

где $k_{m/w}$ – коэффициент распределения по гендерному признаку.

Следует принимать во внимание, что уровень рождаемости зависит от совокупности разнородных факторов, среди них выделяют численность женщин в фертильном возрасте, уровень брачности, уровень доходов населения, обеспеченность населения жильем.

Значения данных факторов определяется исходя из логики формирования модели. Например, величина заработной платы, как элемент уровня доходов населения, определяется взаимодействием экономического агента «Бизнес» в рамках политики по привлечению рабочей силы и агента «Чело-

век» в рамках выработки решения о формировании собственных доходов. В свою очередь, объем общей площади жилых помещений определяется по результатам реализации агентом «Человек» функции потребителя, то есть принятия им решений в отношении использования собственных и заемных финансовых ресурсов.

Экономическая сущность агента «Человек» реализуется в формировании и использовании финансовых ресурсов. Ключевыми источниками дохода InH_t^Σ выступают предпринимательская деятельность InH_t^{en} , оплата труда InH_t^w , социальные трансферты InH_t^r , доходы от собственности InH_t^{prop} , а также иные доходы InH_t^{of} . Кроме того, могут рассматриваться кредитные ресурсы InH_t^{cr} .

$$InH_t^\Sigma = InH_t^{en} + InH_t^w + InH_t^r + \\ + InH_t^{prop} + InH_t^{of} + InH_t^{cr} + StH_{t-1}.$$

Важнейшим источником денежных доходов на сегодняшний день продолжает являться оплата труда. При этом уровень оплаты труда и численность численности работников предприятий и организаций определяется в рамках предлагаемой модели на основе рыночного механизма взаимодействия экономических агентов.

Для формализованного описания доходной стратегии экономического агента «Человек» предусмотрена процедура адаптивного поведения на рынке труда, в рамках которой происходит последовательный выбор рода деятельности и ВЭД. Агент оценивает привлекательность каждого из четырех вариантов – работа по найму, предпринимателя деятельность, статус безработного, ищущего работу и безработного, который не ищет на данный момент работу. Основываясь на комплексе характеристик агента и среды, делается выбор в пользу одного из вариантов. С макроэкономической точки зрения, численность работников L_t^w , зависит от величины заработной платы Wg , численности трудоспособного населения P_t^{em} и величины других доходов на душу населения $InH_t^{\Sigma n-p}$, то есть рассматривается баланс спроса и предложения на рынке труда. Однако в отличие от сугубо балансовых методов расчета, предлагаемый подход основывается на адаптивном поведении интеллектуального агента, способного оценивать экономическое положение и предпочтительность выбора. Благодаря этому на каждом шаге итерационного алгоритма реализуется корректировка численности занятых в экономике на величину λ^t .

Аналогичным образом описывается поведение агента в отношении формирования остальных его параметров, а также проводится описание остальных агентов системы.

Таким образом, одной из отличительных особенностей интеллектуального агента является его способность адаптироваться к изменению условий функционирования. В данном случае речь идет не только о корректировке количественных параметров, но и об изменении качественной составляющей поведения агента, что проявляется в двух аспектах:

1. Выбор различных вариантов действий в различных условиях.
2. Способность агента обучаться.

Первая составляющая связана с определением изменения значений управляемых параметров. Однако именно обучаемость агента обеспечивает возможность его представления как полноценного и независимого субъекта экономических отношений и формирует, тем самым, суть агентного подхода к моделированию и основу интеллектуальной адаптивной модели.

В рамках проводимого исследования, обучаемость рассматривается как возможность корректировки правил поведения. Если правила поведения агента представляют собой варианты действий в той или иной ситуации с определенной вероятностью выбора того или иного действия, то в данном аспекте обучение базируется на корректировке вероятности выбора каждого из них. Агент не просто делает выбор того или иного действия, но и формирует некое ожидание. Если наблюдаемые параметры подтвердили его ожидания, то принятое решение (выбранное действие) воспринимается агентом как правильное и вероятность его использования в схожей ситуации сохраняется. Если же был получен иной результат, чем ожидалось, то вероятность корректируется. Вместе с тем, обучение агента не должно ограничиваться лишь изменением параметров выбора того или иного уже известного действия. Как отмечалось ранее, агент может дополнить свою базу знаний, а в отдельных случаях скорректировать цели функционирования и собственные интересы.

Следует отметить, что корректировка значений целевых индикаторов агента в случае невозможности их достижения соответствует не только понятию адаптации поведения агента, но и критическим исследованиям о поведении агентов [26].

В рамках апробация предложенного инструментария ИАИМ были разработаны агент-ориентированные модели для описания одной из важнейших задач стратегического планирования – регулирования миграционных и демографических процессов на региональном уровне. На *рисунке 5* представлен фрагмент интерфейса агент-ориентированной модели, позволяющей определять динамику миграционных потоков между федеральными округами Российской Федерации.

Регулируемыми параметрами в модели являются средняя заработная плата в регионе, объем инвестиции в основной капитал, а также интегральный индекс качества жизни населения. Подобные модели позволяют, в частности, формировать сбалансированные схемы территориального размещения населения, обосновывать условия и механизмы снижения диспропорций в социально-экономическом развитии отдельных территорий, обусловленных, в том числе, низкой плотностью населения и нехваткой квалифицированных кадров для экономики региона. Голубыми точками на карте показаны агенты, представляющие постоянное население региона, красными – мигранты. Выпадающее меню позволяет сравнивать территории по параметрам численности и плотности населения, средней заработной платы, объема инвестиций в основной капитал. Выходными данными модели являются диаграммы, иллюстрирующие прогнозируемое соотношение мигрантов и постоянного населения, а также динамику и направленность миграционных потоков. На отдельном листе ведется расчет статистики прибывших/убывших по каждому федеральному округу в отношении выбранной «базовой» территории (на *рис. 5* показано на примере Республики Башкортостан).

4. Применение интеллектуальной адаптивной имитационной модели в стратегическом планировании

Применение ИАИМ как основополагающей составляющей систем поддержки принятия решений (СППР) в области стратегического планирования предполагает использование возможностей инструментария на всех ключевых этапах рассматриваемого процесса. Вместе с тем, важнейшей функцией является разработка прогноза социально-экономического развития территории с уче-

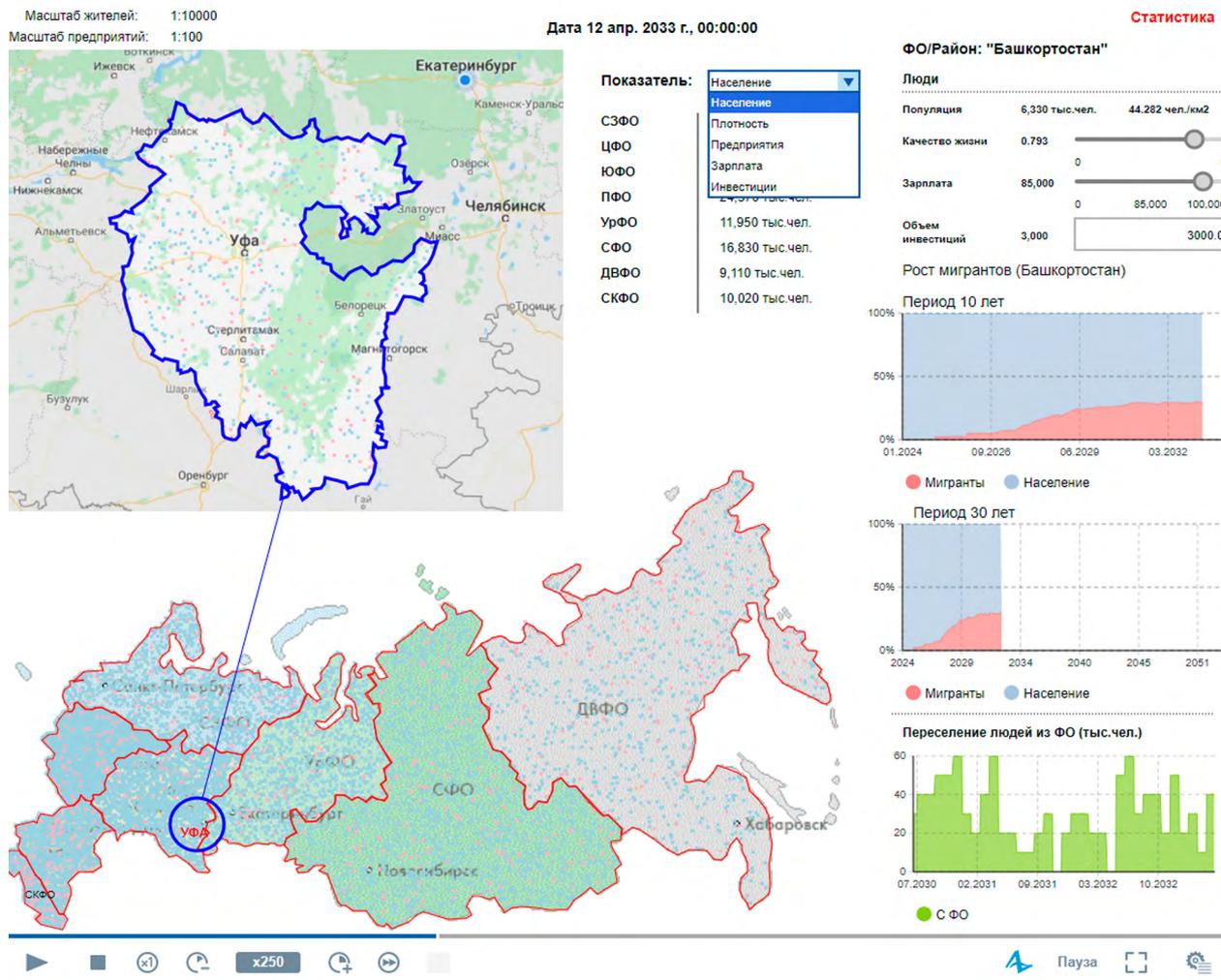


Рис. 5. Интерфейс агент-ориентированной модели регулирования миграционных потоков между федеральными округами Российской Федерации.

том особенностей поведения всех задействованных сторон, включая учет адаптивности их поведения к изменению условий функционирования. Интеграция ИАИМ в существующие процедуры и алгоритмы формирования стратегических решений должно основываться не на подмене СППР модельным инструментарием, а на дополнении возможностей и уже имеющихся методов. Рассматривая данный аспект исследуемой проблемы, следует кратко описать этапы стратегического планирования и предполагаемое место ИАИМ в данных этапах (рис. 6). Отметим, что для полноценного функционирования ИАИМ в рамках СППР должна быть дополнена рядом функциональных блоков (ввода и вывода данных, построения отчетов, расчета показателей динамики и структуры и т.д.), однако эти вопросы

не рассматриваются в настоящем исследовании, поскольку носят в большей степени инженерный, а не научный характер.

I. Постановочный этап включает определение задачи, организационное обеспечение, сбор данных, предварительный анализ. С точки зрения работы ИАИМ, на данном этапе осуществляется ввод данных в систему, их проверка. При этом речь идет не только о статистической информации, отражающей текущее положение и развитие территориальной системы, но и параметры, связанные с установлением горизонта планирования, ограничениях, налагаемых экзогенно.

II. Аналитический этап включает определение состояния и направления развития территориальной системы. Исходя из поставленной задачи, необ-

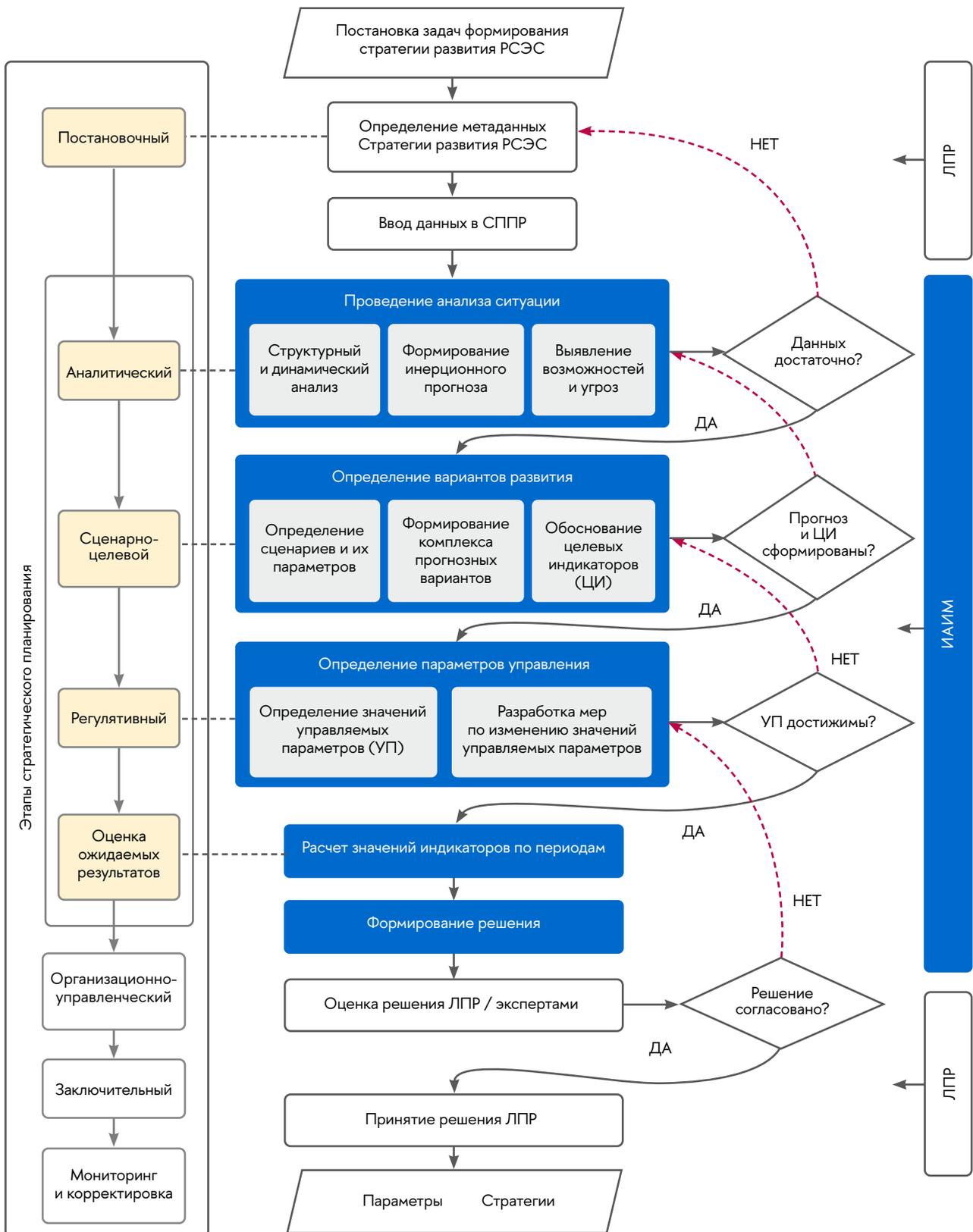


Рис. 6. Алгоритм определения параметров стратегии развития РСЭС с применением СППР на базе ИАИМ.

ходимо оценить экономические, демографические, социальное, культурные, природно-географические и прочие факторы. Этот этап может подразумевать реализацию динамического, структурного, SWOT-анализа, исследование отдельных сфер жизнедеятельности общества, анализа преимуществ, выявление проблем и угроз развития. Результатом является определение проблем территориального развития или выявление неиспользованного потенциала.

Интегрирование ИАИМ в процедуры стратегического планирования базируется на формировании консервативного варианта прогноза ключевых макроэкономических параметров, подразумевающего сохранение имеющихся условий и существующих значений управляемых параметров.

III. Сценарно-целевой этап включает определение целевых ориентиров развития территориальной системы. В рамках ИАИМ разработка сценариев развития осуществляется посредством формирования индикативного плана. Таким образом, происходит увязка задач прогнозирования и планирования развития территориальной социально-экономической системы. Применение имитационного моделирования позволяет учесть ограничения и различные условия.

IV. Регулятивный этап. Определение параметров вектора управляющих воздействий исходя из значения целевых индикаторов базируется на снижении отклонения текущих значений от полученных в результате моделирования.

Для достижения необходимых значений регуляторов по направлениям формируется комплекс мероприятий. На данном этапе определяется величина необходимых ресурсов.

V. Этап оценки ожидаемых результатов. На этом этапе осуществляется определение параметров развития территориальной системы в результате многократного пересмотра управляемых параметров всех рассматриваемых в рамках моделирования экономических агентов. Именно данный этап в наибольшей степени задействует возможности ИАИМ, поскольку позволяет получить прогнозно-плановые оценки сначала на уровне отдельных агентов, а затем и агрегированных показателей. Оценка параметров основывается на проведении ряда модельных экспериментов.

VI. Организационно-управленческий этап, на котором определяется система реализации стратегических решений. Он предполагает описание процессов управления, разграничение полномочий, а также зон ответственности исполнителей, методы

и механизмы взаимодействия и т.д. Применение ИАИМ не предполагается.

VII. Заключительный этап. Прежде чем перейти к практической реализации полученных результатов стратегического планирования, они должны быть утверждены в виде нормативного документа и получить соответствующий юридический статус. На данном этапе применение ИАИМ также не предполагается.

VIII. Этап мониторинга и корректировки. При реализации стратегических решений проводится мониторинг соответствия значений полученных результатов параметрам индикативного плана. При обнаружении отклонения производится пересмотр исходных параметров и донастройка модельного комплекса. Периодичность мониторинга и соответствующей корректировки ИАИМ определяется целями исследования и спецификой области управления.

Из вышесказанного следует, что предлагаемый инструментарий, построенный на базе ИАИМ, может быть применен на большинстве стадий стратегического планирования и является вспомогательным средством, не подменяющее специалистов, а повышающее их эффективность.

На базе разработанного инструментария ППР с применением технологий агент-ориентированного моделирования получена прогнозная оценка динамики миграционных потоков между федеральными округами РФ при изменении величины отдельных управляемых параметров: интегрального показателя качества жизни населения, объемов инвестиций в основной капитал и средней заработной платы, предусмотренных действующими стратегическими планами комплексного развития территорий (рис. 7). Проведены сценарные эксперименты (на примере Дальневосточного ФО как территории с наиболее низкой плотностью населения), что позволило спрогнозировать на период до 2035 г. динамику численности населения округа при реализации четырех базовых сценарных вариантов, включающих различные комбинации управляемых параметров. Предварительные результаты показали вариацию изменения численности населения ДВФО (рис. 7) в пределах от -20% (инерционный), до $+12\%$ (умеренно-оптимистический), $+25\%$ (оптимистический) и $+45\%$ (максимально возможный).

В целом, предложенный инструментарий формирует основу для выработки сбалансированной

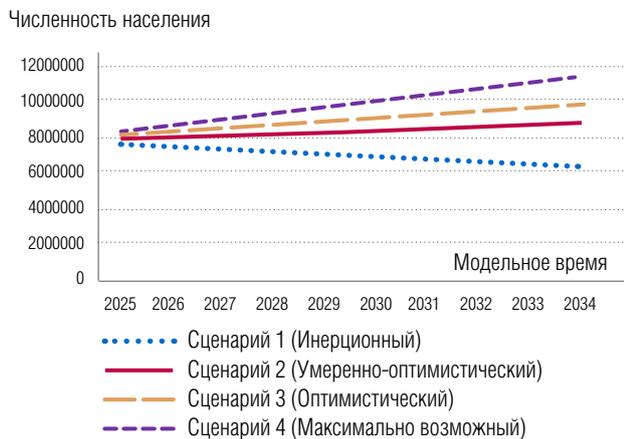


Рис. 7. Модельная динамика изменения численности населения ДВФО при выполнении разных сценариев.

демографической и миграционной политики в рамках разработки и реализации стратегических планов развития регионов РФ на средне- и долгосрочную перспективу.

Заключение

Разработанный в рамках проведенного исследования подход к стратегическому планированию территориального развития на основе интеллектуальной модели базируется на системной интеграции различных инструментальных подходов: методов агент-ориентированного моделирования в части формализации поведения интеллектуальных агентов, которым свойственна адаптивность поведения, неполная рациональность; методов динамического моделирования в части формализации потоковых данных на макроуровне.

Предложенная структура ИАИМ включает в себя четыре взаимосвязанных иерархических уровня —

интеллектуальные агенты, макропроцессы, система управления и внешняя среда. Данные уровни формируют блоки модели, каждый из которых требует специфическую информационную и методическую основу. В рамках проведенного исследования разработана модель адаптивного поведения интеллектуального агента, основанная на принятии им решений. Несомненно, что каждый экономический агент имеет отличительные особенности, обусловленные целями, положением в экономической системе, используемыми ресурсами, значимыми параметрами и т.д. Представленный пример формирования доходов агента «Человек» включает лишь незначительную, однако важную составляющую функционирования данного агента.

С практической точки зрения, внедрения СППР, основанной на ИАИМ, позволит повысить уровень согласованности и эффективности принимаемых решений. На наш взгляд, подобный инструментарий может быть интересен, в первую очередь, органам государственного управления, занимающимся разработкой стратегических решений на региональном уровне. Предложен алгоритм определения параметров Стратегии развития РСЭС с применением СППР на базе ИАИМ, определена последовательность действий, взаимосвязанных с этапами стратегического планирования. Показано, что большинство ключевых задач подразумевает возможность повышения эффективности за счет применения современных информационных систем. Вместе с тем, ИАИМ является лишь инструментом, не подменяющим собой лицо, принимающее решения. ■

Благодарности

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-28-00871.

Литература

- Суворов Н.В., Трещина С.В., Белецкий Ю.В. Проблемы разработки методов долгосрочного прогнозирования динамики отечественной экономики (методология и модельный инструментарий) // Проблемы прогнозирования. 2020. № 6(183). С. 66–80.
- Липушкина И.Ю. Формирование единой системы стратегического и территориального планирования регионального развития // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2014. № 24. С. 37–47.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
- Белянова А.М., Бирюков В.А., Черковец В.Н. Стратегическое планирование в условиях современной экономики России (материалы научного семинара по проблемам стратегического планирования) // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2016. № 3. С. 141–158.

5. Леонов С.Н. Проблемы формирования системы стратегического регионального планирования в России на современном этапе // Труды Братского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2018. Т. 1. С. 3–8.
6. Швецов А.Н. Деструктивные стереотипы стратегического планирования // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «От рецессии к стабилизации и экономическому росту». Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. 2016. С. 8–16.
7. Резникова А.В. Стратегическое планирование регионального развития как основной элемент территориального развития // Вопросы региональной экономики. 2014. № 4(21). С. 148–154.
8. Бюллетень Счетной палаты РФ. Госуправление // Счетная палата РФ. 2020. №1(226). [Электронный ресурс]: <https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-1-266-2020-g> (дата обращения 15.04.24).
9. Стратегическое планирование и новые технологии // Центр стратегических разработок. 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.csr.ru/ru/news/2313/> (дата обращения 15.04.24).
10. Карпов В.К., Лылов А.С. О проблемах стратегического планирования в России // Теория и практика мировой науки. 2020. № 3. С. 2–9.
11. Панкевич Н.В., Руденко В.В. Отдельные проблемы идентичности в документах стратегического планирования Российской Федерации // Вестник Сургутского государственного университета. 2021. № 4(34). С. 128–134.
12. Ускова Т.В. Проблемы устойчивого развития и стратегического планирования в исследованиях ВолНЦ РАН // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 6. С. 9–23.
13. Nijkamp P. Information systems for regional development planning: a state-of-the-art survey // Reprinted from Environment and Planning B: Planning and Design. 1983. Vol. 10. [Электронный ресурс]: <https://core.ac.uk/reader/33893640> (дата обращения 15.04.24).
14. Борзых Н.Ю. Анализ систем поддержки принятия решений, их классификаций и методов принятия решений // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 91-7. С. 87–90.
15. Низамутдинов М.М., Орешников В.В. Определение параметров управления региональным развитием на основе алгоритмов нечеткой логики // Экономика и математические методы. 2016. Т. 52. № 2. С. 30–39.
16. Галин Д.М., Сумарокова И.В. Применение динамической макромоделли России для прогнозирования развития ее экономики // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2021. Т. 71. № 3. С. 11–23.
17. Низамутдинов М.М., Орешников В.В. Информационная поддержка формирования стратегий инновационного развития регионов на основе адаптивной имитационной модели // Системы и средства информатики. 2018. Т. 28. № 2. С. 154–169.
18. Бородин С.Н. Прогнозирование экономического развития региона на основе регрессионных и нейросетевых моделей // Российский экономический вестник. 2024. Т. 7. № 1. С. 290–300.
19. Позняк К.В. Концепция ограниченной рациональности в поведенческой экономике // Universum: психология и образование. 2020. № 10(76). С. 14–15.
20. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Разработка программной платформы для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования сложных социальных систем // Программная инженерия. 2019. Т. 10. № 4. С. 167–177.
21. Новикова Т.С., Цыплаков А.А. Социальная политика в многоотраслевой агент-ориентированной модели // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 3. С. 129–142.
22. Новиков Д.А. Ограниченная рациональность и управление // Математическая теория игр и ее приложения. 2022. Т. 14. № 1. С. 49–84.
23. Линский Д.В. Количественная оценка влияния ожиданий и предпочтений экономических агентов на социально-экономическое развитие // Теоретическая экономика. 2021. № 4(76). С. 66–75.
24. Масловский А.Э., Косинова А.В. Рассуждение на основе прецедентов в системах поддержки принятия решений // Наукосфера. 2023. № 9-2. С. 126–130.
25. Мигранова Л.И., Атнабаева А.Р. Подход к моделированию образовательной миграции с применением нечеткой логики и агент-ориентированного моделирования // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10. № 12. С. 3389–3402.
26. Simon H.A. Rationality as process and as product of thought // American Economic Review. 1978. Vol. 68. No. 2. P. 1–16.

Об авторах

Низамутдинов Марсель Малихович

к.т.н., доц.;

заведующий сектором экономико-математического моделирования, Институт социально-экономических исследований, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 71;

E-mail: marsel_n@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5643-1393

Орешников Владимир Владимирович

к.э.н.;

старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 71;

E-mail: VOresh@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5779-4946

Давлетова Зульфия Альфировна

к.т.н.;

старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 71;

E-mail: davletova11@mail.ru

ORCID: 0009-0008-4389-2113

Development and testing of the toolkit of strategic planning of territorial development on the basis of an intelligent adaptive simulation model

Marsel M. Nizamutdinov

E-mail: marsel_n@mail.ru

Vladimir V. Oreshnikov

E-mail: voresh@mail.ru

Zulfiya A. Davletova

E-mail: davletova11@mail.ru

Institute of Socio-Economic Research, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Abstract

Management of strategic development of Russian regions is a complex task, the solution of which is associated with a set of difficulties of methodological nature. In particular, there is a low quality of formed forecast assessments on the main parameters under consideration. Despite the availability of research in this area and regulatory legal framework, strategic planning documents in Russia are often not linked to each other, are repeatedly revised in the course of implementation and, ultimately, are not fully implemented. This is largely due to the fact that the available scientific potential is not fully utilized,

including the development of relevant information systems. The aim of this research is to develop a decision support toolkit for strategic planning of regional development. Agent-based modeling, adaptive management, data mining and scenario modeling are used as the main research methods. In the course of the research, the concept of toolkit formation is proposed based on the construction of an intelligent adaptive simulation model (IASM), taking into account the theory of strategic planning and the ability to process heterogeneous data. The proposed structure of IASM includes four interrelated hierarchical levels – intelligent agents, macro-processes, management system and external environment. Special attention is paid to the development of a model of adaptive behavior of an intelligent agent. The proposed approach to implementation will make it possible to cover the whole range of tasks – from the analysis of input data to the development of management decisions. The software implementation of the model thus developed is carried out using the AnyLogic toolkit.

Keywords: strategic planning, territorial socio-economic systems, simulation model, adaptive management, intellectual analysis, decision support system, agent-based approach

Citation: Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V., Davletova Z.A. (2024) Development and testing of the toolkit of strategic planning of territorial development on the basis of an intelligent adaptive simulation model. *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 25–45. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.25.45

References

1. Suvorov N.V., Treshchina S.V., Beletsky Yu.V. (2020) Problems of developing methods for long-term forecasting of the dynamics of the domestic economy (methodology and model tools). *Problems of Forecasting*, no. 6(183), pp. 66–80 (in Russian).
2. Lipushkina I.Yu. (2014) Formation of a unified system of strategic and territorial planning of regional development. *Strategy for sustainable development of Russian regions*, no. 24, pp. 37–47 (in Russian).
3. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021) Digital plant: methods of discrete-event modelling and optimization of production characteristics. *Business Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
4. Belyanova A.M., Biryukov V.A., Cherkovets V.N. (2016) Strategic planning in conditions of modern Russia's economy (materials of research seminar on strategic planning). *Moscow University Economics Bulletin*, no. 3, pp. 141–158 (in Russian).
5. Leonov S.N. (2018) Problems of forming a system of regional planning in Russia at the present stage. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravleniye*, vol. 1, pp. 3–8 (in Russian).
6. Shvetsov A.N. (2016) Destructive stereotypes of cardinal planning. *VIII international research-to-practice conference "From recession to stabilization and economic growth"*, Plekhanov Russian University of Economics, pp. 8–16 (in Russian).
7. Reznikova A.V. (2014) Strategic planning of regional development as the main element of territorial development. *Issues of Regional Economy*, no. 4(21), pp. 148–154.
8. Accounts Chamber of the Russian Federation (2020) *Bulletin of the accounts chamber of the Russian Federation. State administration*, no. 1(226). Available at: <https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-1-266-2020-g> (accessed 15 April 2024) (in Russian).
9. Center for Development Strategy (2017) *Strategic planning and new technologies*. Available at: <https://www.csr.ru/ru/news/2313/> (accessed 15 April 2024) (in Russian).
10. Karpov V.K., Lylov A.S. (2020) On the problems of main planning in Russia. *Theory and practice of the world science*, no. 3, pp. 2–9 (in Russian).
11. Pankevich N.V., Rudenko V.V. (2021) Selected problems of identity in planning management documents of the Russian Federation. *Surgut State University Journal*, no. 4(34), pp. 128–134 (in Russian).
12. Uskova T.V. (2020) Problems related to development and strategic planning in the research of VoISC RAS. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 13, no. 6, pp. 9–23 (in Russian).
13. Nijkamp P. (1983) Information systems for regional development planning: A contemporary review. *Reprinted from Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 10. Available at: <https://core.ac.uk/reader/33893640> (accessed 15 April 2024).
14. Borzykh N.Yu. (2022) Analysis of decision support systems, their classifications and decision-making methods. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, no. 91-7, pp. 87–90 (in Russian).

15. Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. (2016) Determination of parameters for managing regional development based on fuzzy logic algorithms. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 52, no. 2, pp. 30–39 (in Russian).
16. Galin D.M., Sumarokova I.V. (2021) Application of a dynamic macromodel of Russia to forecast the development of its economy. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk (ISA RAN) (Proceedings of the Institute for Systems Analysis Russian Academy of Sciences (ISA RAS))*, vol. 71, no. 3, pp. 11–23 (in Russian).
17. Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. (2018) Information support for the formation of strategies for innovative development of regions based on an adaptive artificial model. *Systems and Means of Informatics*, vol. 28, no. 2, pp. 154–169 (in Russian).
18. Borodin S.N. (2024) Forecasting the economic development of the region based on regression and neural network models. *Russian Economic Bulletin*, vol. 7, no. 1, pp. 290–300 (in Russian).
19. Poznyak K.V. (2020) The concept of bounded rationality in behavioral economics. *Universum: psikhologiya i obrazovaniye*, no. 10(76), pp. 14–15 (in Russian).
20. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2019) Development of a software platform for large-scale agent-based research of complex social systems. *Software Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 167–177 (in Russian).
21. Novikova T.S., Tsyplakov A.A. (2020) Social policy in a multi-sectoral agent-based mode. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 13, no. 3, pp. 129–142 (in Russian).
22. Novikov D.A. (2022) Bounded intelligence and control. *Matematicheskaya Teoriya Igr i Ee Prilozheniya*, vol. 14, no. 1, pp. 49–84 (in Russian).
23. Linsky D.V. (2021) Quantitative assessment of expectations and opinions of economic agents regarding socio-economic development. *Theoretical economics*, no. 4(76), pp. 66–75 (in Russian).
24. Maslovsky A.E., Kosinova A.V. (2023) Case-based reasoning in soft decision support. *Naukosfera*, no. 9-2, pp. 126–130 (in Russian).
25. Miigranova L.I., Atnabaeva A.R. (2020) An approach to modelling educational migration using fuzzy logic and agent-based research. *Economics, entrepreneurship and law*, vol. 10, no. 12, pp. 3389–3402 (in Russian).
26. Simon H.A. (1978) Rationality as a process and as a product of thought. *American Economic Review*, vol. 68, no. 2, pp. 1–16.

About the authors

Marsel M. Nizamutdinov

Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.;

Head of the Sector of Economic and Mathematical Modeling, Institute of Social and Economic Researches, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71, Prospekt Oktyabrya, Ufa 450054, Russia;

E-mail: marsel_n@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5643-1393

Vladimir V. Oreshnikov

Cand. Sci. (Econ.);

Senior Researcher, Institute of Social and Economic Researches, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71, Prospekt Oktyabrya, Ufa 450054, Russia;

E-mail: VOresh@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5779-4946

Zulfiya A. Davletova

Cand. Sci. (Tech.);

Senior Researcher, Institute of Social and Economic Researches, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71, Prospekt Oktyabrya, Ufa 450054, Russia;

E-mail: davletova11@mail.ru

ORCID: 0009-0008-4389-2113

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.46.60

Построение системы динамических нормативов для оценки функционирования сложных систем на примере субъектов Центрального федерального округа

Р.А. Жуков^a 

E-mail: pluszh@mail.ru

С.В. Прокопчина^b 

E-mail: svprokopchina@mail.ru

М.А. Плинская^a 

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

М.А. Желуница^a 

E-mail: maria202001@yandex.ru

^a Финансовый университет при Правительстве РФ, Тульский филиал, Тула, Россия

^b Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия

Аннотация

Представлен метод формирования нормативов для оценки результатов функционирования сложных систем, применимых для социо-эколого-экономических систем, с учетом приоритетов развития субъектов Российской Федерации. Методология предполагает выбор нормативных значений из набора норм, построенных по двум методам: первый основан на построении эконометрических моделей с использованием статистических данных для совокупности субъектов (первый тип) и для одного выбранного субъекта (второй тип); второй метод использует методологию байесовских интеллектуальных измерений на базе регуляризирующего байесовского подхода (третий и четвертый типы). В зависимости от результата расчетов выбирается норма, дающая более высокое (в случае высокого приоритета), среднее (в случае среднего приоритета) и меньшее (в случае низкого приоритета) нормативное значение оцениваемых результативных признаков, характеризующих развитие субъекта. Реализация метода продемонстрирована

на примере регионов Центрального федерального округа, в том числе Тульской области, для которой построены эконометрические и нечеткие модели. Данными моделями отображается связь объема валового регионального продукта с численностью занятых, со стоимостью основных производственных фондов. Исследование проведено для сельского хозяйства (раздел А) и добычи полезных ископаемых (раздел С) по ОКВЭД1, образующих сырьевой сектор, по данным за 2007–2022 гг. В качестве инструментальных средств применены программные платформы «ЭФРА» и «Инфоаналитик 2.0». Полученные результаты могут быть использованы региональными органами управления при формировании нормативов для оценки результатов функционирования областей в краткосрочном и среднесрочном периодах.

Ключевые слова: эконометрическая модель, нечеткая модель, байесовские интеллектуальные измерения, норматив, программная платформа, социо-эколого-экономическая система

Цитирование: Жуков Р.А., Прокопчина С.В., Плинская М.А., Желуница М.А. Построение системы динамических нормативов для оценки функционирования сложных систем на примере субъектов Центрального федерального округа // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 46–60. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.46.60

Введение

При оценке результатов функционирования сложных систем, какими являются субъекты Российской Федерации, рассматриваемые как социо-эколого-экономические системы (далее – СЭЭС) [1], возникает проблема качественного характера: каким образом можно судить о том, насколько удовлетворительны такие результаты, с какими нормами проводить их сравнение. Данная работа является продолжением предшествующих исследований, в том числе вынесенных на защиту диссертации [2]. Под нормой будем понимать ожидаемое (плановое) значение результативного признака, характеризующее заданный режим функционирования системы, ее подсистемы или элемента. Если для технических или программных систем в качестве норм выступают разработанные стандарты [3–5], то для СЭЭС такие стандарты отсутствуют. Даже если рассматривать экологические подсистемы СЭЭС [6], которые должны действовать в рамках стандартов по охране окружающей среды [7]. Например, для предприятий – институциональных единиц – резидентов субъектов Российской Федерации, осуществляющих свою деятельность в соответствии с общероссийским классификатором видов экономических деятельности (далее – ОКВЭД), и сово-

купность которых есть элемент одной из подсистем в рамках принятой классификации [8, 9], допускают загрязнение свыше установленных лимитов и предельно допустимых концентраций вредных веществ (далее – ПДК). При этом такая тенденция может сохраняться на протяжении многих лет в силу специфики производства, что означает: на уровне региона приемлемость (допустимость, ожидаемость, а, следовательно, нормативность) такого результата, разрешенного и регулируемого за счет «компенсации» – платежей в бюджет за загрязнение окружающей среды, что с точки зрения создания благоприятной среды для проживания может вызывать вопросы. Кроме того, субъекты действуют в специфических, конкретных, уникальных и изменяющихся во времени условиях, что должно накладывать ряд ограничений на результаты их функционирования, в том числе на устанавливаемые нормы. Следовательно, для оценки деятельности и развития СЭЭС на основе системы индикаторов и норм необходимо использовать методологии, методы и методики, которые учитывают возникающие ограничения. Примером могут служить частные и интегральные показатели результативности и эффективности, такие как: средние по периоду оценки индикаторы [10, 11]; показатели технической эффективности [12, 13]; индикаторы, построенные на основе производственных функ-

ций [14–16] или в рамках нечеткого моделирования [17–19]. В условиях неполноты и нечеткости данных хорошо работает методология байесовских интеллектуальных измерений (далее – БИИ) [20, 21], и поэтому ее применение представляется целесообразным [22–24]. При этом используемые индикаторы оценки и нормы, рассчитанные на основе разных методологий, могут давать разные результаты, что предопределяет необходимость формирования метода выбора нормативов среди имеющихся и совершенствования методик расчета показателей. В исследовании мы нацелены на разработку метода, позволяющего осуществить такой выбор, а также его реализацию на примере субъектов Центрального федерального округа с акцентом на Тульскую область, с применением программного комплекса «ЭФРА» [25] и разработанной на Python новой версии программной платформы «Инфоаналитик 2.0» [26], дающей возможность рассчитать мягкие нормы и использовать их при формировании динамических нормативов.

1. Построение нормативов на основе эконометрического моделирования

Пусть имеется k_i -тый элемент из K ($k = 1..K_k \in N$) подсистемы типа S_q , представляющий собой совокупность экономических единиц, дающих вклад в объем валового регионального продукта (далее – ВРП) по i -тому из I разделов ОКВЭД 1 ($i = 1..I \in N$). Причем $k_i \subset K \cap I$. Будем считать ВРП результативным признаком (результатом) функционирования элемента k_i и обозначим его как $y_{k,i}$, а соответствующее ему значение в t время наблюдения ($t = 1..T \in N$) – $y_{k,i}(t)$. Элемент k_i функционирует в определенных условиях j ($j = 1..J \in N$), характеризуемых факторными признаками (факторы) $x_{k,i,j}$ со значениями $x_{k,i,j}(t)$.

Тогда связь между значениями результатов и факторов можно представить в виде эконометрического уравнения [27]:

$$y_{k,i}(t) = f_i(C_{i,j}, x_{k,i,j}(t)) + \varepsilon_{k,i}(t), \quad (1)$$

где $C_{i,j}$ – параметры функции $f_i(\cdot) = \hat{y}_i$;

$\varepsilon_{k,i}$ – значения стохастической случайной составляющей ε_i , которая в первом приближении предполагается нормальной $\varepsilon_i \sim N(0; \sigma_{\varepsilon_i}^2)$.

Тогда для расчета нормативных значений i -того результативного признака первого типа для k_i в

период t будем использовать \hat{y}_i , которая представляет собой производственную функцию (далее – ПФ), параметры которой можно оценить стандартными методами (OLS, MLE) по объединенной по k и t выборке. Приведем пример такой выборки. Будем рассматривать данные для регионов Центрального федерального округа (далее – ЦФО) за 2007–2022 гг. Раздел ОКВЭД сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (раздел А) имеет следующий результативный признак – объем ВРП (в млн руб.). Факторными признаками являются численность занятых (тыс. чел.) и стоимость основных производственных фондов по полной учетной стоимости на конец года (млн руб.)

Подставляя в (1) фактические значения факторных признаков $x_{k,i,j}(t)$ для конкретной k области в период времени t , можно получить нормативные (ожидаемые, плановые) значения результативного признака $\hat{y}_{k,i}(t)$, которые будем называть динамическими нормативами первого типа и обозначим $\bar{y}_{k,i,1}(t)$.

Если построить ПФ по данным только для k_i (например, для Тульской области), то можно получить значения динамических нормативов второго типа $\tilde{y}_{k,i}(t)$ в виде модели $\tilde{y}_{k,i}$, которая применялась ранее в другом качестве как модель функционирования k_i -того элемента – составляющая оптимизационной модели в рамках многоуровневого оптимизационного подхода [28]. Обозначим значения динамических нормативов второго типа как $\bar{y}_{k,i,II}(t)$.

2. Построение нормативов на базе методологии байесовских интеллектуальных измерений

Будем использовать те же обозначения, что и в п. 1. Значения норм для $y_{k,i}(t)$ будем обозначать $\bar{y}_{k,i}(t)$, а для $x_{k,i,j}(t) - \bar{x}_{k,i,j}(t)$. Тогда для их построения в рамках БИИ необходимо осуществить следующие этапы.

1. Задание априорных шкал. Данный этап предполагает формирование базовых априорных числовых и лингвистических шкал с динамическими ограничениями (далее – ШДО) вида $[(\cdot)_{\min} - \sigma_{(\cdot)}; (\cdot)_{\max} + \sigma_{(\cdot)}] : (\cdot) - y_{k,i}$ или $x_{k,i,j}$ (в терминах БИИ это влияющие факторы); $(\cdot)_{\min}$, $(\cdot)_{\max}$ – минимальное и максимальное значение среди $y_{k,i}(t)$ или $x_{k,i,j}(t)$ значений; $\sigma_{(\cdot)}$ – корректировка интервала, определяемого по формуле:

$$\sigma_{(\cdot)} = \bar{(\cdot)}^a / 3. \quad (2)$$

Здесь a – обозначение априорной шкалы, а $\bar{(\cdot)}$ определяется как:

$$\bar{(\cdot)} = ((\cdot)_{\max} + (\cdot)_{\min}) / 2. \quad (3)$$

Будем называть $\bar{(\cdot)}^a$, а также нормы, которые уже известны (задаются на основании стандартов или экспертами), нормами третьего типа, которые обозначим как $\bar{y}_{k,i,III}(t)$.

Для числовой шкалы задается пользователем число реперов L_r , характеризующихся парой чисел $(h_{(\cdot),l}(t); p_{(\cdot),l}(t))$, где $h_{(\cdot),l}(t)$ – значение фактора $(\cdot)(t)$, соответствующее положению репера на шкале с диапазоном динамических ограничений $(l = 1..L_r \in N)$; $p_{(\cdot),l}(t)$ – вероятность, того, что значение $(\cdot)(t) = h_{(\cdot),l}(t)$. Лингвистическая шкала имеет девять классов L_c , начиная от предельно ниже нормы до предельно выше нормы. Для лингвистической шкалы процедура осуществляется аналогично.

Шкала разбивается на девять интервалов с учетом установленной ранее нормы третьего типа посредством перехода от числовых к лингвистическим представлениям [29].

При этом должно выполняться условие:

$$\sum_{l=1}^{L_r} p_{(\cdot),l}(t) = 1. \quad (4)$$

2. Представление влияющих факторов в виде нечетких чисел. Представление значения $x_{k,i,j}(t)$ в форме нечеткого числа будет определяться набором пар чисел $(h_{(\cdot),l}(t); p_{(\cdot),l}^{ap}(t))$ по формуле, аналогичной формуле Байеса [29]:

$$p_{(\cdot),l}^{ap}(t) = P^{ap}(H_{(\cdot),l} | S) = \frac{P^a(H_{(\cdot),l})P(S | H_{(\cdot),l})}{\sum_{j=1}^J P^a(H_{(\cdot),j})P(S | H_{(\cdot),j})}, \quad (5)$$

где ap – обозначение апостериорной вероятности; $H_{(\cdot),l}$ – набор гипотез или альтернативных решений; S – событие, заключающееся в совместном появлении оценок $h_{(\cdot),l}(t)$ для (\cdot) .

3. Формирование мягкой нормы для результативного признака. Как и на предыдущем этапе, значение для $y_{k,i}(t)$ будет представляться набором пар чисел $(h_{y_{k,i},l}(t); \bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t))$, где вероятность $\bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t)$ можно определить по формуле, аналогичной (5):

$$\bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t) = \frac{P^a(h_{y_{k,i},l}(t-1))P(\tilde{h}_{y_{k,i},l}(t))}{\sum_{j=1}^J P^a(h_{y_{k,i},j}(t-1))P(\tilde{h}_{y_{k,i},j}(t))}. \quad (6)$$

Здесь $(t - 1)$ означает, что априорные представления для $y_{k,i}(t)$ получены в предыдущем периоде, а $P(\tilde{h}_{y_{k,i},l}(t))$ вычисляется посредством рекуррентного применения байесовской свертки:

$$P(\tilde{h}_{y_{k,i},l}(t)) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J P^{ap}_{x_{k,i,j,l}}(h_{x_{k,i,j,l}}(t) | \bigcup_{s=1}^J h_{x_{k,i,s,l}}(t)). \quad (7)$$

В случае наличия двух влияющих факторов $P^{ap}_{x_{k,i,j,l}}(h_{x_{k,i,j,l}}(t) | \bigcup_{s=1}^J h_{x_{k,i,s,l}}(t))$ можно представить как:

$$P^{ap}_{x_{k,i,1,l}}(h_{x_{k,i,1,l}}(t) | h_{x_{k,i,2,l}}(t)) = \frac{P^{ap}(H_{x_{k,i,1,l}} | S)P^{ap}(H_{x_{k,i,2,l}} | S)}{\sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q P^{ap}(H_{x_{k,i,1,l}} | S)P^{ap}(H_{x_{k,i,2,q}} | S)}, \quad (8)$$

где L, Q – значимые альтернативные значения для первого и второго фактора соответственно.

4. Расчет нормы для результативного признака. Значение нормы $\bar{y}_{k,i}(t)$ для времени t как средневзвешенное по вероятностям $\bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t)$:

$$\bar{y}_{k,i}(t) = \sum_{l=1}^L \tilde{h}_{y_{k,i},l}(t) \cdot \bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t). \quad (9)$$

При этом информация может поступать из различных источников, что накладывает ограничения в виде метрологических требований $\{MFlow_{k,i}(t)\}$. Кроме того, условия измерений $Conditions_{k,i}(t)$ также могут быть уникальными и зависеть от множества априорной информации A , ограничений и допущений O . Следовательно, в общем случае, представленные соотношения (для вероятностных сомножителей) необходимо дополнить выражением $\{\{MFlow_{k,i}(t)\} Conditions_{k,i}(t)\}$. Такую норму будем называть нормой четвертого типа $\bar{y}_{k,i,IV}(t)$.

3. Выбор норм с учетом приоритетов развития субъектов

Пусть имеется набор значений норм первого, второго, третьего и четвертого типа $(\bar{y}_{k,i,I}(t), \bar{y}_{k,i,II}(t), \bar{y}_{k,i,III}(t), \bar{y}_{k,i,IV}(t))$ для элементов k_i . Каждому k_i можно поставить в соответствие приоритет в виде ранга ($rank = 1..Rank \in N$), что с качественной стороны соответствует степени важности развития субъекта k в направлении i . Чем значимее i , тем выше приоритет. Приоритет можно определить на основании экспертных оценок, с использованием, например, метода попарного сравнения. Если, в качестве результативных признаков принять вклад в ВРП субъекта по виду деятельности (ОКВЭД), то

в качестве критерия ранжирования можно выбрать долю объема ВРП по разделу i , в общем объеме ВРП субъекта (региона). В этом случае для определения ранга целесообразно воспользоваться интервальной оценкой. Длина интервала, для каждого k субъекта определяется по формуле:

$$l = (d_{k,\max} - d_{k,\min}) / Rank, \quad (10)$$

где $d_{k,\max}$, $d_{k,\min}$ – максимальная и минимальная доли ВРП по ОКВЭД для субъекта k .

Тогда приоритет для элемента $k_i \rightarrow rank$, если выполняется условие:

$$d_{k,i} \in [d_{k,\min} + l \cdot (invrank - 1); d_{k,\min} + l \cdot invrank], \quad (11)$$

где $d_{k,i}$ – доля элемента k_i в ВРП по ОКВЭД i ;

$invrank$ – обратное ранжирование;

для первого приоритета в интервал включается $d_{k,\max}$.

Поскольку количество типов норм равно 4, то и число рангов будет соответственно 4 ($Rank = 4$) с термами приоритета: существенно важный, важный, неважный, существенно неважный. В случае рассмотрения только одного периода ранжирование норм будет осуществляться от большего к меньшему значению среди норм $\bar{y}_{k,i,m}(t)$ ($m = I, \dots, IV$). В случае установки норм на среднесрочный период, например, на период T_p , после последнего известного значения в период $t = T$, что встречается при формировании программ социально-экономического развития, то ранжирование рекомендуется осуществлять по агрегированному показателю $\bar{y}_{k,i,m}(t)$, который определяется как:

$$\bar{y}_{k,i,m} = \frac{1}{T_p} \sum_{t=T-T_p}^T \bar{y}_{k,i,m}(t), \quad (12)$$

где $y_{k,i}$ – фактическое значение показателя;

$\bar{y}_{k,i,m}(t)$ – значение нормы m типа.

Согласно этому критерию, можно осуществить выбор нормы для $y_{k,i}$.

4. Программные платформы «ЭФРА» и «Инфоаналитик 2.0»

Программная платформа «ЭФРА» является системой поддержки принятия решений на основе эконометрического моделирования и многоуровневого оптимизационного подхода [25]. Программная среда реализована на языке программирования Delphi и использованием базы данных MS SQL Server.

Работа с программным комплексом «ЭФРА» состоит из следующих этапов:

1. Загрузка данных.
2. Корреляционный и факторный анализ зависимостей.
3. Построение частных и интегральных индикаторов.
4. Оптимизация.

На первом этапе пользователь загружает данные из файла формата $xlsx$ или встроенной базы данных для последующей обработки.

Второй этап предусматривает:

1. Проведение корреляционного анализа. Включает расчет парных коэффициентов корреляции, t -статистики с указанием значимых коэффициентов для задаваемого пользователем уровнем значимости.

2. Факторный анализ зависимостей. Включает построение эконометрических моделей различной функциональной формы (линейная, экспоненциальная, степенная мультипликативная, логарифмическая на основе OLS) и проведение статистического оценивания моделей и их параметров на основе классических статистических тестов (Фишера – для оценки R^2 , Стьюдента – параметров модели, Фаррара–Глобера – мультиколлинеарности, Спирмена – проверки на гетероскедастичность). Кроме того, предусмотрена возможность осуществления прогноза результативных признаков на основании ожидаемых значений факторов, которые могут быть введены вручную или загружены из файла ($xlsx$ формат).

На третьем этапе рассчитываются частные (для элементов) и интегральные (для подсистем и системы в целом) показатели результативности и эффективности, а также коэффициенты гармоничности (показатели сбалансированности функционирования подсистем СЭЭС), которые дают возможность сделать вывод о характере состояния СЭЭС, ее подсистем и элементов в рассматриваемый период времени (если значение результативного признака больше единицы, то функционирование признается удовлетворительным, меньше – неудовлетворительным).

На четвертом этапе осуществляется решение оптимизационных задач с выбором типа ограничений, результатом которого является получение количественно выраженных изменений значений факторов, которые приведут к улучшению значе-

ний результативных признаков, то есть обеспечат их соответствие нормативам с заданной степенью отклонения с учетом накладываемых ограничений.

Первый и второй этапы работы с «ЭФРА» дают возможность построить нормы первого (при загрузке данных для совокупности k_i -тых элементов) и второго (для конкретного k_i элемента) типов.

Программная платформа «Инфоаналитик 2.0» также является системой поддержки принятия решений (язык разработки Python с интеграцией с MS SQL Server), которая базируется на методологии байесовских интеллектуальных измерений и методологии нечеткого логического вывода на основе разрешающих правил, что дает возможность вырабатывать рекомендации лицам, принимающим решения, в зависимости от состояния изучаемой сложной системы, визуализированной в виде иерархической информационной модели с возможностью включения режима аудита с когнитивной графикой (инфограммы).

Работа с программной платформой «Инофана-литик 2.0» состоит из следующих этапов:

1. Формирование структуры модели и загрузка данных.
2. Настройка шкал и расчет динамики.
3. Моделирование и прогноз.
4. Формирование рекомендаций.

На первом этапе осуществляется задание иерархической структуры модели, отображаемой в соответствующем фрейме программного модуля. Кроме того, осуществляется загрузка данных в программную среду, предусматривающая ручной ввод или загрузку из файла формата *xlsx* или *xml*. Введенные значения отображаются во вкладке «Данные». Во вкладке «Факторы» задается описание факторов. Каждый из введенных факторов визуализируется во фрейме как элемент иерархической информационной модели.

На втором этапе для каждого из факторов задается априорная шкала (реализуется формула (4)); генерируется апостериорная шкала (формула (5)); осуществляется расчет динамики (автоматически рассчитываются шкалы для всех заданных периодов времени); вычисляется интегральный или результирующий фактор (в данном случае используется для расчета норм четвертого типа) на основе формул (6)–(8). Результаты расчета апостериорных шкал и норм могут быть сохранены в файл (*xlsx*, *csv*, *xml* и *json* форматы), включающий значения

фактора, соответствующие им вероятности, термы (для лингвистических шкал) левую и правую границы возможных значений фактора. Априорные и апостериорные шкалы, динамика факторов и их интерпретация, метрологические характеристики отображаются в соответствующих фреймах интерфейса «Инфоаналитик 2.0».

На третьем этапе осуществляется моделирование и прогноз. Моделирование представляет собой аппроксимацию нечетких данных полиномами заданного пользователем порядка (OLS). Результатом такого моделирования являются три модели: наиболее вероятная модель, модели нижнего и верхнего уровней, последние из которых определяются порогом значимости для вероятностей термов (реперов) фактора. Прогноз включает задание горизонта прогнозирования, порядка производной и числа точек для расчета средних конечных разностей заданного порядка по фактическим или нечетким данным. Результат представляется в виде апостериорных числовых и лингвистических шкал, которые также могут быть сохранены файл.

Четвертый этап включает формирование рекомендаций, в том числе авторекомендаций (для каких факторов необходимо усилить или ослабить их влияние на результативный или интегральный признак) на основе встроенного алгоритма нечеткого вывода, предусматривающего сравнение вероятного попадания значения фактора в один из классов лингвистической шкалы (девять классов, начиная с предельно ниже нормы до предельно выше нормы).

Все расчеты записываются в базу данных MS SQL Server.

Каждый из этапов реализуется через соответствующие программные модули среды.

В данном исследовании «Инфоаналитик 2.0» применяется для построения норм третьего и четвертого типов, что подразумевает использование базового модуля (*main.py*) и модуля построения шкал (*Scale.py*).

5. Результаты реализации метода на примере областей Центрального федерального округа

Информационная база данного исследования представляет собой находящуюся в открытом доступе статистику по 17 субъектам ЦФО (не учитывая г. Москва). Источником является: «Регионы России. Социально-экономические показатели» [30] (опу-

бликованы на сайте Федеральной службой государственной статистики (далее – Росстат)); данные из Единой межведомственной информационной статистической системы (далее – ЕМИСС) [31]. Данные по ВРП для областей ЦФО в 2022 г. получены из [32], а валовая структура из [33]. Все стоимостные показатели были скорректированы на уровень инфляции [34] и приведены к уровню 2007 года в рамках гипотезы об инвариантности процессов относительно моделей [35]. Для построения динамических норм первого и второго типа были использованы эконометрические модели степенной мультипликативной формы. Результативными признаками (по ОКВЭД1) являются валовой региональный продукт (объем) по разделу «Сельское хозяйство» (раздел А) и ВРП по разделу «Добыча полезных ископаемых» (раздел С), образующие сырьевой сектор в соответствии с секторальной классификацией [8]. В качестве факторов выбраны: стоимость основных производственных фондов по полной учетной стоимости на конец года (млн руб.) и численность занятых (тыс. чел.). Такая структура модели аналогична классической модели Кобба–Дугласа. Базовый период оценки составил период с 2007 по 2022 гг., причем для каждой из моделей с целью улучшения их характеристик выбирались разные периоды, начиная с базового периода и заканчивая периодом 2020–2022 гг. Модели строились по объединенной по k ($k = 1, \dots, 17$) и t ($t = 2007, \dots, 2022$) выборке (по данным 17 областей ЦФО), а также по данным для каждой из 17 областей (всего 34 модели).

Общий вид моделей представлен формулой:

$$y_i = a_0 \cdot x_{i,1}^{a_1} \cdot x_{i,2}^{a_2} + \varepsilon. \quad (13)$$

Здесь y_i – объем ВРП;

$x_{i,1}$ – стоимость ОФ;

$x_{i,2}$ – ЧЗ;

a_i – коэффициенты модели;

ε – остатки для соответствующих по ОКВЭД1 разделов А и С;

$i = 1, 2$.

Модели оценивались как в целом, так и по ее параметрам по p -value. Результаты тестирования представлены на внешнем ресурсе и содержат ряд статистических тестов, включая: критерий Стьюдента (для оценки параметров моделей); Фишера (оценка коэффициента детерминации); классические тесты по ряду остатков (5 тестов), тестирование на гомоскедастичность [36].

На рисунках 1 и 2 в качестве демонстрации представлены фактические данные и результаты расчета нормативов четырех типов объема ВРП по разделам А (Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство) и С (Добыча полезных ископаемых) по ОКВЭД1 для Белгородской, Брянской, Владимирской и Воронежской областей Центрального

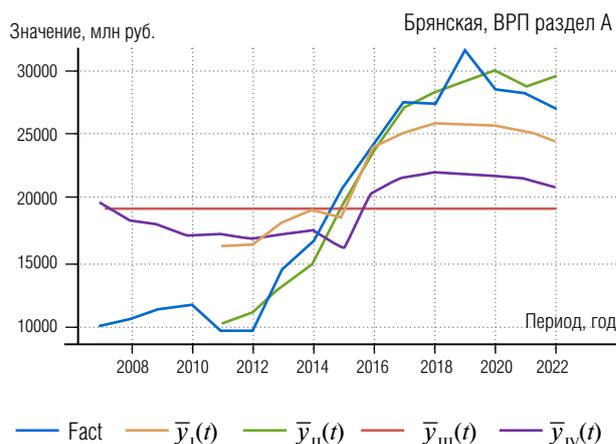
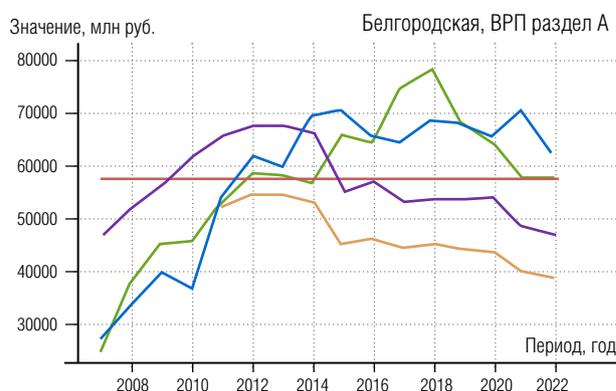


Рис. 1. Фактические и нормативные значения объема ВРП для разделов А и С Белгородской и Брянской областей
Fact – фактические значения показателя;
 $\bar{y}_I(t)$, $\bar{y}_{II}(t)$, $\bar{y}_{III}(t)$, $\bar{y}_{IV}(t)$ – нормы I, II, III и IV типов соответственно.

федерального округа. Начало линий соответствует начальному периоду, который был использован при построении моделей (13).

Из рисунков 1 и 2 видно, что динамика нормативов $\bar{y}_{k,i,I}(t)$ (модель построена на основе данных объединенной по k и t выборке) и $\bar{y}_{k,i,IV}(t)$ сходны. Для Брянской и Тамбовской областей вследствие отсутствия данных объем ВРП по разделу С не рассмотрен.

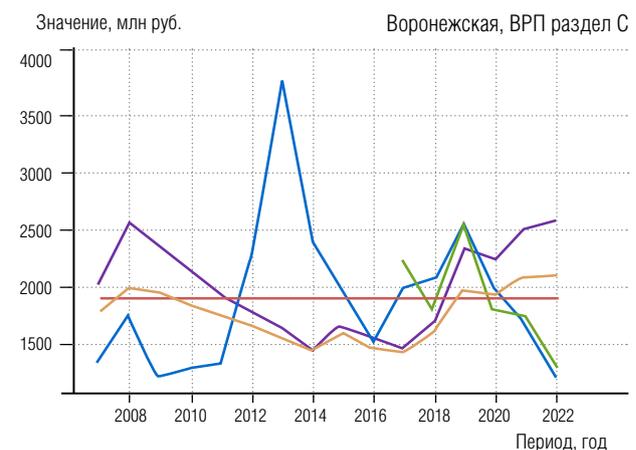
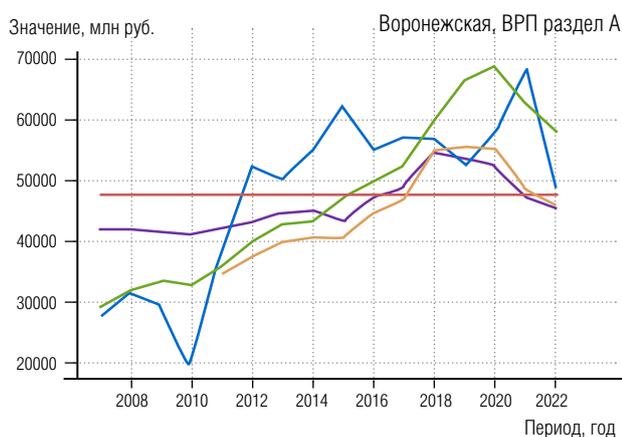
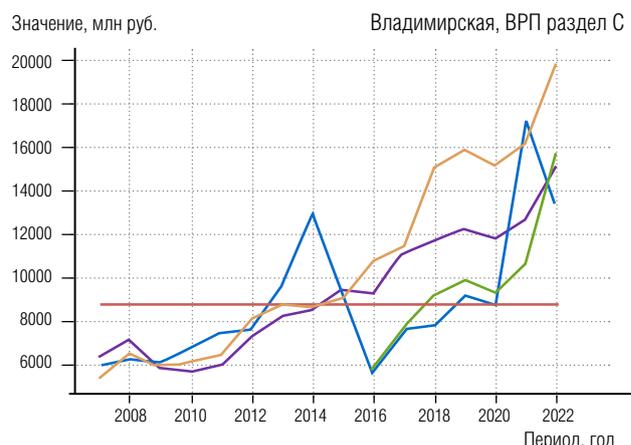
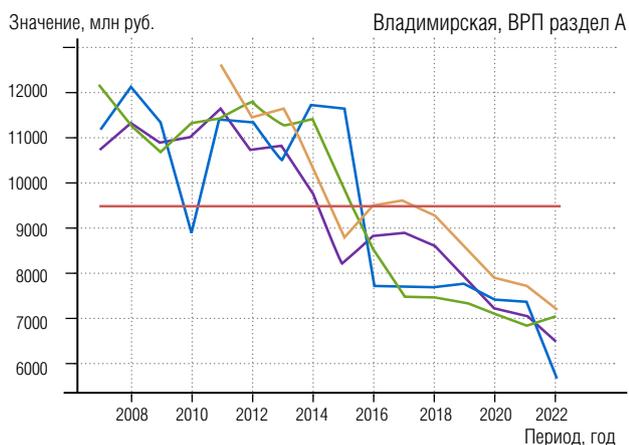
Для всех областей значения нормы второго типа ближе остальных к фактическим значениям.

Резкие скачки фактических значений ВРП для раздела С наблюдались в Белгородской области (2011 г.), Владимирской (2014 г. и 2021 г.), Воронежской (2013 г.) областях.

Аналогичная ситуация наблюдалась в Калужской (2015 г.), Костромской областях (2020 г.). Причем, для Калужской области наиболее высокие нормы на-

блюдались 2012 г. за три года до скачка в 2015 г. объема ВРП по разделу С. Можно предположить, что рост стоимости ОФ и численности занятых дали положительный эффект с запаздыванием на этот период.

В Московском регионе значение нормы первого типа существенно выше, если сравнивать с остальными областями Центрального федерального округа. То есть ожидался более высокий объем ВРП, поскольку Московская область обладает большим объемом основных фондов (в стоимостном выражении), а численность занятых в сельском хозяйстве соизмерима с численностью в Воронежской и Белгородской областях. Однако по фактическим данным можно судить о том, что рост ОФ при незначительном изменении численности занятых с 2016 по 2021 гг. не привел к существенному изменению ВРП, а следовательно увеличение основных фондов оказалось неэффективным.



— Fact — $\bar{y}_I(t)$ — $\bar{y}_{II}(t)$ — $\bar{y}_{III}(t)$ — $\bar{y}_{IV}(t)$

Рис. 1. Фактические и нормативные значения объема ВРП для разделов А и С Владимирской и Воронежской областей. Fact – фактические значения показателя; $\bar{y}_I(t)$, $\bar{y}_{II}(t)$, $\bar{y}_{III}(t)$, $\bar{y}_{IV}(t)$ – нормы I, II, III и IV типов соответственно.

На протяжении всего периода оценки (2007–2022 гг.) наблюдалась схожая картина в Тульском регионе.

В Ярославской области с 2017 по 2022 гг. наблюдалось снижение нормы первого типа, что связано со снижением стоимости основных производственных фондов (2017–2022 гг.) и численности занятых (2017–2021 гг.).

Кроме того, в 2022 г. во всех областях имело место снижение фактического объема ВРП по разделам А и С по отношению к 2021 г., что связано, в том числе, и внешнеполитическими причинами. Это отразилось и на значениях норм всех типов для большинства областей ЦФО. То есть, разработанные нормы чувствительны к конкретным условиям функционирования регионов, что обосновывает целесообразность их использования при оценке результатов деятельности субъектов экономики.

Рекомендованные типы норм для областей ЦФО для разделов А (Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство) и С (Добыча полезных ископаемых) по ОКВЭД1 были определены в соответствии с предложенной методикой их выбора

с использованием формул (10) и (11) по данным 2022 г. Результаты представлены в *таблице 1*.

Таким образом, представлен метод формирования нормативов результатов функционирования сложных систем, дающий возможность учитывать как специфические условия, так и приоритеты.

6. Обсуждение

Метод может быть применен для оценки, анализа и принятия решений функционирования конкретных бизнес-субъектов: предприятий, организаций и их подразделений, действующих в условиях неопределенности и разнородности информации. Действительно, в настоящее время в задачах бизнеса и экономики в целом актуализировались вопросы, связанные с оценкой и мониторингом показателей, для которых нормативные уровни не определены.

К ним относятся, прежде всего, интегральные показатели, определяющие состояние и динамику сложных объектов и систем; индикаторы, зависящие от множества факторов, ряд из которых не могут быть количественно выражены и включены в традиционные модели, а также качественные показатели.

Таблица 1.

Ранги (приоритеты) и типы норм для областей Центрального федерального округа

N	Область	Раздел А			Раздел С		
		Приоритет (ранг)	Доля в структуре ВРП в области	Тип нормы	Приоритет (ранг)	Доля в структуре ВРП в области	Тип нормы
1	Белгородская	2	15,7%	$\bar{Y}_{1,1,III}$	1	21,5%	$\bar{Y}_{1,2,II}$
2	Брянская	1	18,1%	$\bar{Y}_{2,1,II}$	4	0,0%	–
3	Владимирская	4	3,0%	$\bar{Y}_{3,1,IV}$	4	0,7%	$\bar{Y}_{3,2,III}$
4	Воронежская	1	16,2%	$\bar{Y}_{4,1,II}$	4	0,4%	$\bar{Y}_{4,2,II}$
5	Ивановская	4	3,0%	$\bar{Y}_{5,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{5,2,III}$
6	Калужская	4	6,2%	$\bar{Y}_{6,1,I}$	4	0,3%	$\bar{Y}_{6,2,I}$
7	Костромская	3	7,1%	$\bar{Y}_{7,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{7,2,III}$
8	Курская	1	18,2%	$\bar{Y}_{8,1,II}$	2	10,1%	$\bar{Y}_{8,2,II}$
9	Липецкая	3	10,0%	$\bar{Y}_{9,1,III}$	4	0,6%	$\bar{Y}_{9,2,III}$
10	Московская	4	1,5%	$\bar{Y}_{10,1,II}$	4	0,1%	$\bar{Y}_{10,2,II}$
11	Орловская	1	23,5%	$\bar{Y}_{11,1,II}$	4	0,1%	$\bar{Y}_{11,2,I}$
12	Рязанская	3	9,8%	$\bar{Y}_{12,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{12,2,IV}$
13	Смоленская	4	4,0%	$\bar{Y}_{13,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{13,2,II}$
14	Тамбовская	1	30,3%	$\bar{Y}_{14,1,II}$	4	0,0%	–
15	Тверская	4	5,2%	$\bar{Y}_{15,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{15,2,IV}$
16	Тульская	4	6,5%	$\bar{Y}_{16,1,III}$	4	0,6%	$\bar{Y}_{16,2,IV}$
17	Ярославская	4	4,0%	$\bar{Y}_{17,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{17,2,IV}$

Это затрудняет формирование нормативов. Кроме того, информационные аспекты определения таких норм усложняются в связи со значительной неопределенностью, связанной с неточностью, неполнотой и нечеткостью исходных данных, их разнотипностью, а также распределенностью в пространстве и во времени. Оказывает значительное влияние также ситуационная неопределенность, присущая современным бизнес-системам и экономике.

В качестве примеров можно привести следующие показатели.

Уровень конкурентоспособности предприятия. Этот сложный неколичественный показатель определяется, как правило, рейтингом предприятия в соответствующих рейтинговых агентствах. Для его определения агентства используют количественную информацию балансовых отчетов предприятия, которая является, как известно, неполной и неточной в реальной практике. Кроме того, нормативы, которыми пользуются агентства, являются их собственными, рассчитанными по разработанным ими методикам. Поэтому оценки конкурентоспособности получаются различными и необъективными. В связи с этим в работе предлагаются подходы, в частности использование норм первого типа, позволяющих рассчитывать нормативы, учитывающие условия, в которых функционируют как оцениваемый субъект экономики, так и его окружение (конкуренты).

Эффективность бизнеса. Классический подход к определению этого показателя предполагает вычисление ключевых показателей эффективности (КПИ), выраженных в количественной форме. Однако не все показатели, определяющие эффективность бизнеса, могут иметь постоянные нормативы. Например, показатель устойчивости предприятия как в отношении объемов выпускаемой продукции, так и в отношении численности работающих. Такие показатели имеют динамический характер, поэтому нормативы для них должны определяться в зависимости от складывающейся производственной ситуации. Так, численность работающих на малых и средних предприятиях может варьироваться именно для поддержания высокого уровня эффективности бизнеса. Динамические интервальные (мягкие) нормативы (нормы четвертого типа), предлагаемые в работе, позволяют точнее и достовернее определять этот интегральный показатель.

Объем продаж. Этот показатель зависит от многочисленных факторов, таких как сезонность, рыноч-

ная ситуация, имиджевые характеристики свойств товаров и предприятия, которые также не определяются конкретным числом, а могут быть установлены только в определенных пределах. В этом случае, интервальные динамические нормы, определяемые нормой четвертого типа без взвешивания, могут быть очень полезны.

Удовлетворенность потребителя. Это – сложный динамический показатель, на который оказывает сильное влияние рыночная конъюнктура. Поэтому также необходимы мягкие динамические нормы.

В дальнейшем предложенные нормы предполагается использовать при построении оптимизационных моделей, позволяющих найти наиболее выгодные с точки зрения бизнеса изменения факторов, приводящих к улучшению целевых показателей функционирования субъектов экономики. Это даст возможность менеджерам различных уровней усилить обоснование принимаемых решений.

Заключение

В настоящей статье представлен метод формирования динамических нормативов сложных систем с учетом приоритетов развития на базе эконометрического моделирования и методологии байесовских интеллектуальных измерений.

Применение метода для областей Центрального федерального округа по данным за 2007–2022 гг. на базе программных платформ «ЭФРА» и «Инфоаналитик 2.0» подтвердило возможность конструирования норм (4 типа) с учетом факторов, влияющих на результаты функционирования элементов системы, в том числе в условиях неполноты и нечеткости данных.

Результаты исследования могут быть полезны региональным органам управления при анализе ситуаций, формировании программ социально-экономического развития в части установления плановых показателей на краткосрочный и среднесрочный периоды, а также для синтеза решений, в том числе с применением оптимизационных моделей, направленных на обеспечение устойчивого развития государства и его субъектов. ■

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-20020¹ и Тульской области.

¹ <https://rscf.ru/project/24-28-20020/>

Литература

1. Жуков Р.А. Социо-эколого-экономические системы: теория и практика. М.: ИНФРА-М, 2019. https://doi.org/10.12737/monography_5b7516626665a8.43347695
2. Жуков Р.А. Моделирование развития иерархических социально-экономических систем на основе многоуровневого оптимизационного подхода. Дисс. ... д-ра экон. наук. М., 2023.
3. Андреев А.В. Теоретические основы надежности технических систем / учебное пособие / А.В. Андреев, В.В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018.
4. Техническое регулирование: технические регламенты и стандартизация: учебное пособие / сост. И.Ю. Матушкина, Л.А. Онищенко. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018.
5. Белик А.Г. Качество и надежность программных систем: учеб. пособие / А.Г. Белик, В.Н. Цыганенко; Минобрнауки России, ОмГТУ. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018.
6. He D., Kang Hou K., Li X.X., Wu S.Q., Ma L.X. A reliable ecological vulnerability approach based on the construction of optimal evaluation systems and evolutionary tracking models // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 419. 138246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138246>
7. Мезенина О.Б. Экономика природопользования: экономическая эффективность природоохранных затрат промышленного предприятия: учебное пособие. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2023.
8. Дмитриев В.В., Календин Н.В. Интегральная оценка состояния региональных социо-эколого-экономических систем и качества жизни населения (на примере субъектов Северо-западного федерального округа России) // *Балтийский регион*. 2016. Т. 8. № 2. С. 125–140. <https://doi.org/10.5922/2074-9848-2016-2-7>
9. Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А. Системная сбалансированность экономики России. Региональный разрез // *Экономика региона*. 2019. Т. 15. № 2. С. 309–323. <https://doi.org/10.17059/2019-2-1>
10. Палаш С.В. Структурная сбалансированность экономики: государственные программы промышленного развития в Российской Федерации // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Экономические науки*. 2017. Т. 10. № 1. С. 53–72. <https://doi.org/10.18721/JE.10105>
11. Sun X., Liu X., Li F., Tao Y., Song Y. Comprehensive evaluation of different scale cities sustainable development for economy, society, and ecological infrastructure in China // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 163. P. 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.002>
12. Оценка эффективности регионов РФ с учетом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни населения / В.Л. Макаров и [др.] // *Экономика региона*. 2014. № 4. С. 9–30. <https://doi.org/10.17059/2014-4-1>
13. Методы оценки технической эффективности регионов Сибирского федерального округа с использованием кривой производственных возможностей / А.А. Михальчук и [др.] // *Вестник НГУЭУ*. 2022. № 4. С. 76–91. <https://doi.org/10.34020/2073-6495-2022-4-076-091>
14. Mishra S.K. A brief history of production functions // *The UIP Journal of Managerial Economics*, UIP Publications. 2010. Vol. 8. No. 4. P. 6–34.
15. Construction of an aggregated production function with implementation based on the example of the regions of the Central federal district of the Russian Federation / R.A. Zhukov [et al.] // *Business Informatics*. 2022. Vol. 16. No. 3. P. 7–23. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.3.7.23>
16. Zhukov R. Balanced functioning of socio-economic systems: regional perspective / R. Zhukov [et al.] // *Journal of Law and Sustainable Development*. 2023. Vol. 11. No. 12. e1922. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i12.1922>
17. Pedroza C. A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality // *Biostatistics*. 2006. Vol. 7. No. 4. P. 530–550. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxj024>
18. Long K.Q. Clustering lifestyle risk behaviors among Vietnamese adolescents and roles of school: A Bayesian multilevel analysis of global school-based student health survey 2019 / K.Q. Long, H.T. Ngoc-Anh, N.H. Phuong et al. // *The Lancet Regional Health – Western Pacific*. 2021. Vol. 15. 100225. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100225>
19. Gallardo M. Measuring vulnerability to multidimensional poverty with Bayesian network classifiers // *Economic Analysis and Policy*. 2022. Vol. 73. P. 492–512. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.11.018>
20. Прокопчина С.В. Мягкие вычисления и измерения. Методы, информационные технологии и средства интеллектуальной обработки информации в задачах цифровизации: монография. М.: Научная библиотека, 2019.
21. Прокопчина С.В., Щербаков Г.А., Ефимов Ю.В. Моделирование социально-экономических систем в условиях неопределенности: учебное пособие. М.: Научная библиотека, 2019.
22. Березин А.С., Жуков Р.А., Прокопчина С.В. Байесовские интеллектуальные измерения индексов и показателей региональной обеспеченности объектами культуры // *Мягкие измерения и вычисления*. 2022. Т. 53. № 4. С. 5–15. <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.04.001>
23. О динамике смертности в Тульской области / Р.А. Жуков [и др.] // *Мягкие измерения и вычисления*. 2022. Т. 60. № 11-2. С. 30–38. <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.11-2.003>
24. Модель ценностного мира российской молодежи на основе байесовских интеллектуальных измерений / Р.А. Жуков [и др.] // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2024. Т. 15. № 1. С. 96–114. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>

25. Жуков Р.А. Подход к оценке функционирования иерархических социально-экономических систем и принятию решений на базе программного комплекса «ЭФРА» // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 3. С. 82–95. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.82.95>
26. Жуков Р.А., Прокопчина С.В. Программный комплекс «Инфоаналитик 2.0». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617544 от 03.04.2024. [Электронный ресурс]: <https://fips.ru/EGD/0b443bd3-982b-41db-a413-b1b035d9c596> (дата обращения 24.10.2024).
27. Жуков Р.А. Метод оценки результатов функционирования иерархических социально-экономических систем на основе агрегированной производственной функции // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 3. С. 17–31. <https://doi.org/10.31857/S042473880016428-9>
28. Multi-criteria optimization as the methodology of ensuring sustainable development of regions: Tula region of the Russian Federation / R.A. Zhukov [et al.] // International Journal of Sustainable Development and Planning. 2023. Vol. 18. No. 4. P. 1057–1068. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180408>
29. Прокопчина С.В. Основы теории шкалирования в экономике: учебное пособие. М.: Научная библиотека, 2021.
30. Регионы России. Социально-экономические показатели // Федеральная служба государственной статистики, 2024. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения 24.10.2024).
31. Единая межведомственная информационная статистическая система (ЕМИСС) // ЕМИСС – Государственная статистика, 2024. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения 24.10.2024).
32. Рейтинг социально-экономического развития регионов в 2022 году // Сетевое издание «Реальное время», 2024. [Электронный ресурс]: <https://realnoevremya.ru/attachments/1760> (дата обращения 24.10.2024).
33. Валовая структура регионального продукта в 2022 г. // ЕМИСС – Государственная статистика, 2024. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/59450> (дата обращения 24.10.2024).
34. Таблицы инфляции // уровень-инфляции.рф, 2024. [Электронный ресурс]: <https://уровень-инфляции.рф/таблицы-инфляции> (дата обращения 24.10.2024).
35. Жуков Р.А., Плинская М.А., Манохин Е.В. Оценка функционирования регионов на основе производственных функций с приведенными стоимостными факторами // Journal of Applied Economic Research. 2023. Т. 22. № 3. С. 657–682. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.027>
36. Результаты тестирования моделей. [Электронный ресурс]: <https://disk.yandex.ru/i/CJFtrRDuWYsdsq> (дата обращения 24.10.2024).

Об авторах

Жуков Роман Александрович

д.э.н., к.ф.-м.н., доц.;

научный сотрудник, профессор, кафедра «Математика и информатика», Тульский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Россия, 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а;

E-mail: pluszh@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2280-307X

Прокопчина Светлана Васильевна

д.т.н., проф.;

профессор, кафедра моделирования и системного анализа, факультет информационных технологий и анализа больших данных, Финансовый университет при Правительстве РФ, Россия, 125167, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 49;

E-mail: svprokopchina@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5500-2781

Плинская Мария Александровна

магистрант, Тульский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Россия, 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а;

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1307-0935

Желуницина Мария Анатольевна

магистрант, Тульский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Россия, 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а;

E-mail: maria202001@yandex.ru

ORCID: 0009-0006-3129-2749

Building a system of dynamic norms for evaluating the functioning of complex systems on the example of the regions of the Central Federal District

Roman A. Zhukov^a

E-mail: pluszh@mail.ru

Svetlana V. Prokopchina^b

E-mail: svprokopchina@mail.ru

Maria A. Plinskaya^a

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

Maria A. Zhelunitsina^a

E-mail: maria202001@yandex.ru

^a Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch, Tula, Russia

^b Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract

In this paper, we present a method of forming norms for evaluating the results of the functioning of complex systems applicable to socio-ecological and economic systems, taking into account the priorities of the development of the regions of the Russian Federation. The methodology involves the selection of normative values from a set of norms based on two methods: the first is based on the construction of econometric models using statistical data for a set of subjects (the first type) and for one selected subject (the second type). The second method uses the methodology of Bayesian intelligent measurements based on the regularizing Bayesian approach (the third and fourth types). Depending on the result of the calculations, a norm is selected that gives a higher (in the case of high priority), average (in the case of medium priority) and lower (in the case of low priority) normative value of the evaluated effective features characterizing the development of the subject. The implementation of the method is demonstrated by the example of the regions of the Central Federal District, including the Tula Region, for which econometric and fuzzy models of the relationship between the volume of gross regional product with the value of fixed assets and the number of employees for sections A (Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming) and C (Mining) according to OKVED1 are constructed, forming the raw materials sector according to data for 2007–2022. The EFRA and Infoanalyst 2.0 software platforms are used as tools. The results obtained can be used by regional authorities in the formation of norms to assess the results of the functioning of the regions in the short and medium term.

Keywords: econometric model, fuzzy model, Bayesian intellectual measurements, norm, software platform, socio-ecological and economic system

Citation: Zhukov R.A., Prokopchina S.V., Plinskaya M.A., Zhelunitsina M.A. (2024) Building a system of dynamic norms for evaluating the functioning of complex systems on the example of the regions of the Central Federal District. *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 46–60. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.46.60

References

1. Zhukov R.A. (2019) *Socio-ecological-economic systems: Theory and practice*. Moscow: INFRA-M (in Russian). https://doi.org/10.12737/monography_5b7516626665a8.43347695
2. Zhukov R.A. (2023) *Modeling the development of hierarchical socio-economic systems based on a multi-level optimization approach*. Moscow: Financial University under the Government of the Russian Federation (in Russian).
3. Andreev A.V. (2018) *Theoretical foundations of reliability of technical systems*. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University (in Russian).
4. Matushkina I.Y., Onishchenko L.A. (2018) *Technical regulation: technical regulations and standardization: a textbook*. Yekaterinburg: Ural University Publishing House (in Russian).
5. Belik A.G. (2018) *Quality and reliability of software systems: textbook*. Omsk: Publishing House of OmSTU (in Russian).
6. He D., Kang Hou K., Li X.X., Wu S.Q., Ma L.X. (2023) A reliable ecological vulnerability approach based on the construction of optimal evaluation systems and evolutionary tracking models. *Journal of Cleaner Production*, vol. 419, 138246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138246>
7. Mezenina O.B. (2023) *Economics of environmental management: economic efficiency of environmental protection costs of an industrial enterprise: a textbook*. Yekaterinburg, UGLTU (in Russian).
8. Dmitriev V.V., Kaledin N.V. (2016) Russian Northwest: An integral assessment of the conditions of regional social, environmental and economic systems and quality of life. *Baltic Region*, vol. 8, no. 2, pp. 125–140 (in Russian). <https://doi.org/10.5922/2074-9848-2016-2-7>
9. Kleiner G.B., Rybachuk M.A. (2019) System balance of the Russian economy: Regional perspective. *Economy of Region*, vol. 15, no. 2, pp. 309–323 (in Russian). <https://doi.org/10.17059/2019-2-1>
10. Palash S.V. (2017) Structural balance of the economy: government programs for industrial development in the Russian Federation. *St. Petersburg State Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 53–72 (in Russian). <https://doi.org/10.18721/JE.10105>
11. Sun X., Liu X., Li F., Tao Y., Song Y. (2017) Comprehensive evaluation of different scale cities sustainable development for economy, society, and ecological infrastructure in China. *Journal of Cleaner Production*, vol. 163, pp. 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.002>
12. Makarov V.L., Aivazyazyan S.H., Afanasiev M.Yu., Bakhtizin A.R., Nanavyan A.M. (2014) The estimation of the regions' efficiency of the Russian Federation including the intellectual capital, the characteristics of readiness for innovation, level of well-being, and quality of life. *Economy of Region*, vol. 4, pp. 9–30 (in Russian). <https://doi.org/10.17059/2014-4-1>
13. Mikhailchuk A.A., Chistyakova N.O., Akerman E.A., Tatarnikova V.V. (2022) Evaluation methods of the technical efficiency of the Siberian Federal District regions using the production possibilities curve. *Vestnik NSUEM*, no. 4, pp. 76–91 (in Russian). <https://doi.org/10.34020/2073-6495-2022-4-076-091>
14. Mishra S.K. (2010) A brief history of production functions. *The UIP Journal of Managerial Economics, UIP Publications*, vol. 8, no. 4, pp. 6–34.
15. Zhukov R.A., Kozlova N.A., Manokhin E.V., Plinskaya M.A. (2022) Construction of an aggregated production function with implementation based on the example of the regions of the Central Federal District of the Russian Federation. *Business Informatics*, vol. 16, no. 3, pp. 7–23. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.3.7.23>
16. Zhukov R., Kuznetsov G., Manokhin E., Gorodnichev S., Plinskaya M. (2023) Balanced functioning of socio-economic systems: regional perspective. *Journal of Law and Sustainable Development*, vol. 11, no. 12, e1922. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i12.1922>
17. Pedroza C. (2006) A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality. *Biostatistics*, vol. 7, no. 4, pp. 530–550.
18. Long K.Q. (2021) Clustering lifestyle risk behaviors among Vietnamese adolescents and roles of school: A Bayesian multilevel analysis of global school-based student health survey 2019 / K.Q. Long, H.T. Ngoc-Anh, N.H. Phuong et al. *The Lancet Regional Health – Western Pacific*, vol. 15, 100225. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100225>
19. Gallardo M. (2022). Measuring vulnerability to multidimensional poverty with Bayesian network classifiers. *Economic Analysis and Policy*, vol. 73, pp. 492–512. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.11.018>
20. Prokopchina S.V. (2019) *Soft calculations and measurements. Methods, information technologies and means of intellectual information processing in digitalization tasks: monograph*. Moscow: Scientific Library (in Russian).
21. Prokopchina S.V., Shcherbakov G.A., Efimov Yu.V. (2019) *Modeling of socio-economic systems in conditions of uncertainty*. Moscow: Scientific Library (in Russian).
22. Berezin A.S., Zhukov R.A., Prokopchina S.V. (2022) Bayesian intellectual measurements of indices and indicators of regional availability of cultural objects. *Soft Measurement and Computing*, vol. 53, no. 4, pp. 5–15 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.04.001>
23. Zhukov R.A., Grigoriev E.V., Plinskaya M.A., Zhelunitsina M.A. (2022) On the dynamics of mortality in the Tula region. *Soft Measurement and Computing*, vol. 60, no. 11-2, pp. 30–38 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.11-2.003>
24. Zhukov R.A., Prokopchina S.V., Bormotov I.V., Manokhin E.V., Rudneva I.D. (2024) The model of the value system of Russian youth based on Bayesian intellectual measurements. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*, vol. 15, no. 1, pp. 96–114 (in Russian). <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>

25. Zhukov R.A. (2020) An approach to assessing the functioning of hierarchical socio-economic systems and decision-making based on the EFRA software package. *Business Informatics*, vol. 14, no. 3, pp. 82–95. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.82.95>
26. Zhukov R.A., Prokopchina S.V. *The Infoanalyst 2.0 software package. Certificate of state registration of the computer program No. 2024617544 dated 04.03.2024*. Available at: <https://fips.ru/EGD/0b443bd3-982b-41db-a413-b1b035d9c596> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
27. Zhukov R.A. (2021) Method for assessing the results of hierarchical socio-economic systems' functioning based on the aggregated production function. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 57, no. 3, pp. 17–31 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880016428-9>
28. Zhukov R.A., Kozlova N.O., Manokhin E.V., Myasnikova E.B., Melay E.A. (2023) Multi-criteria optimization as the methodology of ensuring sustainable development of regions: Tula region of the Russian Federation. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 18, no. 4, pp. 1057–1068. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180408>
29. Prokopchina S.V. (2021) *Fundamentals of the theory of scaling in economics: textbook*. Moscow: Scientific Library (in Russian).
30. Federal State Statistics Service (2024) *Regions of Russia. Socio-economic indicators*. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
31. *Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS)*. Available at: <https://www.fedstat.ru> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
32. *Rating of socio-economic development of regions in 2022*. Available at: <https://realnoevremya.ru/attachments/1760> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
33. *The gross structure of the regional product in 2022*. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/59450> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
34. *Tables of inflation*. Available at: <https://уровень-инфляции.рф/таблицы-инфляции> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
35. Zhukov R.A., Plinskaya M.A., Manokhin E.V. (2022) Assessment of the regions functioning based on production functions with the above cost factors. *Journal of Applied Economic Research*, vol. 22, no. 3, pp. 657–682. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.027>
36. *The results of model testing*. Available at: <https://disk.yandex.ru/i/CJFtrRDuWYsdsg> (accessed 24 October 2024) (in Russian).

About the authors

Roman A. Zhukov

Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.;

Researcher, Professor, Department of Mathematics and Informatics, Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch, 1a, Oruzheynaya Street, Tula 300012, Russia;

E-mail: pluszh@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2280-307X

Svetlana V. Prokopchina

Dr. Sci. (Tech.), Prof.;

Professor, Department of Modeling and System Analysis, Faculty of Information Technology and Big Data Analysis, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49, Leningradsky Prospekt, Moscow 125167, Russia;

E-mail: svprokopchina@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5500-2781

Maria A. Plinskaya

Master Student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch, 1a, Oruzheynaya Street, Tula 300012, Russia;

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1307-0935

Maria A. Zhelunitsina

Master Student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch, 1a, Oruzheynaya Street, Tula 300012, Russia;

E-mail: maria202001@yandex.ru

ORCID: 0009-0006-3129-2749

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.61.80

Разработка высокоуровневого дизайна программно-аналитического комплекса предприятия, обеспечивающего сквозное планирование

Н.Н. Середенко 

E-mail: Seredenko.NN@rea.ru

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

Аннотация

В настоящее время многие компании, занимающиеся производством товаров среднесрочной оборачиваемости, на определенной стадии развития сталкиваются с необходимостью проектирования высокоуровневого дизайна программного комплекса, позволяющего поддерживать полный цикл планирования продаж, производства, логистики и маркетинговых кампаний. Это обусловлено постепенным ростом компаний и внедрением в разное время независимых программных систем/модулей, позволяющих реализовывать ограниченные бизнес-процессы без связи со смежными функциями и бизнес-процессами предприятия. Таким образом, предприятия оказываются в ситуации, когда в различных подразделениях внедрен разрозненный набор информационных систем и программных модулей, в рамках которых производится локальный учет и аналитика различных операций, при этом программно-аналитический комплекс в целом не обеспечивает полный, связанный, циклический процесс планирования. В работе представлена модель требований к функциям, информационным объектам и потокам данных, обеспечивающая сквозное планирование, а также предложен подход, позволяющий выявить недостающие объекты имеющегося информационного комплекса предприятия. Разработана аналитическая сеть, состоящая из недостающих элементов, учитывающая зависимости и взаимосвязи информационных объектов и программных модулей, позволяющая сформировать вектор приоритетов относительной значимости компонентов ПО. Данный вектор представляет собой набор приоритетов доработок программного комплекса предприятия и позволяет более эффективно распределять ресурсы команды разработки для программной реализации недостающих функций, информационных объектов и интеграционных потоков данных между программными модулями.

Ключевые слова: высокоуровневый дизайн программного комплекса предприятия, сквозное планирование на предприятии, моделирование потоков данных, проектирование информационной архитектуры предприятия, интеграция программных модулей предприятия, функциональный состав систем предприятия, метод аналитических сетей

Цитирование: Середенко Н.Н. Разработка высокоуровневого дизайна программно-аналитического комплекса предприятия, обеспечивающего сквозное планирование // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 61–80. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.61.80

Введение

Компании, занимающиеся производством товаров среднесрочной оборачиваемости, находятся в постоянном поиске эффективных решений для повышения точности планирования продаж. Стоит заметить, что качество планирования зависит не только от анализа исторических продаж компании и состояния рынка, но и от анализа деятельности внутренних процессов: производство, маркетинг, логистика. Для того, чтобы бизнес-планы и операционные планы продаж максимально соответствовали будущей реальности, необходимо при планировании учитывать процессы смежных функциональных подразделений предприятия [1–3]. Таким образом, является актуальной задача построения системы сквозного планирования на предприятии, представляющей собой взаимосвязь процессов, отраженных в системе планов и отчетов и обеспечивающих сквозное планирование всех производственных, экономических, финансовых и прочих процессов деятельности предприятия [4, 5].

От информационного комплекса, поддерживающего сквозное взаимосвязанное циклическое планирование, требуется реализация большого количества сложных функций, а также высокий уровень интеграционных решений для осуществления оперативного обмена информационными объектами между модулями [6, 7]. При этом жизненный цикл развития информационного комплекса предприятия часто представляет собой разрозненное, разнесенное во времени внедрение отдельных модулей для решения локальных задач отдельного подразделения. На рынке программного обеспечения существуют корпоративные информационные системы, содержащие модули для автоматизации деятельности подразделений производства, продаж, маркетинга и логистики, а также имеющие цельную и непротиворечивую модель данных в основе своей

архитектуры, что позволяет организовывать сложные взаимосвязанные процессы внутри одной платформы. Это ERP-системы, монолитные комплексные решения, которые призваны соединять разные задачи и бизнес-процессы. Но часто к тому моменту, когда компания осознает потребность выстраивания сквозных взаимосвязанных процессов и имеет финансовую возможность для внедрения крупных платформ, у нее в арсенале уже имеется большой информационный комплекс из различных, слабо связанных между собой решений. Одномоментный отказ от всех имеющихся программных решений с целью внедрения единой платформы может привести к остановке деятельности организации и крайне сложен для реализации. Кроме того, монолитные решения сложно масштабировать, они обладают слабой отказоустойчивостью и риском зависимости от единой платформы и технологий.

В случае, если компания имеет определенную стратегию архитектурного развития своего программного комплекса, решение задачи построения информационного комплекса, обеспечивающего сквозное планирование, может иметь свои особенности. В рамках текущего исследования рассмотрен вопрос применимости наиболее распространенных программных архитектур к эффективному решению задачи сквозного планирования (*приложение 1*). На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что предприятиям, столкнувшимся с необходимостью решать задачи сквозного планирования, следует развивать информационный комплекс в соответствии с принципами микросервисной или гибридной архитектуры [8, 9], либо слоистой архитектуры. Использование облачных сервисов также возможно, но в приоритетном порядке должна решаться задача безопасности внутреннего контура предприятия и доступа к нему из облачных сервисов. В случае, если предприятие к моменту осознания потребности в решении задачи сквозного пла-

нирования имеет разрозненный информационный комплекс, имеет смысл параллельно построить стратегию развития информационного комплекса предприятия, выбрав архитектурный подход.

Теоретические исследования и практические работы в сфере сквозного планирования рассматривают различные подходы к организации программно-аналитического комплекса предприятия [10]. Большинство из них предлагают единые решения, такие, как «1С:Комплексная автоматизация» [11], «1С:ERP Управление предприятием» [4], Oracle Hyperion Planning [12, 13], IBM Planning Analytics [14], SAP Analytics [15]. Однако в научных исследованиях по данной теме не исследуется состояние организации, когда к определенному моменту развития в ключевых функциональных подразделениях уже внедрены различные системы в соответствии с некоторыми выбранными архитектурными принципами, и настроено взаимодействие между ними.

В данной работе рассматриваются предприятия, сталкивающиеся с необходимостью дорабатывать существующий программный комплекс с целью повышения эффективности процесса сквозного планирования, и использующие микросервисную, гибридную, слоистую архитектуру, либо разрозненный программный комплекс. Процесс доработки информационного комплекса предприятия представляет собой формирование и реализацию портфеля ИТ-проектов, в котором каждый проект – это настройка недостающего взаимодействия (интеграции) между системами/модулями программного комплекса предприятия.

Согласно классификатору, разработанному в исследовании [16], модернизация подобного рода состояния организации классифицируется как оптимизационная задача поиска конкурентных решений по усовершенствованию инфраструктуры предприятия. Это подразумевает выделение набора нереализованных задач, а также определение приоритетов, в соответствии с которыми их целесообразно реализовывать. Данная задача является актуальной для предприятия, так как приводит к достижению стратегических целей.

1. Постановка задачи

Разработка ИТ-стратегии в организации является ключевым процессом, представляет особый интерес ввиду огромной роли и высокого уровня цифровизации большинства современных компаний.

Объектом исследования являются компании, чей информационный комплекс состоит из отдельных модулей, взаимосвязь которых реализована в том числе через передачу информационных объектов. Каждый микросервис (модуль) включает в себя свой стек функций, технологий, способов организации данных и программных интерфейсов, в зависимости от программной архитектуры предприятия [17]. Целеполагание данных организаций в рамках развития ИТ-ландшафта в контексте поддержки сквозного планирования подразумевает разработку плана по реализации согласованной доработки каждого микросервиса (модуля).

Стоит заметить, что концептуальная схема сквозного планирования может различаться в зависимости от экономических, производственных, финансовых и прочих процессов деятельности предприятия [4]. На основе статистического наблюдения за основными направлениями [18, 19], сформулируем возможный пример целей, которые ставит перед собой руководство компании при организации сквозного планирования, и вытекающие из них бизнес-требования к соответствующему программному комплексу (*рис. 1*).

Заметим, что достижение данных целей возможно только при наличии программного комплекса, реализующего полный набор соответствующих функций, информационных объектов и интеграций.

Для того, чтобы помочь организациям реализовывать стратегии развития информационных технологий, обеспечивающих возможность сквозного планирования, в рамках текущего исследования предлагается методика, основанная на проектировании эффективного шаблона высокоуровневого дизайна системы и приведения информационного комплекса предприятия к разработанному шаблону. Согласно компонентной методологии реинжиниринга бизнес-процессов, предложенных в работах Ю.Ф. Тельнова [20, 21], система предприятия представляет собой кортеж компонентов $S = \langle G, E, E_n, T, F, R, Z \rangle$. Применительно к рассматриваемой области, уточним определение компонент:

G – множество целей бизнеса, связанных с требованиями к информационному комплексу, представленных на *рис. 1*. В рамках работы актуальными являются рыночные и финансовые цели.

E – множество информационных элементов, а именно, модулей и систем, входящих в состав информационного комплекса, обеспечивающего сквозное планирование.



Рис. 1. Связь бизнес-требований предприятия в сфере сквозного планирования с требованиями к информационному комплексу.

E_n – множество элементов рыночной и общественной среды. В контексте решаемой в работе задачи подразумевают под собой экономические обстоятельства, вынуждающие организации повышать эффективность сквозного планирования на предприятии.

T – множество периодов времени, характеризующих цикличность процессов сквозного планирования.

F – множество функций, входящих в процесс сквозного планирования, реализуемых в рамках множества информационных модулей E .

R – множество отношений, которые будем интерпретировать как множество интерфейсов (интеграционных взаимодействий) между информационными модулями E . Каждый интерфейс – это настроенная передача отдельного информационного объекта из модуля E_n модулю E_m .

Z – множество закономерностей (стратегий, методов) функционирования информационно-

го комплекса. В качестве методов в работе предлагается использовать метод аналитических сетей Т.Л. Саати [22] для ранжирования приоритетов недостающих объектов.

Таким образом, постановка задачи в рамках предложенных терминов будет звучать следующим образом. Предлагается выделить типовой набор бизнес-процессов (функций) F_{full} , разложенных по программным модулям E_{full} , и полный типовой набор передаваемых используемых данных (информационных объектов) R_{full} из модуля E_n модулю E_m , которые нужны предприятию для организации сквозного планирования. Далее предлагается сравнить фактическое множество реализованных функций и передаваемых информационных объектов организации с типовым набором модели и выделить множество F и R , представляющее собой разницу между фактическим и типовым множеством. В качестве примера множества F можно привести одно из возможных состояний информационной инфраструктуры предприятия: отсутствие

функций учета и планирования логистики; нереализованная функция планирования маркетинга; формирование плана производства без учета факта продаж. Примером множества R может служить следующий набор отсутствующих информационных объектов: отсутствие планов по производству в модуле логистики, данных по продажам в модуле маркетинга, фактов продаж в модуле производства. Далее задача сводится к реализации недостающих информационных объектов в соответствующих модулях, а также недостающих функций, использующих эти объекты. Для повышения эффективности реализации данной задачи необходимо рассчитать приоритеты портфеля недостающих объектов.

Этапы описанной методики приведены на *рис. 2*.

2. Жизненный цикл процесса сквозного планирования

Для того, чтобы сформировать требования к потокам данных для высокоуровневого дизайна программно-аналитического комплекса предприятия, соответствующего сформулированным целям, необходимо определить требования к взаимосвязям между модулями:

- ◆ Фактические данные о продажах должны быть учтены при планировании продаж, маркетинговых кампаний и производства [23, 24].
- ◆ Планы по продажам и маркетинговым кампаниям должны формироваться взаимозависимо [25–27].
- ◆ Остатки на складах подразделений, осуществляющих функцию продаж (это может быть собственная сеть магазинов, реализация через дистрибьюторов или через любые другие каналы продаж [23]), должны приниматься в расчет при планировании продаж, планировании производства, планировании логистики.
- ◆ Заявки на производство, формируемые подразделением продаж, должны быть включены в планы заказов на производство, при этом перечень товаров, доступных для заказа на производство, должен быть доступен при формировании заявок на производство [28–30].
- ◆ Остаток сырья для производства должен быть учтен при планировании производства [28].
- ◆ План производства должен приниматься в качестве входных данных при планировании логистики [31].
- ◆ Факт производства и заявки на доставку товара должны быть учтены при планировании логистики.

- ◆ Дополнительные заявки на выпуск продукции, формируемые подразделением маркетинга исходя из планирования маркетинговых акций, должны быть учтены при планировании производства [26, 32].

Таким образом, исходя из перечисленных требований к обмену данными между программными модулями, можно составить модель потоков данных, обеспечивающую достаточное количество интеграционных взаимодействий для связки всех процессов планирования. Модель требований к обмену данными представлена на *рис. 3*.

Помимо требований к обмену данными между модулями, модель учитывает требования к цикличности и взаимосвязанности бизнес-процессов планирования продаж, производства, маркетинговых кампаний и логистики.

3. Проектирование информационной архитектуры

В предыдущих разделах были описаны предпосылки, обуславливающие крупные предприятия производить сквозное планирование продаж, производства, маркетинга и логистики; представлена модель жизненного цикла сквозного планирования, а также сформулированы требования к программному комплексу. Текущий раздел содержит предлагаемую модель программно-информационного комплекса, позволяющего обеспечивать непрерывный процесс планирования, увязывающий деятельность различных подразделений компании, а также обеспечивающий высокий уровень аналитического обоснования планов.

Для того, чтобы перейти от модели обмена данными к модели высокоуровневого дизайна системы, необходима нотация, соответствующая набору требований. На основе анализа и обобщения существующих типов диаграмм и опыта ИТ-архитекторов различных предприятий выделим требования к нотации, исходя из потребностей для решения поставленных задач:

1. Схема должна в явном виде демонстрировать микросервисы предприятия, так как они являются основными структурными элементами программного комплекса.
2. Схема должна раскрывать функциональное наполнение модулей.
3. Иллюстрация полного набора потоков информационных объектов между модулями.

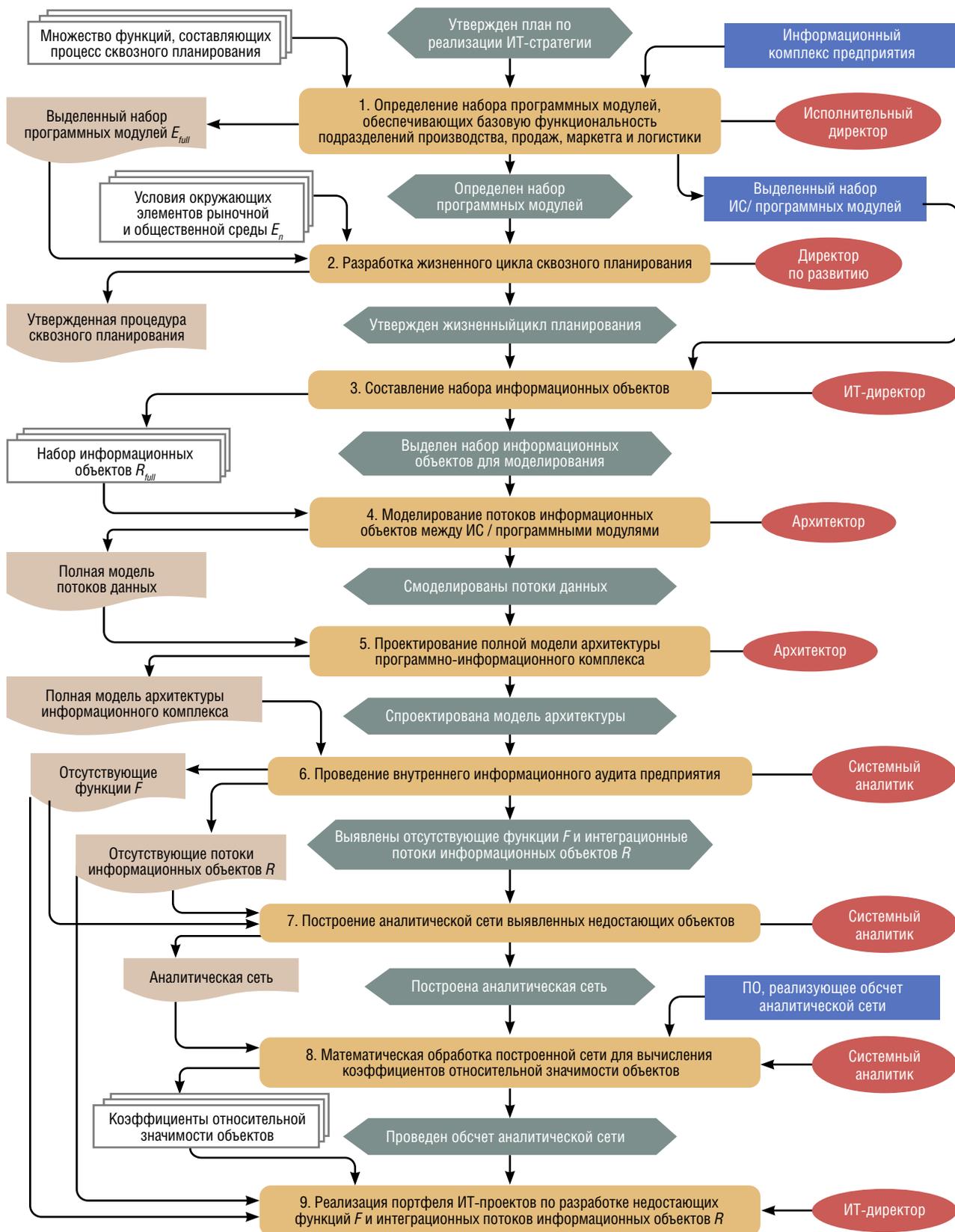


Рис. 2. Методика внедрения архитектурных изменений, обеспечивающих сквозное планирование, в информационный комплекс предприятия.

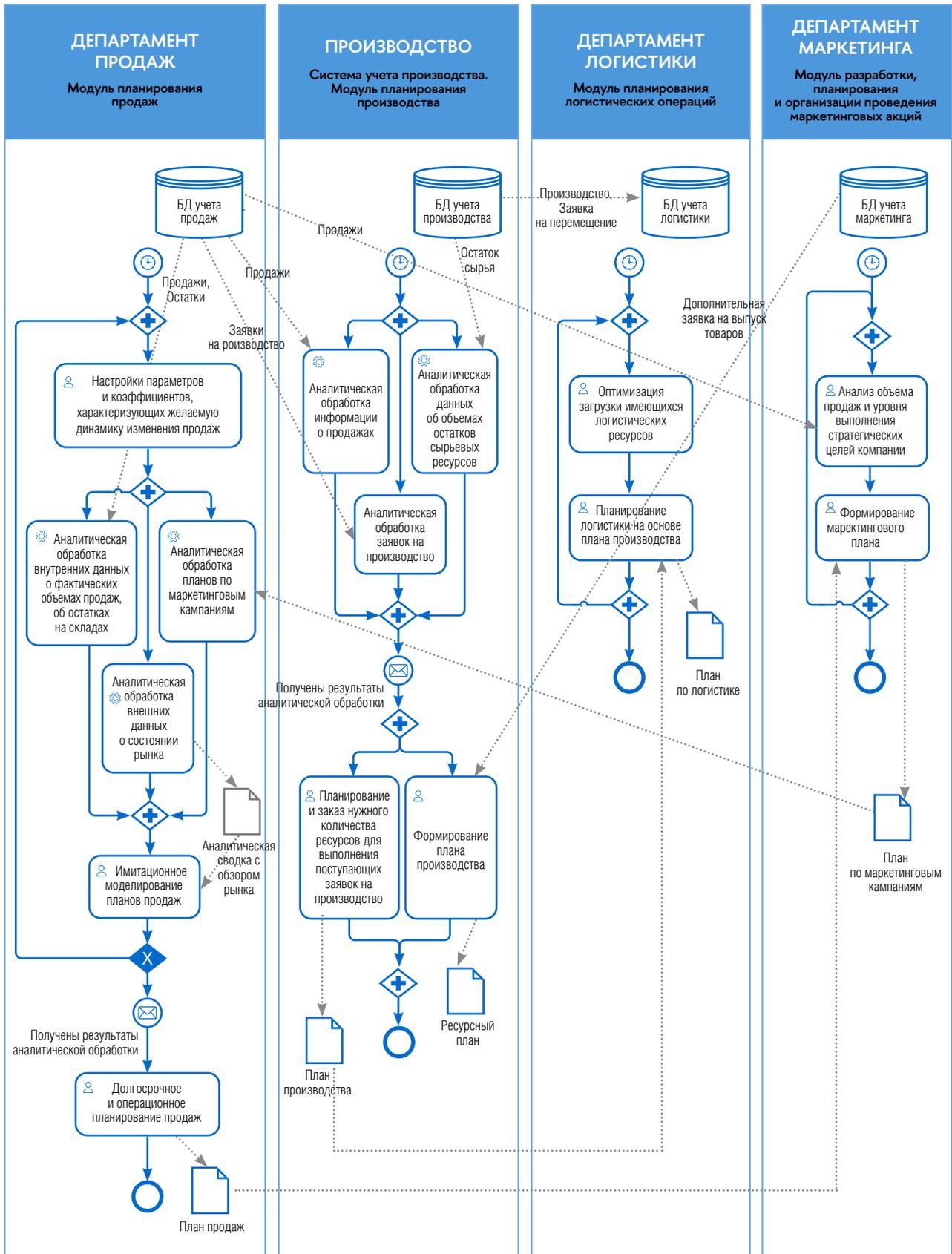


Рис. 3. Модель потоков данных для высокоуровневого дизайна программно-аналитического комплекса предприятия, обеспечивающего сквозное планирование.

4. Демонстрация принадлежности информационных объектов базам данных микросервисов. При этом важно понимать, в каких микросервисах информационные объекты создаются, а в каких — используются и не изменяются.

5. Схема должна позволять демонстрировать вложенность модулей.

Схема, удовлетворяющая данным требованиям, позволит учесть ключевые факторы при принятии решений о развитии высокоуровневого дизайна информационного комплекса предприятия и не упустить важные сущности. Подобное представление также позволит проводить экспертизу коэффициентов приоритизации, которые будут рассчитываться в результате применения предложенной методики. Данная схема может являться удобным вспомогательным инструментом управления и контроля над реализацией портфеля проектов по доработке информационного предприятия, так как соответствует языку и технических специалистов, и менеджеров в сфере ИТ.

В рамках исследования были изучены существующие нотации и рассмотрены популярные решения для визуального моделирования. Выявлено, что ни одна из структурных диаграмм, таких, как UML, STR, ERD, FDD [33, 34] не удовлетворяют всем перечисленным требованиям. Диаграммы поведения UML [33] делают акцент на сценариях и бизнес-процессах. Объектно-ориентированные диаграммы UML и RUP не демонстрируют структуру модулей (микросервисов). IDEF и DFD [34, 35] делают акцент на функции системы и потоки информации и материальных объектов, но создают слабое представление о высокоуровневом дизайне информационного комплекса. ARIS [36] ориентирован на потоки событий и функций, но не подчеркивает высокоуровневый дизайн систем.

Для того, чтобы удовлетворять перечисленным требованиям наглядности и полноте, возьмем за основу диаграмму компонентов развертывания UML: она подразумевает взгляд на архитектуру предприятия с точки зрения развертывания модулей (микросервисов). Предложим следующие структурные дополнения к нотации диаграммы: включим перечень реализуемых функций внутрь каждого модуля; добавим перечень конкретных передаваемых информационных объектов и направления их передачи; включим явное указание сущностей в БД и признаков мастер-систем и систем-получателей. Полученную схему будем называть «Информационная архитектура».

Формализуем предложенное определение. Информационная архитектура — это диаграмма, которая показывает архитектуру высокоуровневого дизайна системы, включая такие узлы, как модули (микросервисы) информационного комплекса; реализуемые внутри модулей функции; хранимые, обрабатываемые и передаваемые между модулями информационные объекты.

На *рисунке 4* предложена модель информационной архитектуры, которая является эффективным прототипом для проектирования программно-информационного комплекса, обеспечивающего эффективное сквозное планирование на предприятии.

Сопроводительная справка по доработанной нотации:

1. Крупные прямоугольники представляют собой системы/модули, установленные на предприятии. Необходимо иметь в виду, что в реальной практике встречается иное количество модулей и распределение функций между ними. Предложенная схема представляет собой унифицированное усредненное архитектурное решение.
2. Блоки с функциями, реализуемыми внутри систем/модулей. Данные функции выведены в разделе 3 исходя из требований, предъявляемых к информационному комплексу предприятиями-производителями товаров среднесрочной оборачиваемости.
3. Стрелки, исходящие из одних систем/модулей, входящих в другие системы/модули, являются информационными потоками, передающимися в рамках описанного бизнес-процесса.
4. Базы данных в виде «цилиндров» и указание информационных объектов, содержащихся в этих базах. Необходимо иметь в виду следующий важный фактор: требования к целостности и единой версии мастер-данных на предприятиях обязывают строго следить за системами источниками и системами получателями данных. Данный аспект важен при разработке интеграций между системами, а также при внедрении аналитического хранилища и модели данных, на которой обычно строится аналитическая отчетность. Поэтому данный аспект отражен на информационной архитектуре, а именно, информационные объекты, для которых система/модуль является мастер-системой, изображены на белом прямоугольнике внутри базы данных, а объекты, для которых система/модуль является получателем и внутри которой не производится изменение этих объектов, изображены на сером прямоугольнике внутри базы данных.

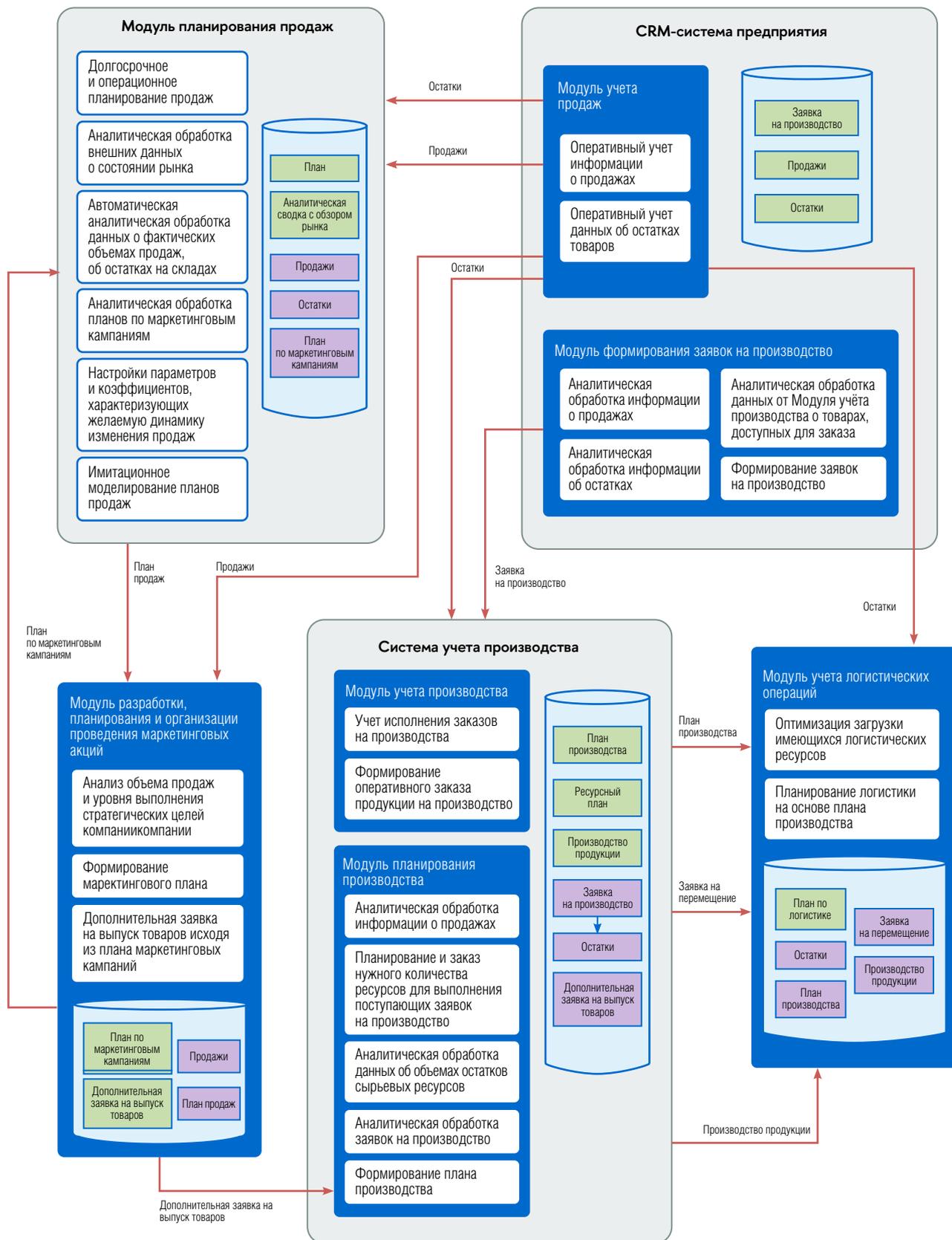


Рис. 4. Модель архитектуры программно-информационного комплекса, обеспечивающего эффективное сквозное планирование.

Таким образом, в информационный комплекс, обеспечивающий эффективное сквозное планирование, предлагается включить следующие **системы и модули**:

1. **CRM-система** (Customer Relationship Management, «управление взаимоотношениями с клиентами»). Для обеспечения процесса планирования производства данная система должна содержать два модуля: *Модуль учета продаж дистрибьюторов*, который собирает данные о продажах дистрибьюторов, и *Модуль формирования заказов на производство*, который позволяет делать заказ продукции.

Для успешной реализации перечисленных функций в модулях CRM-системы необходимо обеспечить формирование и передачу модулям-потребителям следующих информационных объектов:

- ◆ Продажи. Учету и планированию могут подлежать как продажи дистрибьюторам, так и продажи конечным покупателям (через дистрибьюторов или напрямую). Для учета продаж конечным покупателям внедряются отдельные CRM-системы, передающие данные через дистрибьюторов.
- ◆ Остатки на складах дистрибьюторов.
- ◆ Перечень товаров, доступных для заказа на производство.
- ◆ Заявка на производство.

2. **Модуль планирования продаж**. Данная система обычно представляет собой аналитический модуль, являющийся частью операционной CRM, либо отдельную независимую систему, интеграция с которой настроена посредством ETL-решения (Extract, Transform, Load – «извлечение, преобразование, загрузка»). Принимая во внимание часто встречающуюся сложность процесса планирования на современных предприятиях, будем считать, что в требованиях к архитектуре правильнее учитывать данный модуль отдельным независимым модулем.

Для успешной реализации перечисленных функций в *Модуле планирования продаж* необходимо обеспечить формирование и передачу следующих информационных объектов:

- ◆ Планы продаж.
- ◆ Аналитическая сводка с анализом рынка.

3. **Система учета производства**. Данная система служит для учета производственных процессов, планирования объема производства товаров и сырьевых ресурсов. В отличие от планирования продаж, в котором принимает участие большое количество факторов, таких, как динамика рынка, внешние ана-

литические отчеты, имитационное моделирование, планирование маркетинговых кампаний, – планирование производства, в первую очередь, строится на основании утвержденных планов продаж, в связи с чем планирование чаще всего представляет собой модуль, встроенный в Систему учета производства. Таким образом, архитектуру системы учета производства имеет смысл представить двумя встроенными модулями: *Модуль учета производства* и *Модуль планирования производства*.

Для успешной реализации перечисленных функций в Системе учета производства необходимо обеспечить формирование и передачу следующих информационных объектов:

- ◆ План производства.
- ◆ Заказ продукции в производство.
- ◆ Заказ сырья для производства.
- ◆ Производство продукции.
- ◆ Остаток продукции в производстве.
- ◆ Остаток сырья для производства.

4. **Модуль учета логистических операций**. В данном модуле производится регистрация логистических перемещений в соответствии с планами по логистике, а также оптимизация загрузки имеющихся логистических ресурсов.

Для успешной реализации перечисленных функций в *Модуле учета логистических операций* необходимо обеспечить формирование и передачу следующих информационных объектов:

- ◆ План по логистике.
- ◆ Заявка на перемещение.
- ◆ Перемещение.
- ◆ Остаток в логистике.

5. **Модуль разработки, планирования и организации проведения маркетинговых акций**. Операции, производимые в подразделении маркетинга, имеют непосредственное отношение к процессу производства и продаж, так как непосредственно влияют на структуру и объем реализуемых товаров. Планирование продаж невозможно осуществить с высокой степенью точности без учета активностей маркетингового подразделения.

Для успешной реализации перечисленных функций в *Модуле разработки, планирования и организации проведения маркетинговых акций* необходимо обеспечить формирование и передачу следующих информационных объектов:

- ◆ План по маркетинговым кампаниям.
- ◆ Дополнительная заявка на выпуск товаров.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перечисленные модули, занимающиеся оперативным учетом и планированием деятельности указанных подразделений, должны быть интегрированы друг с другом для передачи и получения информационных объектов, а также успешной реализации функций, использующих эти объекты.

4. Последовательность реализации портфеля ИТ-проектов

Сформулированные требования к высокоуровневому дизайну программно-аналитического комплекса, обеспечивающего сквозное планирование на предприятии, наглядно демонстрируют логическую архитектуру. Данная архитектура будет обеспечивать непрерывный и взаимосвязанный процесс планирования различных подразделений организации, учитывающий факторы и информационные объекты, возникающие у смежных подразделений, что обеспечивает высокий уровень аналитического обоснования и высокую точность планирования.

Предполагается, что предприятие имеет возможность сверить свою текущую информационную архитектуру и бизнес-процессы с представленной шаблонной схемой и, при необходимости, запустить проекты по реализации недостающих интеграций между своими текущими программными модулями. Это сможет обеспечить наличие нужных информационных объектов в соответствующих модулях, а также встраивание в текущие бизнес-процессы новых недостающих функций, использующих эти информационные объекты.

При этом необходимо иметь ввиду, что проекты интеграции информационных систем – это трудоемкие и сложные задачи, каждая из которых требует выделения большого количества ресурсов и высокого уровня квалификации членов команды [37, 38]. Поэтому, после сверки с предлагаемым базовым макетом и выделения слабых мест в текущей информационной архитектуре и бизнес-процессах, необходимо составить перечень недостающих интеграций и реализаций функций в системах и приоритизировать их. Дальнейшие проекты по реализации выделенных интеграций и функций необходимо вести в соответствии с определенными приоритетами, так как это обеспечит более оптимальное распределение ресурсов и более высокую эффективность.

Таким образом, следующая управленческая задача, которую необходимо решить – это ранжирование проектов по реализации недостающих интеграций/функций. Основным требованием к проведению ранжирования является учет зависимостей и взаимозависимостей, которые существуют между программными модулями и элементами бизнес-процессов, реализованных в разных модулях. Возможностью учитывать эти зависимости обладает метод аналитических сетей (МАС), являющийся продолжением метода анализа иерархий (МАИ), разработанный Томасом Л. Саати [22, 39]. В соответствии с данным методом нужно построить сеть информационных объектов, программных модулей и их взаимосвязей, которые возникают при разработке комплексного высокоуровневого дизайна. Выполним построение полного вида сетевой структуры информационных объектов и программных модулей (рис. 5).

Объекты, входящие в аналитическую сеть, будем трактовать следующим образом:

- ◆ Кластер альтернатив представляет собой полный набор Информационных объектов, для которых необходимо рассчитать приоритет относительной значимости. В соответствии с данными приоритетами руководство предприятия сможет составить портфель ИТ-проектов на реализацию.
- ◆ Стрелки от программных модулей к информационным объектам означают, что объекты влияют на модули. Это влияние выражается в реализации новых функций, которые можно будет реализовать в этих модулях, при появлении в них новых информационных объектов.
- ◆ Стрелки от информационных объектов к программным модулям означают, что модули влияют на объекты. Это влияние обусловлено сложностью реализации недостающих интеграций и системы хранения информационных объектов.
- ◆ Стрелки между программными модулями указывают потоки влияния, которое оказывают программные модули друг на друга ввиду наличия информационных потоков между ними.

Каждую зависимость (каждую сформированную стрелку) необходимо задать набором матриц попарных сравнений относительной значимости соответствующих элементов. При осуществлении попарных сравнений задается следующий вопрос: «для заданного элемента сети и сравниваемой пары элементов насколько сильнее влияние данного объек-

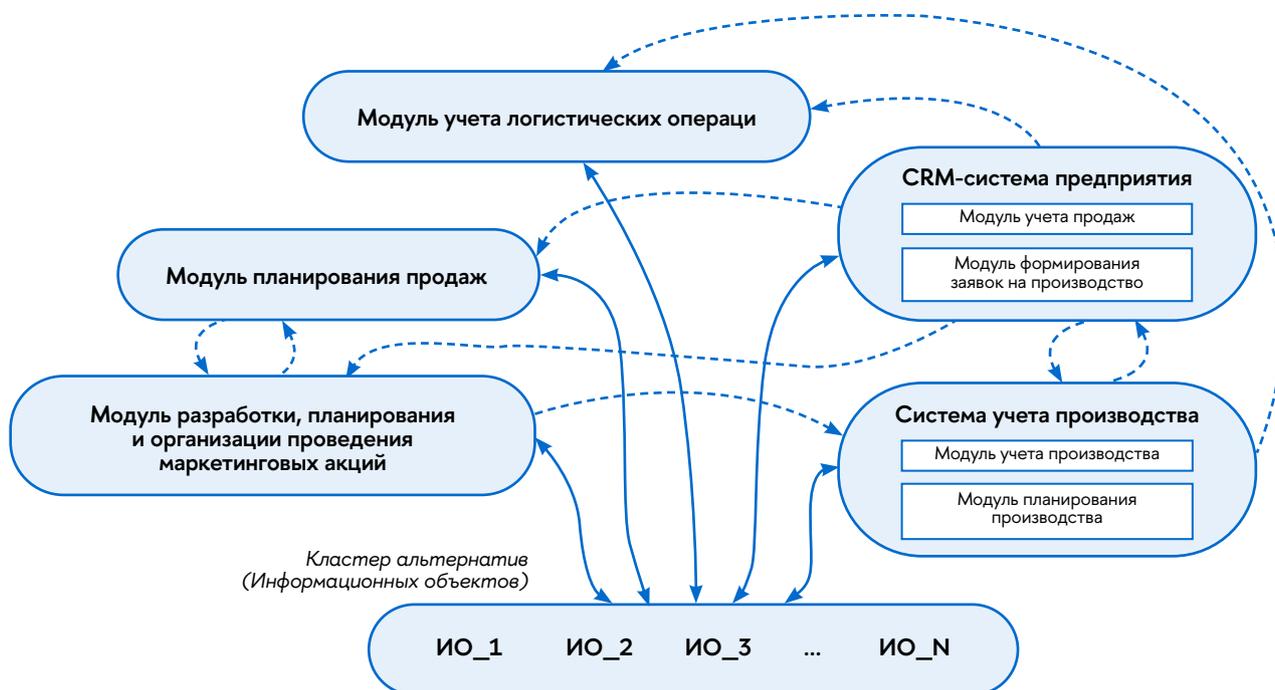


Рис. 5. Аналитическая сеть, отражающая зависимости и взаимосвязи программных модулей и информационных объектов.

та из пары на оцениваемый элемент по сравнению с другим элементом?». Оценки задаются в девятибалльной шкале, где значение 1 балл означает, что сравниваемые элементы равнозначны, а оценка в 9 баллов означает полное превосходство.

Пусть $R = (R_1, R_2, \dots, R_n, R_N)$ $n = (1, \dots, N)$ – набор альтернатив (информационных объектов), $E = (E_1, E_2, \dots, E_k, \dots, E_K)$ $k = (1, \dots, K)$ – набор программных модулей, в рамках которых необходимо произвести доработки по реализации новых бизнес-процессов и интеграций.

Исходя из структуры построенной аналитической сети, имеем следующие виды зависимостей:

- ◆ Зависимости программных модулей друг относительно друга (зависимости типа I, на рис. 5 отображены пунктирными стрелками). При осуществлении попарных сравнений программных модулей друг относительно друга задается следующий вопрос: «программная доработка какого модуля имеет для бизнеса больший приоритет в настоящее время?». Таким образом, получим набор матриц попарных сравнений относительной значимости $P_{(x,y)}^I$, где $x, y = (E_1, \dots, E_K)$.
- ◆ Зависимости между альтернативами и программными модулями:

- Зависимости между программными модулями с учетом влияния на них информационных объектов (зависимости типа IIa, на рис. 5 отображены сплошными стрелками, исходящими из кластера альтернатив). При осуществлении попарных сравнений модулей относительно влияния на них альтернатив задается следующий вопрос: «для данного информационного объекта (альтернативы) в каком модуле важнее реализовать интеграцию для последующей реализации недостающих функций в данном модуле?». Таким образом, получим набор матриц попарных сравнений относительной значимости модулей, элементы которой обозначим как $P_{n(p,t)}^{IIa}$ – результат сравнения относительной значимости модулей $p, t = (E_1, \dots, E_K)$ относительно важности реализации в них информационного объекта $n = (R_1, \dots, R_N)$.
- Зависимости между информационными объектами (альтернативами) с учетом влияния на них программных модулей (зависимости типа IIb, на рис. 5 отображены сплошными стрелками, входящими в кластер альтернатив). При осуществлении попарных сравнений альтернатив относительно влияния на них программ-

ных модулей задается следующий вопрос: «для данного модуля какой именно информационный объект (альтернативу) реализовать важнее?». Таким образом, получим набор матриц попарных сравнений относительной значимости альтернатив, элементы которой обозначим как $P_{k(m,l)}^{Ilb}$ – результат сравнения относительной значимости альтернатив $m, l = (R_1, \dots, R_N)$ относительно важности реализации их в программном модуле $k = (E_1, \dots, E_K)$.

Далее для матрицы попарных сравнений относительной значимости программных модулей вычисляется собственный вектор $Z_{\text{собств.}E} = (Z_{\text{собств.}1}, \dots, Z_{\text{собств.}e}, \dots, Z_{\text{собств.}E})$, соответствующий максимально-му собственному значению матрицы. Общий вид для вычисления собственного вектора, исходя из определения собственного вектора:

$$P_{(x,y)}^I \cdot Z^I_{(\text{собств.}E)} = \lambda^I_{\max E} \cdot Z^I_{(\text{собств.}E)}. \quad (1)$$

Элементы полученного вектора преобразуются согласно следующему правилу:

$$w_m^I = \frac{Z^I_{(\text{собств.}m)}}{\sum_{m=1}^M Z^I_{(\text{собств.}E)}}. \quad (2)$$

Вектор $W^I = (w_1, \dots, w_E)$ – это вектор коэффициентов относительной значимости программных модулей. Аналогичным образом вычисляются собственные векторы для матриц попарных сравнений типа *Ia* и типа *Ib*. Общий вид для вычисления собственных векторов:

$$P_{n(p,t)}^{Ia} \cdot Z_{\text{собств.}n(p,t)}^{Ia} = \lambda_{\max n(p,t)}^{Ia} \cdot Z_{\text{собств.}n(p,t)}^{Ia}; \quad (3)$$

$$P_{k(m,l)}^{Ib} \cdot Z_{\text{собств.}k(m,l)}^{Ib} = \lambda_{\max k(m,l)}^{Ib} \cdot Z_{\text{собств.}k(m,l)}^{Ib}. \quad (4)$$

Элементы данных векторов подлежат следующему преобразованию:

$$w_{n(p,t)}^{Ia} = \frac{z_{\text{собств.}n(p,t)}^{Ia}}{\sum_{m=1}^M z_{\text{собств.}n(p,t)}^{Ia}}; \quad (5)$$

$$w_{k(m,l)}^{Ib} = \frac{z_{\text{собств.}k(m,l)}^{Ib}}{\sum_{m=1}^M z_{\text{собств.}k(m,l)}^{Ib}}. \quad (6)$$

Полученные векторы $w_m^I, w_{n(p,t)}^{Ia}, w_{k(m,l)}^{Ib}$ далее группируются в суперматрицу $P_{\text{SuperMatr}}$ (понятие суперматрицы введено в [22]). Коэффициенты относительной значимости программных модулей будут служить для взвешивания блоков су-

перматрицы. Далее суперматрица возводится в предельную степень до тех пор, пока результат не стабилизируется:

$$P_{\text{SuperMatr}}^{\text{lim}} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P_{\text{SuperMatr}}^k. \quad (7)$$

Значения искоемых коэффициентов относительной значимости информационных объектов будут рассчитаны в соответствующих блоках и могут быть использованы при планировании ресурсов на осуществление недостающих программных доработок.

Для практического применения предложенной методики на предприятии можно использовать различное программное обеспечение, реализующее метод аналитических сетей. В работе В.А. Латыповой произведен сравнительный анализ программных средств, реализующих МАИ и МАС [40]. В рамках текущей работы использовалось бесплатное образовательное программное обеспечение SuperDecisions [41, 42].

Заключение

В работе представлен подход к разработке высокоуровневого дизайна программно-аналитического комплекса, обеспечивающего сквозное планирование предприятия. Предложена пошаговая методика внедрения архитектурных изменений, которая поможет предприятиям, занимающимся производством товаров среднесрочной оборачиваемости, произвести внутренний аудит программного комплекса, обеспечивающего ключевые функции предприятия, и запустить в реализацию портфель доработок, которые обеспечат реализацию выявленных недостающих функций.

Необходимо отметить, что предложенный высокоуровневый дизайн является обобщением и поддерживает усредненный процесс сквозного планирования производства на логическом уровне. В реальной практике могут встречаться отклонения от представленной архитектуры. Данные отклонения обусловлены различным исходным уровнем информатизации предприятий, разницей в программных комплексах, финансовыми ресурсами, которыми располагает предприятие, выбором конкретных программных решений каждого модуля, и прочими факторами, являющимися индивидуальными для каждой конкретной компании. Однако разработанную в

рамках статьи архитектуру предлагается использовать как основу для проведения информационного аудита с целью оптимизации бизнес-процессов сквозного планирования.

В качестве направлений для дальнейшего развития методики можно выделить следующие:

- ◆ расширение функционального состава программных модулей, а также разработка атрибутивного состава описанных информационных объектов;
- ◆ использование описанного подхода для оценки программной реализации недостающих функций в программном комплексе предприятия;
- ◆ разработка подхода к оценке эффективности предлагаемых доработок информационного комплекса;
- ◆ развитие предложенной аналитической сети в соответствии с методикой, основанной на оценке выгод, возможностей, издержек и рисков;
- ◆ обобщение предложенного подхода на другие ключевые функции предприятия. ■

Литература

1. Янковская В.В. Планирование на предприятии. М.: ИНФРА-М, 2023.
2. Ильин А.И. Планирование на предприятии. 9-е изд. М.: НИЦ ИНФРА-М; Минск: Новое знание, 2014.
3. Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Данилов А.В. Технология проектирования инновационных процессов создания продукции и услуг сетевого предприятия с использованием i4.0-системы, основанной на знаниях // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 4. С. 76–92. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.4.76.92>
4. Данилочкина Н.Г. Концепция сквозного планирования на промышленных предприятиях // Актуальные проблемы социально-экономического развития России. 2019. № 4. С. 38–41.
5. Хан Д. Планирование и контроль: концепция контроллинга: Пер. с нем. М.: Финансы и статистика, 1999.
6. Брагина А.В., Вертакова Ю.В., Евченко А.В. Развитие сквозных технологий планирования деятельности промышленного предприятия в условиях цифровизации экономики // Организатор производства. 2020. Т. 28. №1. С. 24–35.
7. Минаев В.А., Мазин А.В., Здирук К.Б., Куликов Л.С. Цифровые двойники объектов в решении задач управления // Радиопромышленность. 2019. Т. 29. № 3. С. 68–78. <https://doi.org/10.21778/2413-9599-2019-29-3-68-78>
8. Копелиович Д.И., Кургуз М.А., Лебедев В.В., Копелиович Д.И. Микросервисная архитектура как разновидность сервис-ориентированной архитектуры // Наукосфера. 2022. № 4-2. С. 230–235.
9. Ибатулин М.Ю., Терентьев В.А. Применение микросервисных архитектур для построения бизнес-архитектуры предприятия в эпоху цифровой трансформации // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2018): Сборник научных трудов XXI Российской научной конференции. В 2-х томах, Москва, 26–28 апреля 2018 года / Под научной редакцией Ю.Ф. Тельнова. Том 1. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2018. С. 376–381.
10. Ричардс М., Форд Н. Фундаментальный подход к программной архитектуре: паттерны, свойства, проверенные методы. СПб.: Питер, 2023.
11. Курзова Ю.А. Обзор программы 1С: Комплексная автоматизация // Блог Архитектора бизнеса, 2022. [Электронный ресурс]: <https://www.1ab.ru/blog/detail/1s-kompleksnaya-avtomatizatsiya-obzor/> (дата обращения: 06.07.2024).
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665892 Российская Федерация. ССК. Система-2 бизнес-планирования и бюджетирования на базе программного комплекса Oracle Hyperion Planning 11.1.2.4, № 2022664704, заявл. 03.08.2022, опубл. 23.08.2022; заявитель Акционерное общество «Сибирская Сервисная Компания».
13. Миняйло А.С. Исследование информационных рисков российских промышленных компаний в системах управления бюджетным процессом // Корпоративная экономика. 2020. № 4(24). С. 4–21.
14. Пирогов М.В., Абдулганиев А.Н., Мартинович Д.А. Применение технологии многомерных хранилищ данных (OLAP) на базе системы управления финансовой результативностью и деятельности предприятия IBM Planning Analytics // Вопросы региональной экономики. 2022. № 4(53). С. 144–162.
15. Nazarov D.M., Nazarov A.D., Kovtun D.B. Building technology and predictive analytics models in the SAP analytic cloud digital service // Proceedings of the 2020 IEEE 22nd Conference on Business Informatics (CBI 2020). Antwerp, 22–24 June 2020. Vol. 2. P. 106–110. <https://doi.org/10.1109/CBI49978.2020.10067>
16. Брагина А.В. Технологическая модернизация промышленного предприятия с использованием технологии сквозного планирования. Автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Курск, 2021.
17. Смирнов М. Микросервисная архитектура в корпоративном ИТ-ландшафте // Открытые системы. СУБД. 2017. № 4. С. 38–41.

18. Терентьев А.В., Поляков Ю.Н. Концепция проектирования и конструирования базового алгоритма процесса бизнес-планирования в организациях малого и среднего бизнеса // Менеджмент: теория и практика. 2020. № 1-3. С. 99–105.
19. Шатаева О.В., Акимова Е.Н., Николаев М.В. Экономика организации (предприятия). 2-е изд., испр. и доп. Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2021.
20. Тельнов Ю.Ф. Федоров И.Г. Инжиниринг предприятия и управление бизнес-процессами. Методология и технология. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2017.
21. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов: Компонентная технология (2-е изд.). М.: Финансы и статистика, 2005.
22. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. М.: ЛЕНАНД, 2015.
23. Гусаков И.В. Анализ и планирование продаж в компаниях рынка FMCG. М.: Нобель Пресс, 2014.
24. Леманн Д.Р. Управление продуктом. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2017.
25. Жукова Т.Н. Управление и организация маркетинговой деятельности. Москва: ИНФРА-М, 2021.
26. Котлер Ф., Сондерс Д., Армстронг Г., Вероника В. Основы маркетинга. Краткий курс.: Пер. с англ. М.: Вильямс, 2007.
27. Тойменцева И.А., Михайлов А.М. Влияние маркетинговых и управленческих решений на процесс оптимизации бюджета предприятия // Вестник Самарского экономического университета. 2015. № 12(134). С. 16–19.
28. Смурнов Е.С. Автоматизация учета материала. М.: Лаборатория Книги, 2010.
29. Семенова Н.В., Байгулова А.А. Основы производственного менеджмента: электронный учебный курс. Ульяновск: УлГУ, 2014.
30. Фарахутдинов Ш.Ф. Современные тенденции и инновационные методы в маркетинговых исследованиях. Москва: ИНФРА-М, 2021.
31. Горский М.А., Халиков М.А. Модели и методы оценки оптимального размера производственного сегмента предприятия // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 1-1. С. 23–32.
32. Ойнер О.К. Управление результативностью маркетинга. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2022.
33. Петрова И.Р., Фахртдинов Р.Х., Сулейманова А.А., Разживин И.О., Фазулзянов А.Г. Методология объектно-ориентированного моделирования. Язык UML. Казань: Казан. ун-т, 2018.
34. Фримен Э., Робсон Э., Сьерра К., Бейтс Б. Head First. Паттерны проектирования. 2-е издание. СПб.: Питер, 2024.
35. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Издание официальное. Госстандарт России. М.: 2000.
36. Назарова О.Б., Новикова Т.Б., Масленникова О.Е. ARIS: Теория и практика бизнес-моделирования. 3-е изд. М.: ФЛИНТА, 2023.
37. Первухин Д.В., Исаев Е.А., Рытиков Г.О., Филюгина Е.К., Айрапетян Д.А. Сравнительный анализ теоретических моделей каскадных, итеративных и гибридных подходов к управлению жизненным циклом ИТ-проекта // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 1. С. 32–40. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.1.32.40>
38. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. М.: ПМСОФТ, 2005.
39. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и Связь, 1993.
40. Латыпова В.А. Сравнительный анализ и выбор программных средств, реализующих метод анализа иерархий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6, № 4 (23). С. 322–347. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024>
41. Saaty R.V. Decision making with dependencies and feedbacks. A tutorial for SuperDecisions software. Pittsburgh: Foundation for Creative Solutions, 2016.
42. Официальный сайт системы Super Decisions // Creative Decisions Foundation, 2024. [Электронный ресурс]: <https://www.superdecisions.com> (дата обращения: 06.07.2024).

Приложение 1.

Анализ применимости программной архитектуры для решения задач сквозного планирования

Архитектура	Исследования	Достоинства	Недостатки	Применимость для решения задач сквозного планирования
Монолитные комплексные решения	Эдсгер Дейкстра сформулировал принципы структурного программирования в 1970–1980 годах. С появлением персональных компьютеров и развитием графического интерфейса программное обеспечение стало более доступным и распространенным. В 1990 годах монолитная архитектура стала доминирующим подходом для разработки приложений. Принципы монолитной архитектуры не развивались как отдельная концепция, а скорее применялись и совершенствовались в контексте разработки и эволюции программного обеспечения и были преобладающим подходом. Само понятие «монолитной архитектуры» появилось позже, когда стали развиваться альтернативные подходы.	<ul style="list-style-type: none"> Эффективны для небольших и простых систем Простота развертывания Стабильная работа 	<ul style="list-style-type: none"> Сложно масштабировать Обладают слабой отказоустойчивостью Риск зависимости от единой платформы и технологий 	Монолитные комплексы применимы для решения задач сквозного планирования только для мелких организаций, в которых слабо развит подход к планированию и учитывается маленькое количество факторов при планировании. Монолитные комплексы могут обеспечить в своих рамках определенный процесс, но крайне сложны для развития и интеграции с внешними модулями.
Событийно-ориентированная архитектура (EDA)	Развитие событийно-ориентированной архитектуры связано с объектно-ориентированным программированием (ООП). В 1970-х годах концепцию развивали Алан Кей и Дэвид Парнас. Далее в 1980-х годах Бьерн Страуструп объединил элементы процедурного программирования с объектно-ориентированным подходом. В начале 2000-х годов активно развивалось ООП, на основе этих принципов начала развиваться микросервисная архитектура.	<ul style="list-style-type: none"> Высокая общая адаптивность Высокая производительность Масштабируемость 	<ul style="list-style-type: none"> Сложен для реализации из-за асинхронной, распределенной природы Необходимо решать проблемы доступности дистанционных процессов Необходимость построения логики повторного подключения брокера Отсутствие атомарных транзакций для одного бизнес-процесса 	Событийно-ориентированная архитектура информационных систем применяется для базовых задач предприятия, связанных в первую очередь с операционным учетом и выстраиванием бизнес-процессов. Для того, чтобы спроектировать информационных комплекс, позволяющий решать сквозные аналитические задачи планирования, необходимо использование подходов, ориентированных на передачу и использование информационных объектов, а не на обработку событий/операций.
Микросервисная архитектура	В основе микросервисной архитектуры лежат концепции Сервис-ориентированной архитектуры (SOA). Микросервисная архитектура является результатом коллективного усилия многих ученых, инженеров и практиков, которые внесли свой вклад в ее развитие. Основные идеи были заложены в 2014 году Робертом Мартином (сформулировал принципы модульности и независимости в разработке программного обеспечения), Джеймсом Льюисом и Мартином Фаулером (определили основные принципы этой архитектуры), Фредом Джорджем (предложил использовать концепцию «служб» в контексте распределенных систем), Дэн Розен (сформулировал принципы «самостоятельных команд», которые являются важным элементом микросервисной архитектуры). Современные российские исследования на тему применения микросервисной архитектуры принадлежат Ю.Ф. Тельнову, Д. И. Копелиовичу, М. А. Кургузу, В. В. Лебедеву, М. Ю. Ибатулину, В. А. Терентьеву.	<ul style="list-style-type: none"> Архитектура обеспечивает гибкость и масштабируемость Независимое развертывание Повышенная отказоустойчивость 	<ul style="list-style-type: none"> Проблемы сложности разработки и развертывания Повышенная сложность управления Необходимость реализации межсервисного взаимодействия 	Микросервисная архитектура хорошо подходит для решения задачи сквозного планирования. Именно в рамках микросервисной архитектуры появляется возможность развивать комплекс в любом направлении, а значит, актуальна задача приоритизации порядка программной разработки новых сервисов и передаваемых информационных объектов для обеспечения комплексной архитектуры.

Архитектура	Исследования	Достоинства	Недостатки	Применимость для решения задач сквозного планирования
Гибридный переход	<p>Понятие «гибридная архитектура» возникло в результате естественного эволюционного процесса, связанного с появлением новых технологий и пониманием преимуществ и недостатков как монолитной, так и микросервисной архитектур. Началом формирования гибридных подходов можно считать конец 1990-х и начало 2000-х годов, когда начали появляться новые технологии и архитектурные паттерны: распространение интернета, появление распределенных систем, развитие технологий контейнеризации. Важный вклад в эти методологии внесли Эрнест Кларк, предложив в 1990-е годы концепцию «сервисной ориентации», Мартин Фаулер, определивший в начале 2000-х годов SOA как важный паттерн проектирования, Джим Брандел развивал концепцию «контейнеров» в 2010-2020-е годы.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Позволяет производить постепенный переход к микросервисам • Обеспечивает гибкий выбор оптимальных решений для разных частей системы • Объединяет преимущества монолитной и микросервисной архитектур 	<ul style="list-style-type: none"> • Сложность управления • Сложность технической реализации • Вопросы совместимости между компонентами комплекса 	<p>Компании, находящиеся в состоянии гибридного перехода (либо в состоянии перевода с одних решений на другие, либо внедряющие новые бизнес-модели, которые реализовывают на основе микросервисных подходов и которые интегрируют с монолитными приложениями), должны решать задачу приоритизации разработки модулей для новых сервисов и порядка разработки интеграций для обмена информационными объектами между системами.</p>
Облачные технологии	<p>В начале 1980 годов Кен Томпсон создал первую версию многопользовательской операционной системы UNIX. Далее появились виртуальные машины, предоставляющие платформенно-независимые среды программирования. Термин «облачные вычисления» появился в 1990-х годах в спецификациях компаний Compaq и Apple. В первой половине 2000-х годов наметилась тенденция перевода локального ПО в облачные программы, работающие по принципу SaaS — Software as a Service.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Гибкость • Автоматическая масштабируемость • Доступность ресурсов по требованию • Снижение затрат на инфраструктуру 	<ul style="list-style-type: none"> • Сильная зависимость от поставщика облачных услуг • Ограничения в выборе технологий • Сложность отладки и аспекты безопасности данных 	<p>Интеграция информационных систем предприятия с модулями, развернутыми в облаке, всегда представляет собой сложный проект, который, помимо технических вопросов, подразумевает решение вопросов безопасности. Чтобы произвести интеграцию, необходимо предоставить доступ во внутреннюю сеть предприятия, что накладывает дополнительные риски. В случае, если предприятия разворачивают решения в облаках, вопросы интеграции решаются отдельно и имеют свои ограничения, в связи с чем набор интеграционных задач облачных сервисов сложно рассматривать в едином портфеле с прочими интеграциями.</p>
Слоистая архитектура	<p>Компоненты в рамках модели слоистой архитектуры организованы в горизонтальные слои, каждый из которых выполняет определенную роль в приложении. Большинство слоистых архитектур состоят из четырех стандартных слоев: слой представления, бизнес-логика, слой доступа к данным и слой абстракции баз данных. В 1980-е годы появились паттерны проектирования, например, которые реализуют структуру слоев в приложениях. В 1990-х годах слоистая архитектура стала популярным подходом для разработки различных программных систем, в том числе веб-приложений и корпоративных систем. В 2010-х годах с появлением новых технологий, таких как веб-сервисы, REST API, микросервисы, слоистая архитектура стала еще более гибкой и расширяемой.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Разделение задач между компонентами • Каждый слой паттерна слоистой архитектуры имеет определенную роль и ответственность в приложении • Изменения, внесенные в один слой архитектуры, обычно не влияют на компоненты других слоев 	<ul style="list-style-type: none"> • Неумение документировать систему и информировать о том, какие слои открыты, а какие закрыты, приводит к тесно связанным и хрупким архитектурам, которые сложно развешивать и сопровождать • Слоистая архитектура склонна к созданию монолитных приложений, даже если слои представления и слой бизнес-логики разделены на отдельные развешиваемые единицы • Низкая производительность 	<p>Возможность каждого модуля взаимодействовать с любым другим модулем без четкой структуры и иерархии может привести к сложной и запутанной сети связей. В частности, возможно появление циклических зависимостей, которые могут привести к бесконечной рекурсии и взаимной блокировке. Такая архитектура характеризуется высокой связностью и сложностью взаимодействий между компонентами. Это делает любые изменения проблематичными, так как до конца не ясно, как изменения в одном модуле повлияют на другие и систему в целом. Для слоистой архитектуры особенно актуальны методики, позволяющие учитывать влияние компонентов друг на друга и зависимости между ними, а также приоритизировать программную разработку новых зависимостей и бизнес-логики с учетом этих зависимостей.</p>

Об авторе

Середенко Наталья Николаевна

к.э.н.;

доцент, кафедра Прикладной информатики и информационной безопасности, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия, 117997, Москва, Стремянный переулок, 36;

E-mail: Seredenko.NN@rea.ru

ORCID: 0009-0009-8113-0758

Development of a high-level design of an analytical software complex for an enterprise that provides end-to-end planning

Natalya N. Seredenko

E-mail: Seredenko.NN@rea.ru

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Abstract

Currently, many companies engaged in the production of medium-term turnover goods, are faced with the need to create a high-level design of a software complex that allows them to support a full cycle of sales planning, production, logistics and marketing campaigns. This is due to the economic development of the enterprise and the integration of independent software systems/modules that allow for the implementation of limited business processes without connection with related functions and business processes of the enterprise. Thus, enterprises find themselves in a situation where various departments have implemented a disparate set of information systems and software modules within which local accounting and analytics of various operations are carried out, while the software and analytical complex as a whole does not provide a complete, connected and cyclical planning process. This paper presents a model of requirements for functions, information objects and data flows, providing end-to-end planning, as well as an approach to identify missing objects of the existing information complex of the enterprise. An analytical network consisting of missing elements has been developed, taking into account the dependencies and interrelationships of information objects and software modules, which makes it possible to form a priority vector of the relative importance of software components. This vector represents a set of priorities for improvements to the enterprise software package and allows you to more effectively allocate the resources of the development team for the software implementation of missing functions, information objects and integration data flows between software modules.

Keywords: high-level design of an enterprise analytical software complex, end-to-end planning at the enterprise, data flow modeling, design of the enterprise information architecture, integration of enterprise software modules, functional composition of enterprise systems, Analytic Network Process

Citation: Seredenko N.N. (2024) Development of a high-level design of an analytical software complex for an enterprise that provides end-to-end planning. *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 61–80.

DOI 10.17323/2587-814X.2024.4.61.80

References

1. Yankovskaya V.V. (2023) *Planning at an enterprise*. Moscow: INFRA-M (in Russian).
2. Ilyin A.I. (2014) *Planning at an enterprise*. 9th ed. Moscow: INFRA-M; Minsk: New Knowledge (in Russian).
3. Telnov Yu.F., Kazakov V.A., Danilov A.V. (2021) Technology for designing innovative processes for creating products and services of a network enterprise using a knowledge-based i4.0 system. *Business Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 76–92. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.4.76.92>
4. Danilochkina N.G. (2019) Concept of end-to-end planning at industrial enterprises. *Current Problems of Socio-economic Development of Russia*, no. 4, pp. 38–41 (in Russian).
5. Hahn D. (1999) *Planning and control. The concept of controlling*. Moscow, Finance and Statistics (in Russian).
6. Bragina A.V., Vertakova Yu.V., Evchenko A.V. (2020) Development of end-to-end technologies for planning the activities of an industrial enterprise in the context of digitalization of the economy. *Production Organizer*, vol. 28, no. 1, pp. 24–35 (in Russian).
7. Minaev V.A., Mazin A.V., Zdiruk K.B., Kulikov L.S. (2019) Digital twins of objects in solving control problems. *Radio Industry*, vol. 29, no. 3, pp. 68–78 (in Russian). <https://doi.org/10.21778/2413-9599-2019-29-3-68-78>.
8. Kopeliovich D.I., Kurguz M.A., Lebedev V.V. (2022) Microservice architecture as a type of service-oriented architecture. *Scienceosphere*, no. 4-2, pp. 230–235 (in Russian).
9. Ibatulin M.Yu., Terentyev V.A. (2018) Application of microservice architectures for building enterprise business architecture in the era of digital transformation. Proceedings of the XXI Russian scientific conference on Enterprise Engineering and Knowledge Management (EEKM 2018). Moscow, April 26–28, 2018. Vol. 1, pp. 376–381 (in Russian).
10. Ford N., Richards M. (2020) *Fundamentals of software architecture: An engineering approach*. O'Reilly Media.
11. Kurzova Yu.A. (2022) Overview of the 1C program: Integrated automation. *IC-Business Architect*. Available at: <https://www.1c.ru/blog/detail/1s-kompleksnaya-avtomatizatsiya-obzor/> (accessed 06 July 2024) (in Russian).
12. *Certificate of state registration of a computer program No. 2022665892 Russian Federation. SSC. System-2 of business planning and budgeting based on the Oracle Hyperion Planning 11.1.2.4*, software package No. 2022664704, application 08/03/2022, publ. 08/23/2022; applicant Joint Stock Company “Siberian Service Company (in Russian).
13. Minyailo A.S. (2020) Study of information risks of Russian industrial companies in budget process management systems. *Corporate Economics*, no. 4(24), pp. 4–21 (in Russian).
14. Pirogov M.V., Abdulganiev A.N., Martinovich D.A. (2022) Application of multidimensional data warehouse technology (OLAP) based on the system for managing financial performance and enterprise activity IBM Planning Analytics. *Regional Economy Issues*, no. 4(53), pp. 144–162 (in Russian).
15. Nazarov D.M., Nazarov A.D., Kovtun D.B. (2020) Building technology and predictive analytics models in the SAP analytic cloud digital service. Proceedings of the 2020 IEEE Conference on Business Informatics (CBI 2020). Antwerp, June 22–24 2020. Vol. 2, pp. 106–110 (in Russian). <https://doi.org/10.1109/CBI49978.2020.10067>
16. Bragina A.V. (2021) *Technological modernization of an industrial enterprise using end-to-end planning technology*. Dissertation of a Cand. Sci. (Econ.). Kursk (in Russian).
17. Smirnov M. (2017) Microservice architecture in the corporate IT landscape. *Open Systems. DBMS*, no. 4, pp. 38–41 (in Russian).
18. Terentyev A.V., Polyakov Yu.N. (2020) Concept of design and construction of the basic algorithm of the business planning process in small and medium-sized businesses. *Management: Theory and Practice*, no. 1-3, pp. 99–105 (in Russian).
19. Shataeva O.V., Akimova E.N., Nikolaev M.V. (2021) *Economics of an organization (enterprise)*, 2nd ed. Moscow, Berlin: Direct-Media (in Russian).
20. Telnov Yu.F., Fedorov I.G. (2017) *Enterprise engineering and business process management. Methodology and technology*. Moscow: UNITY-DANA (in Russian).

21. Telnov Yu.F. (2005) *Business process reengineering: Component technology* (2nd ed.). Moscow: Finance and Statistics (in Russian).
22. Saaty T.L. (2015) *Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process*. Moscow: LENAND (in Russian).
23. Gusakov I.V. (2014) *Analysis and planning of sales in FMCG market companies*. Moscow: Nobel Press (in Russian).
24. Lehmann D.R. (2017) *Product management*. Moscow: UNITY-DANA (in Russian).
25. Zhukova T.N. (2021) *Management and organization of marketing activities*. Moscow: INFRA-M (in Russian).
26. Kotler P., Saunders D., Armstrong G., Veronica V. (2007) *Fundamentals of marketing*. Moscow: Williams (in Russian).
27. Toymentseva I.A., Mikhailov A.M. (2015) The influence of marketing and management decisions on the process of optimizing the enterprise budget. *Bulletin of the Samara Economic University*, no. 12(134), pp. 16–19 (in Russian).
28. Smurnov E.S. (2010) *Automation of material accounting*. Moscow: Laboratory of Books (in Russian).
29. Semenova N.V., Baygulova A.A. (2014) *Fundamentals of production management: electronic training course*. Ulyanovsk: UISU (in Russian).
30. Farakhutdinov Sh.F. (2021) *Modern trends and innovative methods in marketing research*. Moscow: INFRA-M (in Russian).
31. Gorsky M.A., Khalikov M.A. (2020) Models and methods for assessing the optimal size of an enterprise's production segment. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, no. 1-1, pp. 23–32 (in Russian).
32. Oyner O.K. (2022) *Marketing performance management*, 2nd ed. Moscow: Urait (in Russian).
33. Petrova I.R., Fakhrtudinov R.H., Suleymanova A.A., Razzhivin I.O., Fazulzyanov A.G. (2018) *Methodology of object-oriented modeling. The UML language*. Kazan: Kazan University (in Russian).
34. Freeman E., Robson E., Sierra K., Bates B. (2024) *Head First design patterns*. Saint Petersburg: Piter (in Russian).
35. State Standard of Russia (2000) *Methodology of functional modeling IDEF0. The guidance document*. Moscow.
36. Nazarova O.B., Novikova T.B., Maslennikova O.E. (2023) *ARIS: Theory and practice of business modeling*. Moscow: FLINT (in Russian).
37. Pervukhin D.V., Isaev E.A., Rytikov G.O., Filyugina E.K., Airapetyan D.A. (2020) Comparative analysis of theoretical models of cascade, iterative and hybrid approaches to managing the life cycle of an IT project. *Business Informatics*, vol. 14, no. 1, pp. 32–40. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.1.32.40>
38. Matveev A.A., Novikov D.A., Tsvetkov A.V. (2005) *Models and methods of project portfolio management*. Moscow: PMSOFT (in Russian).
39. Saaty T.L. (1993) *Decision making. The Analytic Hierarchy Process*. Moscow: Radio and Communications (in Russian).
40. Latypova V.A. (2018) A comparative analysis and a choice of tools implementing analytic hierarchy process. *Modeling, Optimization and Information Technologies*, vol. 6, no. 4(23), pp. 322–347 (in Russian). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024>
41. Saaty R.V. (2016) *Decision making with dependencies and feedbacks. A tutorial for SuperDecisions software*. Pittsburgh: Foundation for Creative Solutions.
42. Creative Decisions Foundation (2024) *Super Decisions software*. Available at: <https://www.superdecisions.com/> (accessed 06 July 2024).

About the author

Natalya N. Seredenko

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Security, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny lane, Moscow 115054, Russia;

E-mail: Seredenko.NN@rea.ru

ORCID: 0009-0009-8113-0758

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.81.97

Демистификация цифровой трансформации брокерской индустрии недвижимости в Китае: пример компании Lianjia (Beike)

Ф. Ван^{a,b} 

E-mail: fwang@hse.ru

О.В. Стоянова^a 

E-mail: ostoianova@hse.ru

А. Барахас^c 

E-mail: abarajas@uvigo.gal

^a Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Санкт-Петербург, Россия

^b Университет Лазурного берега, Ницца, Франция

^c Университет Виго, Оуренсе, Испания

Аннотация

Стремительная цифровая трансформация индустрии недвижимости в Китае привела к революции традиционных бизнес-моделей, и компания Lianjia (Beike) оказалась в авангарде этих изменений. В данном исследовании рассматривается путь компании Lianjia от обычной брокерской фирмы до ведущей цифровой платформы. Анализируется опыт создания хранилища данных о жилье и сделках (словаря жилья), развития сети сотрудничества агентов (ACN) и внедрения бизнес-модели офлайн-онлайн (O2O) на основе информационных систем управления (MIS). С использованием методологии «кейс-стади» показано как инновационное использование технологий в компании Lianjia повысило операционную эффективность, удовлетворенность клиентов и сформировало серьезные конкурентные преимущества. Представленные результаты дают ценное представление о потенциале цифровых платформ для стимулирования непрерывных инноваций и преобразований компаний в сфере недвижимости. В исследовании также обсуждаются более широкие последствия для цифровой экономики и предлагаются рекомендации для компаний, стремящихся к подобным преобразованиям.

Ключевые слова: цифровая трансформация, брокерская деятельность в сфере недвижимости, экосистема платформы, цифровая платформа, китайский рынок жилья, кейс-стади, Lianjia (Beike)

Цитирование: Ван Ф., Стоянова О.В., Барахас А. Демистификация цифровой трансформации брокерской индустрии недвижимости в Китае: пример компании Lianjia (Beike) // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 81–97. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.81.97

Введение

Развитие китайской индустрии недвижимости, как и китайской культуры, полно загадок. Несмотря на впечатляющие макроэкономические показатели роста индустрии недвижимости на фоне экономического развития Китая, научные и промышленные круги, похоже, обладают лишь скромными знаниями о причинах явлений, происходящих в отрасли. За последние два десятилетия рынок недвижимости быстро рос и играл важную роль в экономике страны. В 2023 году объем инвестиций в основные фонды (за исключением сельских домохозяйств) по всей стране составит 50 303,6 млрд юаней, что на 3,0 % больше, чем в предыдущем году [1].

Брокерская деятельность в сфере недвижимости играет важную роль в продвижении и продаже недвижимости, являясь ключевым каналом обращения и совершения сделок в данной сфере. Индустрия брокериджа недвижимости в Китае пережила четыре значительные эволюции с тех пор, как в 1998 году китайское правительство перестроило отрасль с плановой на рыночную, что совпало со взрывным ростом рынка недвижимости в целом [2]. На данный момент брокерская отрасль стала наиболее значимой и эффективной в цифровой трансформации всей индустрии недвижимости, что примечательно для отрасли в целом, поскольку считается, что в индустрии недвижимости сложно внедрять технологические инновации из-за существования жестких барьеров в виде застывших процессов и систем [3].

На современном этапе брокерская деятельность в сфере недвижимости в Китае переживает переход к бизнес-модели оффлайн-онлайн (O2O) коммерции, предусматривающей вытеснение традиционных оффлайн-брокеров цифровыми брокерскими платформами. Переход на цифровые платформы распространяется и проникает ускоренными темпами под влиянием кризиса COVID-19 [2, 4].

В данном исследовании используется методология качественного исследования «кейс-стади» для изучения пути цифровой трансформации компании Lianjia (Beike). Эта компания является ярким примером того, как традиционные риэлторские фирмы могут использовать цифровые технологии для трансформации своей деятельности и предоставления услуг. Изучая путь Lianjia, авторы данного исследования стремятся понять механизмы и результаты цифровой трансформации в брокерской индустрии. Основными задачами являются анализ стратегий, применяемых Lianjia, таких как создание хранилища данных (словаря жилья), развитие сети сотрудничества агентов (ACN) и внедрение бизнес-модели Offline-to-Online (O2O) на основе управленческих информационных систем (MIS), а также оценка влияния этих стратегий на операционную эффективность компании и удовлетворенность клиентов.

1. Обзор литературы

1.1. Информационные системы управления (MIS)

Информационные системы управления (management information systems, MIS) являются неотъемлемой частью современного бизнеса, поддерживая принятие решений, оптимизируя процессы и повышая эффективность организации [5]. Эти системы включают в себя ряд технологий и процессов, используемых для сбора, хранения, управления и анализа данных, предоставляя ценные сведения для руководства. За последние несколько десятилетий область MIS претерпела значительное развитие. Изначально ориентированная на базовую обработку данных и ведение учета, MIS теперь включает в себя такие передовые технологии, как большие данные, искусственный интеллект (artificial intelligence, AI) и облачные вычисления [6]. Эта эволюция расширила сферу применения MIS, включив в нее системы планирования ресурсов предприятия (enterprise resource planning, ERP), управления цепочками поставок

(supply chain management, SCM), управления взаимоотношениями с клиентами (customer relationship management, CRM) и системы управления знаниями (knowledge management systems, KMS) [7].

На успешное внедрение и эксплуатацию MIS влияют несколько ключевых факторов, включая технологическую инфраструктуру, качество данных и управление ими, обучение и вовлечение пользователей, организационную поддержку и интеграцию с бизнес-процессами. Для эффективного функционирования MIS необходима прочная технологическая база, включающая надежное оборудование, современное программное обеспечение и защищенную сеть. Эта инфраструктура обеспечивает сбор, обработку и распространение информации в организации [8].

Точность, актуальность, полнота и своевременность данных имеют решающее значение для эффективности MIS. Надлежащая практика управления данными обеспечивает наличие высококачественных данных для анализа и принятия решений [9]. Кроме того, жизненно важным для успеха MIS является обеспечение надлежащей подготовки пользователей и их вовлеченности в работу с ней. Пользователи должны понимать, как эффективно использовать систему для поддержки своих задач и процессов принятия решений [10].

Для успешного внедрения и эксплуатации MIS важны сильная поддержка со стороны высшего руководства и согласованность с целями организации [11, 12]. Это включает в себя предоставление необходимых ресурсов и формирование культуры, которая ценит принятие решений на основе данных [12]. Кроме того, MIS должна быть интегрирована с существующими бизнес-процессами, чтобы предоставлять актуальные и действенные сведения, обеспечивая эффективную поддержку системой стратегических и оперативных целей организации [11].

1.2. Бизнес-модели оффлайн-онлайн (O2O) в Китае

Бизнес-модель Offline-to-Online (O2O) возникла для того, чтобы устранить ограничения традиционных офлайн-операций, используя онлайн-возможности для привлечения и удержания клиентов. Этот подход позволяет объединить онлайн-маркетинг и транзакции с офлайн-производством и услугами, создавая целостный клиентский опыт. Быстрое распространение смартфонов и интернет-инфраструктуры в Китае создало идеальные условия для процветания O2O-бизнеса в различных секторах,

например, в розничной торговле [13, 14], производстве [15], доставке еды [16, 17], производстве мебели [18] и недвижимости [4]. Ключевыми движущими силами этой трансформации являются поддерживающая государственная политика, технологический прогресс и изменение поведения потребителей.

Во-первых, правительство Китая сыграло решающую роль в развитии O2O-бизнеса, проводя благоприятную политику и принимая нормативные акты, способствующие развитию электронной коммерции и цифровых инноваций, обеспечивая при этом защиту потребителей и стабильность рынка [19]. Эта благоприятная нормативная среда также способствовала формированию стандартов качества обслуживания в различных отраслях [20].

Во-вторых, технологический прогресс, особенно в области больших данных, искусственного интеллекта (ИИ) и мобильного интернета, стал основой для эволюции бизнес-моделей O2O [15]. Эти технологии обеспечивают синергетическое взаимодействие между онлайн- и офлайн-платформами, повышая операционную эффективность и вовлеченность клиентов.

Кроме того, на принятие и успех моделей O2O существенно повлияло поведение потребителей. Китайские потребители все больше отдают предпочтение удобству онлайн-покупок в сочетании с ощутимыми преимуществами офлайнового опыта [21]. Такое предпочтение свидетельствует о важности эффективной интеграции онлайн и офлайн каналов для обеспечения персонализированного и бесшовного взаимодействия, что повышает удовлетворенность клиентов [18].

1.3. Управление данными при применении MIS в бизнес-моделях O2O

Интеграция информационных систем управления (MIS) в бизнес-модели Offline-to-Online (O2O) произвела революцию в бизнесе, преодолев разрыв между традиционными физическими операциями и цифровыми платформами. MIS играют решающую роль в оптимизации бизнес-процессов, предоставляя данные в режиме реального времени, улучшая рабочие процессы [22]. Интеграция офлайн- и онлайн-данных позволяет предприятиям эффективно управлять своими ресурсами и оперативно реагировать на запросы рынка [23, 24].

MIS позволяет объединить виртуальное онлайн-поведение с реальной оффлайн-деятельностью, удовлетворяя персонализированные требования

клиентов по множеству параметров, таких как время, местоположение, информационные каналы, способ доставки ценности и стоимость. Помимо прочего, такая интеграция оптимизирует ресурсы и повышает общую эффективность маркетинговых кампаний [25]. Анализируя данные о клиентах, компании могут адаптировать свои услуги к индивидуальным предпочтениям, тем самым повышая удовлетворенность клиентов [21].

MIS предоставляет ценные сведения, которые поддерживают принятие стратегических решений [26]. Комплексное видение позволяет компаниям принимать обоснованные решения, повышающие их конкурентоспособность и способствующие росту [27, 28]. Вместе с тем, внедрение MIS в бизнес-модели O2O сопряжено с определенными трудностями, такими как обеспечение точности данных, проблемы интеграции различных систем и сохранения конфиденциальности данных клиентов [13, 25]. Компании должны внедрять передовые технологии и разрабатывать надежные стратегии для эффективного решения этих проблем [29].

Управление данными — краеугольный камень цифровой трансформации бизнеса [30]. Оно включает в себя систематический сбор, организацию, хранение и использование данных для поддержки принятия решений и бизнес-операций. Интеграция больших данных и аналитики позволяет менеджерам принимать обоснованные решения на основе данных в режиме реального времени. Эффективное управление данными в рамках MIS повышает операционную эффективность и способствует стратегическому обновлению бизнес-моделей O2O [2, 30, 31]. Благодаря эффективному управлению данными MIS гарантирует, что бизнес-модели O2O смогут использовать точную и актуальную информацию для постоянного совершенствования и инноваций, что в конечном итоге приведет к устойчивому конкурентному преимуществу [32, 33].

2. Методология исследования

2.1. Выбор метода исследования

В данном исследовании использован метод кейс-стади, который идеально подходит для изучения вопроса исследования. Как отмечается в работе [34], метод кейс-стади имеет ряд преимуществ, в том числе способность предоставлять полные, контекстуализированные знания, отражать сложные явления и адаптироваться к новым результатам. Этот подход позволяет глубоко исследовать конкретные случаи, способствуя всестороннему пониманию организационных процессов.

2.2. Выбор компании для проведения исследования

Дизайн исследования предусматривает исследование одного случая, а именно опыта компании Lianjia (Beike). Такой дизайн был выбран из-за показательной цифровой трансформации Lianjia, которая обеспечивает богатый контекст для изучения механизмов и результатов таких преобразований.

Компания Beijing Lianjia Real Estate Brokerage Co., известная как Lianjia, была основана в 2001 году. С момента основания и до 2017 года Lianjia быстро выросла из локального предприятия в общенациональную брокерскую компанию по недвижимости с более чем 8000 офлайн-магазинов и 130000 сотрудников в 28 городах Китая, достигнув валового объема сделок более чем в один триллион китайских юаней [35].

В 2018 году компания Lianjia запустила цифровую платформу под названием Beike, также известную как BEKE (KE Holdings Inc.). Эта платформа открыта для всех брокерских компаний по недвижимости, включая Lianjia, и предоставляет информацию о сделках с жильем, поддержку сделок, финансовую поддержку жилья и другие услуги в сфере недвижимости [36]. К 2020 году Beike продемонстрировала свою привлекательность на рынке: 279 брокерских брендов-резидентов, почти 47000 магазинов, ориентированных на сообщества, и около полумиллиона агентов по недвижимости в более чем 100 городах Китая, что способствовало более чем 3,6 миллионам сделок [37]. В мае 2020 года компания Beike была зарегистрирована на Нью-Йоркской фондовой бирже и стала крупнейшей платформой электронной коммерции недвижимости на китайском рынке по рыночной капитализации, в какой-то момент в пять раз превысив совокупную рыночную капитализацию своих конкурентов в Китае, таких как E-House, Fangdd, Fang Holdings, 58.com и 515j.com.

2.3. Источники данных

Данное исследование опирается на два основных источника данных: Проспект эмиссии и годовые отчеты KE Holdings Inc. [38, 39], в которых содержится публичная информация о компании Lianjia (Beike). Публично доступные данные исследования тщательно изучены, обработаны и включены в данное исследование, что обеспечивает всесторонний анализ процесса цифровой трансформации компании Lianjia.

3. Анализ кейса цифровой трансформации компании Lianjia (Weike)

Шаг I: Стратегия комплексной оцифровки данных о жилье — создание словаря жилья.

Компания Lianjia с 2008 года готовилась к завершению цифровой трансформации, что позволило ей воспользоваться рыночными возможностями в этой отрасли. Это произошло за девять лет до того, как Китай официально принял индустрию искусственного интеллекта в качестве национальной стратегии, когда в декабре 2017 года Министерство промышленности и информационных технологий Китая опубликовало «Трехлетний план действий по развитию индустрии искусственного интеллекта Китая на 2018–2020 годы» [40].

С 2008 года компания Lianjia вкладывает значительные средства в создание электронной базы данных брокерских объявлений, позже получившей название «словарь жилья» с помощью большого количества человеческих ресурсов, цифровых технологий и инструментов для проверки и аннотирования каждого объявления в своей системе, включая номер дома, тип дома, ориентацию и условия расположения и т.д. С 2008 года и до рождения Weike в 2018 году эта цифровая информация о жилье позволила Lianjia накопить самые достоверные и масштабные активы данных в Китае, а также заложить основу больших данных для реконструкции бизнес-модели и стандартизированного процесса обслуживания во всей брокерской индустрии недвижимости путем трансформации цифровых платформ, быстрого расширения технологических возможностей в области искусственного интеллекта (artificial intelligence, AI), виртуальной реальности (virtual reality, VR) и интернета вещей (and Internet of Things, IoT) и дальнейшего повышения доступности и богатства данных, доступных участникам платформы.

Словарь жилья Lianjia содержит исчерпывающую информацию о примерно 226 миллионах домов к 2020 году, что считается наиболее полным массивом данных о жилых домах в Китае.

Шаг II: Подготовка к бизнес-модели «оффлайн-онлайн» (O2O) — разработка сети сотрудничества агентов (Agent Cooperation Network, ACN).

Благодаря хорошо налаженной базе данных жилья компания Lianjia смогла стать пионером отраслевого стандарта «подлинных объявлений о продаже недвижимости» в брокерской индустрии недвижимости в Китае, чтобы противостоять вредоносной маркетинговой тактике поддельных объявлений, которая не нравится клиентам. В отсутствие единой нормативной базы недобросовестные агенты часто размещают объявления ниже рыночной стоимости или вообще на не существующие объекты, чтобы увеличить поток клиентов, в результате чего клиенты не могут отличить подлинные объявления от поддельных, а брокерские компании не могут по-настоящему контролировать свой основной актив — объявления. Чтобы стандартизировать процесс обслуживания сделок и способствовать сотрудничеству во избежание нечестной конкуренции, Lianjia в 2014 году запустила сеть сотрудничества агентов (ACN). Эта сеть стала вторым ключевым фактором успеха цифровой трансформации Lianjia, а затем стала основой бизнес-модели O2O компании Weike на базе MIS для соединения онлайн и офлайн инфраструктуры и управления различными участниками отраслевой платформы.

Сеть сотрудничества агентов (ACN) определяет процесс сделки с жильем через брокера по недвижимости как десять этапов, каждый из которых имеет четкое определение роли и соответствующие обязанности (рис. 1). При условии соблюдения правил сети ACN агенты по недвижимости имеют



Рис. 1. Поток брокерских услуг в рамках ACN [38].

доступ к полному обмену данными о листингах недвижимости и могут участвовать в сделке в разных ролях, органично взаимодействуя с вышестоящими и нижестоящими ролями и связывая интересы. Это позволяет нескольким агентам обрабатывать одну и ту же сделку, что способствует более частому межфирменному и межбрендовому сотрудничеству, при этом каждый агент получает часть комиссионных в зависимости от своей роли и вклада, вместо традиционной модели брокериджа недвижимости, когда комиссионные получает только тот агент, который в конечном итоге способствует сделке. Это позволяет нескольким агентам проводить одну и ту же сделку или одному агенту участвовать в нескольких сделках, чтобы облегчить обмен информацией и ресурсами клиентов между магазинами и брендами и повысить эффективность сделок и удовлетворенность клиентов. Каждый агент получает часть комиссионного вознаграждения в зависимости от своей роли и вклада, в отличие от традиционной модели брокериджа недвижимости, когда вознаграждение получает только тот брокер, который в конечном итоге проводит сделку.

Шаг III: Внедрение бизнес-модели O2O компании Weike на основе MIS.

Основанная на MIS бизнес-модель O2O превращает Weike в платформу, состоящую из трех частей: инфраструктуры платформы, участников платформы и услуг, предоставляемых через платформу (рис. 2). Инфраструктура платформы обеспечивает участникам платформы возможность беспрепятственно пользоваться моделью торговли O2O (офлайн и онлайн) и опытом использования платформы, что, в свою очередь, способствует предоставлению услуг более высокого качества. С другой стороны, благодаря опыту обслуживания клиентов и обратной связи с пользователями от участников отраслевой платформы, итерации и модернизация инфраструктуры платформы облегчаются.

Инфраструктура платформы. Ядром инфраструктуры и операционной системой платформы Weike является сеть сотрудничества агентов, которая соединяет онлайн и офлайн инфраструктуры на основе стандартизированных и оцифрованных процессов транзакций и различных ролей, а каждая онлайн и офлайн инфраструктура содержит четыре основных модуля [37].

Модули онлайн-инфраструктуры были созданы для поддержки цифровой трансформации опе-



Рис 2. Концепция бизнес-модели O2O компании Weike на основе MIS [37].

рациональных систем компании в режиме онлайн, в виде специально разработанных цифровых решений, включая программное обеспечение как услугу (SaaS), клиентский фронт-энд, анализ данных и искусственный интеллект (AI), а также виртуальную реальность (VR).

- ◆ Система SaaS предназначена для агентов и менеджеров магазинов и является носителем для проведения каждого раздела транзакций в ACN, что обеспечивает визуализацию и стандартизацию всего процесса транзакций.
- ◆ Фронт-энд платформы Weike, предназначенной для взаимодействия с клиентами, предоставляющими жилье, включает в себя веб-сайт ke.com, приложение Weike, горячую линию обслуживания клиентов на мандаринском китайском языке и другие онлайн-интерфейсы.
- ◆ Технологии анализа данных и искусственного интеллекта помогают платформе обрабатывать и анализировать исторические данные о недвижимости и сделках и предоставлять анализ, включая ценообразование, предложение и спрос, агентам и покупателям жилья для более полного согласования спроса и облегчения сделок с жильем.
- ◆ Технология VR на платформе предоставлена RealSee, дочерней компанией Weike, как одно из четырех цифровых онлайн-решений. Она позволяет вывести оффлайн-дома на онлайн-сцену, что компенсирует недостаток, вызванный ограничениями физического пространства в оффлайне. С помощью живых туров VR покупатели жилья могут наслаждаться 360-градусным иммерсивным отображением объявлений о продаже недвижимости через фронт-энд Weike, с агентом, проводящим онлайн-тур, и даже достичь намерения совершить сделку. По данным KE Holdings Inc. [39], по состоянию на 2022 год пользователи платформы Weike в общей сложности 1,508 миллиарда раз воспользовались VR-турами.

Для автономной инфраструктуры Weike создала два модуля, ориентированных на сообщество, которые включают центры обслуживания транзакций, а также внутренние и внешние сети, ориентированные на сообщество. Эта автономная инфраструктура определяется как сообщество агентов, магазинов, клиентов жилья и других общественных учреждений, которые поддерживают большинство операций, которые должны выполняться в автономном режиме.

- ◆ Центр обслуживания сделок является одним из важнейших автономных инфраструктурных

модулей платформы Weike и подключается к ее онлайн-системе поддержки сделок. Он помогает клиентам и агентам по продаже жилья предоставлять такие услуги, как заключение договоров купли-продажи жилья, уплата налогов в налоговые органы, передача прав собственности, регистрация права собственности на жилье, банковские кредиты и гарантии, сотрудничая с государственными учреждениями, агентствами по оценке недвижимости, банками и гарантийными компаниями. Модуль предназначен для решения таких проблем доверия, как неспособность покупателя заплатить продавцу в соответствии с договоренностью; неспособность продавца передать покупателю право собственности после получения оплаты; неспособность завершить передачу из-за проблем с правом собственности; неспособность покупателя и продавца оплатить комиссионные агента и т.д.

- ◆ Под сетью, ориентированной на сообщество, подразумеваются оффлайн-точки контакта, сформированные компанией Lianjia (внутренние) и ее аффилированными оффлайн-магазинами (внешние). Эти оффлайн-магазины распределены по большим и малым жилым районам, сосредоточены на работе с населением и вовлечении его в жизнь, а через ACN и SaaS-систему платформы Weike образуют сеть, которая взаимодействует как онлайн, так и оффлайн.

Участники платформы. Платформа Weike состоит из трех типов участников: поставщиков услуг, застройщиков и покупателей жилья. Поставщики услуг связаны и взаимодействуют с сетью сотрудничества агентов в качестве инфраструктуры, которая включает агентов, брокерские магазины, брокерские бренды, поставщиков услуг по ремонту жилья и других поставщиков услуг, связанных с жильем. Присоединяясь к платформе Weike, они автоматически становятся частью сети сотрудничества агентов, что позволяет им проактивно распределять комиссионные на основе ролей и пользоваться специально разработанными цифровыми решениями в режиме онлайн и ориентированными на сообщество точками контакта в режиме оффлайн для облегчения сделок. В отличие от поставщиков услуг, застройщики недвижимости не участвуют напрямую в сети сотрудничества агентов, а сотрудничают с Weike, размещая объявления о своих новых проектах жилья на платформе для привлечения и подбора клиентов, в то время как платформа распределяет и подбирает различные роли для разных магазинов, брендов и агентов на основе сети

сотрудничества агентов. Клиентами платформы являются покупатели и продавцы жилья, арендодатели и арендаторы, а также другие клиенты с потребностями, связанными с жильем.

Предложения услуг. Будучи платформой электронной коммерции, Weike не предоставляет напрямую услуги и продукты, связанные с недвижимостью, а скорее служит платформой для связи между брендами, магазинами недвижимости, фирмами по ремонту жилья и другими поставщиками услуг, а также застройщиками недвижимости и потенциальными покупателями жилья путем сопоставления информации. Услуги платформы, соответствующие поставщикам услуг, включают в себя сделки с существующим жильем (также называемые сделками с подержанными домами), аренду жилья, услуги по ремонту жилья и т.д. В этой части услуг основным источником дохода для платформы Weike является извлечение части комиссии от сделок с жильем и плата за обслуживание платформы для брендов и магазинов-резидентов. Другая часть сервиса предназначена для застройщиков. Платформа Weike выступает в качестве канала продаж новых домов (домов из первых рук), сводя застройщиков с покупателями новых домов и предоставляя решения по продажам и маркетингу, включая брокерские услуги, планы продаж, онлайн-маркетинг, цифровые инструменты и т.д. При оказании услуг по продаже новых домов Weike получает доход от платформы за счет комиссионных от застройщиков.

4. Обсуждение

4.1. Ключевые факторы успешных цифровых преобразований Lianjia

Превратившись в платформу, компания станет более конкурентоспособной и сможет конкурировать со всей отраслевой экосистемой [2, 41]. Преобразуясь в цифровую платформу Weike, компания Lianjia открывает свою инфраструктуру и операционную систему для всей индустрии недвижимости, что позволяет ей повысить конкурентоспособность и получить право голоса в отрасли благодаря совместимости как с внутренними, так и с внешними участниками экосистемы.

Успешную цифровую трансформацию Lianjia в Weike можно объяснить сочетанием ключевых факторов. Первый фактор — благоприятная макросреда китайского рынка, характеризующаяся акцентом правительства на технологические инновации

и гибкой нормативно-правовой базой. Такая обстановка позволила Lianjia преодолеть традиционные отраслевые барьеры и утвердиться в роли лидера.

Второй фактор — данные. Данные играют ключевую роль в соединении традиционных и оцифрованных бизнес-процессов. Трансформация бизнес-процессов брокеров недвижимости из традиционно офлайн-овых в цифровые онлайн-операции привела к значительному повышению эффективности, точности, безопасности и качества обслуживания клиентов [29]. По сути, как показано на *рисунке 3*, управление и применение бизнес-данных, а также цифровая инфраструктура, в которой эти данные хранятся, сыграли решающее значение для этой трансформации [42]. Использование цифровых технологий позволило оптимизировать процесс подачи объявлений о продаже недвижимости, просмотра, переговоров и сделок, обеспечивая эффективность и соответствие нормативным стандартам [37, 38].

Согласно данным KE Holdings Inc. [37, 38] и Zuo [4], существует четыре основных процесса, структурированных как основные виды деятельности или услуги, предоставляемые брокером по недвижимости: исследование рынка и листинг недвижимости (A1), просмотр недвижимости и взаимодействие (A2), переговоры и соглашение (A3), а также сделка и документация (A4).

В традиционной брокерской деятельности по продаже недвижимости на начальном этапе изучения рынка и составления объявлений (A1) в значительной степени использовался ручной сбор данных, печатные материалы и личные визиты. Агенты по недвижимости физически посещали объекты, чтобы собрать информацию, сделать фотографии и составить объявления. Затем эти объявления продвигались с помощью печатных брошюр и рекламы, распространяемых среди потенциальных покупателей. Этот метод отнимал много времени и был чреват ошибками и задержками. Цифровая трансформация этого этапа предполагает использование автоматизированных систем подачи объявлений на базе платформ и алгоритмов онлайн-продвижения. Агенты по недвижимости теперь могут использовать онлайн-платформы для мгновенной загрузки информации о недвижимости, фотографий и виртуальных туров. Эти платформы используют передовые алгоритмы для продвижения объявлений среди целевой аудитории, что значительно увеличивает охват и эффективность маркетинговых усилий.



Рис. 3. Встроенные механизмы трансформационных бизнес-процессов.

Второй этап – просмотр недвижимости и взаимодействие с покупателями (A2) – традиционно включал в себя физические показы, телефонные звонки для составления расписания и ручную координацию между агентами и потенциальными покупателями. Такой подход был сильно ограничен географическими и логистическими ограничениями, что часто затрудняло покупателям просмотр нескольких объектов за короткий период времени. Цифровая революция радикально улучшила этот этап, особенно с точки зрения экономии времени и сокращения циклов управления. Потенциальные покупатели могут совершать виртуальные туры по объектам недвижимости, взаимодействуя с агентами посредством видеозвонков и чата. Такое сокращение технологических циклов позволяет сократить временные затраты с недель до минут и часов, сэкономить ресурсы и повысить общую операционную эффективность и качество обслуживания клиентов.

Переговоры и согласование (A3), третий этап, традиционно предполагал личные переговоры и составление договоров вручную. Агенты по недвижимости и юридические консультанты встречались с покупателями и продавцами для обсуждения условий, составления договоров и обеспечения со-

блюдения юридических требований [43]. Цифровизация позволила оптимизировать этот этап с помощью онлайн-платформ для переговоров и автоматизированных юридических консультантов. Эти платформы способствуют проведению переговоров в режиме реального времени с помощью чата и видеосвязи, а автоматизированные юридические консультанты используют predefined базы данных искусственного интеллекта для составления и проверки договоров, обеспечивая точность и соответствие требованиям [44].

Заключительный этап – транзакция и документация (A4) – традиционно предполагал ручную работу с бумагами, физическое хранение документов и традиционные банковские переводы для оплаты. Такой подход был трудоемким и подверженным ошибкам, мошенничеству и задержкам. Цифровая трансформация привела к появлению цифровых платежных и транзакционных систем, что значительно повысило эффективность и безопасность этого этапа. Цифровые платежные шлюзы и технология блокчейн обеспечивают безопасность и прозрачность транзакций, а сервисы цифровой подписи способствуют электронному подписанию документов [45, 46].

4.2. Ключевые отличия в цифровой трансформации Lianjia

Несколько ключевых отличий позволили компании Lianjia (Weike) максимально использовать преимущества цифровой трансформации, установить новые стандарты в сфере брокериджа недвижимости и стать лидером отрасли. Среди этих отличительных факторов — ранний старт и накопление данных, широкий набор используемых технологий и сквозной охват всех бизнес-процессов.

Во-первых, путь цифровой трансформации компании Lianjia начался с того, что она с самого начала сосредоточилась на накоплении и использовании обширных данных. Эта инициатива была инициирована созданием словаря жилищного фонда в 2008 году. Словарь жилья — это всеобъемлющая база данных, которая динамически включает подробную информацию о миллионах домов по всему Китаю. Он служит основой для цифровой базы знаний Lianjia, объединяя исторические данные о сделках, показатели работы агентов и другую важную информацию.

- ◆ **Комплексное хранилище данных:** словарь жилья представляет собой полное хранилище данных о недвижимости, повышающее надежность объявлений о продаже недвижимости и облегчающее проведение расширенной аналитики.
- ◆ **Исторические данные о сделках:** благодаря интеграции исторических данных о сделках, Lianjia может предложить точную оценку недвижимости и анализ рыночных тенденций, что повышает доверие клиентов и улучшает процесс принятия решений.
- ◆ **Показатели эффективности:** отслеживание показателей эффективности работы агентов помогает выявить лучших исполнителей, оптимизировать распределение агентов и повысить общее качество обслуживания.

Во-вторых, способность Lianjia интегрировать широкий спектр передовых технологий сыграла ключевую роль в ее цифровой трансформации. Компания использует разнообразный технологический стек для повышения операционной эффективности, улучшения качества обслуживания клиентов и предоставления услуг.

- ◆ **Аналитика больших данных:** использование обширных данных для получения информации о тенденциях рынка, предпочтениях клиентов и стратегиях ценообразования, что позволяет принимать решения на основе данных.

- ◆ **Искусственный интеллект (AI) и машинное обучение (ML):** внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозной аналитики, персонализированных рекомендаций клиентам и автоматизации рутинных задач, что повышает эффективность и удовлетворенность клиентов.
- ◆ **Облачные вычисления:** использование облачной инфраструктуры для обеспечения масштабируемого, безопасного и эффективного хранения и обработки данных, поддерживая обширные цифровые операции компании.
- ◆ **Виртуальная реальность (VR):** предлагает захватывающие впечатления от просмотра недвижимости с помощью технологии VR, преодолевая разрыв между онлайн и офлайн взаимодействием и повышая вовлеченность клиентов.
- ◆ **Блокчейн:** обеспечивает безопасность и прозрачность транзакций, снижает уровень мошенничества и повышает доверие к процессу цифровых сделок.

В-третьих, комплексный подход Lianjia к цифровой трансформации распространяется на все ее бизнес-процессы, объединяя как внутренние операции, так и взаимодействие с различными заинтересованными сторонами.

- ◆ **Сеть сотрудничества агентов (ACN):** стандартизирует процесс транзакций и способствует сотрудничеству между агентами в разных регионах и магазинах. Она облегчает обмен данными, распределение ресурсов и совместные операции, повышая эффективность и качество обслуживания.
- ◆ **Информационная система управления (MIS)** на основе бизнес-модели O2O: поддерживает внутренние рабочие процессы, улучшает коммуникацию и оптимизирует управление ресурсами, обеспечивая беспрепятственную интеграцию цифровых процессов в организации. Она соединяет онлайн и офлайн деятельность, интегрируя цифровые платформы с физическими услугами. Эта модель обеспечивает последовательное и комплексное обслуживание клиентов как в онлайн, так и в офлайне.
- ◆ **Платформы для клиентов:** включает в себя множество каналов, таких как веб-сайт ke.com, приложение Weike и горячие линии обслуживания клиентов, обеспечивая доступность и эффективность взаимодействия с клиентами.

4.3. Критика цифровой трансформации компании Lianjia

Традиционные китайские брокерские компании по продаже недвижимости, такие как Lianjia, смогли получить огромные преимущества платформы и создать конкурентоспособную экосистему благодаря цифровой трансформации, однако недостатки отрасли, вызванные трансформацией или не изменившиеся в результате трансформации, также очевидны. Среди ключевых недостатков можно отметить следующие.

Увеличение комиссионных и транзакционных издержек. Warwick и Wong [47] подвергли критике компанию Lianjia, которая быстро увеличила свою долю рынка в Китае после преобразования в цифровую платформу и повысила комиссионные при объединении своих продуктов брокерских услуг. Это, несомненно, привело к увеличению затрат на проведение операций на дому. Клиенты также склонны придерживаться только одной платформы, что усиливает доминирование цифровых платформ на рынке, особенно благодаря доминирующим ценам [48].

Негативные последствия низких барьеров входа. Hsieh и Moretti [49] и Warwick и Pathakwe [50] отметили, что из-за низких барьеров входа и большого количества участников, особенно в брокерской индустрии жилья, в отрасли возникла чрезвычайно жесткая конкуренция. Индустрия брокериджа недвижимости считается высокодоходной благодаря значительным брокерским комиссионным. Это привлекло в отрасль множество практикующих брокеров и компаний, однако количество объектов недвижимости, доступных для сделок, как новых, так и существующих, ограничено. Это привело к конкуренции различных агентов за одно и то же явление о продаже жилья, в том числе многих неопытных агентов, что привело к длительному циклу сделок с жильем, что привело к снижению производительности труда и косвенно повлияло на снижение социального благосостояния [51].

Озабоченность качеством услуг. Еще одной проблемой, вызванной снижением входного барьера, является неравномерное качество брокерских услуг. Низкий барьер входа в отрасль приводит к тому, что качество услуг агентов по недвижимости может быть разным. Например, брокерская индустрия в Китае развивалась всего 20 лет с момента своего образования, что объясняет отсутствие единых стандартов

квалификации специалистов-практиков, в отношении таких характеристик как профессиональное отношение, уровень образования и профессиональная подготовка. В отрасли брокерские компании или агенты могут взаимодействовать с потенциальными покупателями жилья, пока у них есть информация о листинге, а цифровые брокерские платформы облегчают им оценку этой информации и контакт с клиентами. Однако клиентам, не имеющим опыта покупки жилья, сложно определить, какие агенты предоставляют более качественные брокерские услуги, что приводит к огромному разрыву в опыте обслуживания и даже к ухудшению имиджа всей отрасли [52].

Заключение

Данное исследование показало, что комплексная цифровая трансформация Lianjia путем создания словаря жилья, сети сотрудничества агентов (ACN) и внедрения бизнес-модели O2O на основе MIS позволила значительно повысить операционную эффективность и удовлетворенность клиентов в китайской брокерской отрасли недвижимости. Инновационное использование цифровых платформ не только обеспечило Lianjia конкурентное преимущество, но и послужило образцом для других риэлторских компаний, стремящихся провести аналогичные преобразования.

Однако концентрация на одном конкретном примере имеет определенные ограничения, поскольку полученные результаты могут не в полной мере отражать разнообразный опыт цифровой трансформации во всей отрасли. Будущие исследования могут устранить эти недостатки путем проведения сравнительных исследований на разных рынках или изучения долгосрочного влияния на прибыльность и долю рынка.

В заключение следует отметить, что данное исследование подчеркивает критическую роль цифровой трансформации в модернизации брокерской индустрии недвижимости и предполагает, что другие компании могут добиться такого же успеха, внедряя стратегические цифровые инновации. Опыт компании Lianjia способствует более широкому пониманию цифровой трансформации и ее потенциала для значительного повышения эффективности бизнеса и вовлечения клиентов. ■

Литература

1. Investment in fixed assets in 2023 // National Bureau of Statistics of China, 2024. [Электронный ресурс]: https://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202402/t20240201_1947074.html (дата обращения 2.11.2024).
2. Zhang Y., Yao L. How the leading Chinese real estate brokerage transformed into a digital platform business // *Strategy and Leadership*. 2022. Vol. 50. No. 1. P. 19–24. <https://doi.org/10.1108/SL-10-2021-0107>
3. Kassner A.J., Cajias M., Zhu B. The PropTech investors' dilemma – What are the key success factors that secure survival? // *Journal of Property Investment & Finance*. 2022. Vol. 41. No. 1. P. 76–91. <https://doi.org/10.1108/JPIF-01-2022-0007>
4. Zuo H. The rise of platform-based networks: Outlook for the real estate brokerage industry // *Understanding China's Real Estate Markets*. 2021. P. 299–305.
5. Gupta H. Management information system – An insight. Hitesh Gupta, 2011.
6. Laudon K.C., Laudon J.P. Management information systems: Managing the digital firm. Pearson Education, 2004.
7. Costa A., Ferreira C., Bento E., Aparicio F. Enterprise resource planning adoption and satisfaction determinants // *Computers in Human Behavior*. 2016. Vol. 63. P. 659–671. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.090>
8. Karim A.J. The significance of management information systems for enhancing strategic and tactical planning // *Journal of Information Systems and Technology Management*. 2011. Vol. 8. P. 459–470. <https://doi.org/10.4301/S1807-17752011000200011>
9. Janssen M., van der Voort H., Wahyudi A. Factors influencing big data decision-making quality // *Journal of Business Research*. 2017. Vol. 70. P. 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.007>
10. Venkatesh V., Speier C., Morris M.G. User acceptance enablers in individual decision making about technology: Toward an integrated model, decision sciences // *Decision Sciences*. 2002. Vol. 33. No. 2. P. 297–316. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2002.tb01646.x>
11. The alignment of information systems with organizational objectives and strategies in health care / M. Bush [et al.] // *International Journal of Medical Informatics*. 2009. Vol. 78. No. 7. P. 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2009.02.004>
12. Marsh J.A., Farrell C.C. How leaders can support teachers with data-driven decision making: A framework for understanding capacity building // *Educational Management Administration & Leadership*. 2015. Vol. 43. No. 2. P. 269–289. <https://doi.org/10.1177/1741143214537229>
13. Kim Y., Wang Q., Roh T. Do information and service quality affect perceived privacy protection, satisfaction, and loyalty? Evidence from a Chinese O2O-based mobile shopping application // *Telematics and Informatics*. 2021. Vol. 56. 101483. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101483>
14. Shen C., Chen M., Wang C. Analyzing the trend of O2O commerce by bilingual text mining on social media // *Computers in Human Behavior*. 2019. Vol. 101. P. 474–483. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.031>
15. Sun S., Cegielski C.G., Li Z. Amassing and analyzing customer data in the age of big data: A case study of Haier's online-to-offline (O2O) business model // *Journal of Information Technology Case and Application Research*. 2015. Vol. 17. No. 3–4. P. 156–165. <https://doi.org/10.1080/15228053.2015.1095017>
16. Li M., Wang M., Wang T. Analysis on influencing factors of e-loyalty of a Chinese O2O E-commerce food delivery platform // *Proceedings of the 2020 4th International Conference on E-Business and Internet*, Association for Computing Machinery, New York, USA, 2021. P. 6–10. <https://doi.org/10.1145/3436209.3436885>
17. Xue G., Wang Z., Wang G. Optimization of rider scheduling for a food delivery service in O2O business // *Journal of Advanced Transportation*. 2021. Vol. 2021. No. 1. 5515909. <https://doi.org/10.1155/2021/5515909>
18. Lin M., Wang Z., Zhang Z., Cao Y. Research on consumers' attitudes in China about using online-to-offline mode for purchasing wooden furniture // *Forest Products Journal*. 2019. Vol. 69. No. 2. P. 159–172. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-18-00039>
19. Junyong X., Linbo J. Electronic commerce in China: current status, development strategies, and new trends // *China Finance and Economic Review*. 2014. Vol. 3. No. 3. P. 71–94. <https://doi.org/doi:10.1515/cfer-2014-030306>
20. Li Y., Shang H. Service quality, perceived value, and citizens' continuous-use intention regarding e-government: Empirical evidence from China // *Information & Management*. 2020. Vol. 57. No. 3. 103197. <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103197>
21. Yang Y., Gong Y., Land L.P.W., Chesney T. Understanding the effects of physical experience and information integration on consumer use of online to offline commerce // *International Journal of Information Management*. 2020. Vol. 51. 102046. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.102046>
22. Guha S., Kumar S. Emergence of big data research in operations management, information systems, and healthcare: Past contributions and future roadmap, production and operations management // *SAGE Publications*. 2018. Vol. 27. No. 9. P. 1724–1735. <https://doi.org/10.1111/poms.12833>
23. Oh L.-B., Teo H.-H., Sambamurthy V. The effects of retail channel integration through the use of information technologies on firm performance // *Journal of Operations Management*. 2012. Vol. 30. No. 5. P. 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.03.001>
24. Rialti R., Marzi G., Silic M., Ciappei C. Ambidextrous organization and agility in big data era // *Business Process Management Journal*. 2018. Vol. 24. No. 5. P. 1091–1109. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-07-2017-0210>
25. Xu Y., Teng F., Liu Q. Management information systems for advertisement based on online-to-offline strategy // *IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*. 2017. P. 197–202. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2017.7959993>

26. Grover V., Chiang R.H.L., Liang T.-P., Zhang D. Creating strategic business value from big data analytics: A research framework // *Journal of Management Information Systems*. 2018. Vol. 35. No. 2. P. 388–423. <https://doi.org/10.1080/07421222.2018.1451951>
27. Analytics-based decision-making for service systems: A qualitative study and agenda for future research / S. Akter [et al.] // *International Journal of Information Management*. 2019. Vol. 48. P. 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.020>
28. Shet S.V., Poddar T., Wamba S.F., Dwivedi Y.K. Examining the determinants of successful adoption of data analytics in human resource management – A framework for implications // *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 131. P. 311–326. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.03.054>
29. Wang F. The necessity of strategic transformation of real estate digital operations from the perspective of information economic management // *Cuadernos de Economía*. 2022. Vol. 45. No. 129. P. 60–69. <https://doi.org/10.32826/cude.v1i129.807>
30. Chanas S., Myers M.D., Hess T. Digital transformation strategy making in pre-digital organizations: The case of a financial services provider // *The Journal of Strategic Information Systems*. 2019. Vol. 28. No. 1. P. 17–33. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.11.003>
31. Spatial urban data system: A cloud-enabled big data infrastructure for social and economic urban analytics / O.C.D. Anejionu [et al.] // *Future Generation Computer Systems*. 2019. Vol. 98. P. 456–473. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.03.052>
32. Garcia-Teruel R. Legal challenges and opportunities of blockchain technology in the real estate sector // *Journal of Property Planning and Environmental Law*. 2020. Vol. 12. No. 2. P. 129–145. <https://doi.org/10.1108/JPPPEL-07-2019-0039>
33. Marona B., Tomal M. The COVID-19 pandemic impact upon housing brokers' workflow and their clients' attitude: Real estate market in Krakow // *Entrepreneurial Business and Economics Review*. 2020. Vol. 8. No. 4. P. 221–232. <https://doi.org/10.15678/EBER.2020.080412>
34. Yin R.K. *Case study research and applications*. Sage, 2018.
35. Introduction to Beijing Lianjia // Beike Real Estate, 2024. [Электронный ресурс]: <https://bj.lianjia.com/about/aboutlianjia> (дата обращения 2.11.2024).
36. Beijing Lianjia Chronicle // Beike Real Estate, 2024. [Электронный ресурс]: <https://bj.lianjia.com/about/lianjiaevents> (дата обращения 2.11.2024).
37. Initial Public Offering of American Depositary Shares. Prospectus of KE Holdings Inc. no 333-240068 // KE Holdings Inc., 2020. [Электронный ресурс]: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1809587/000104746920004582/a2242260z424b4.htm> (дата обращения 2.11.2024).
38. Listing by way of introduction of the main board of the stock exchange of Hong Kong // KE Holdings Inc., 2022. [Электронный ресурс]: https://www1.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2022/0505/2022050500082_c.pdf (дата обращения 2.11.2024).
39. Beike carbon neutrality target and roadmap report // KE Holdings Inc., 2023. [Электронный ресурс]: <https://about.ke.com/news/article/1702633307019155> (дата обращения 2.11.2024).
40. Ciemiak R. Navigating the property data landscape // *Understanding China's Real Estate Markets*. Management for Professionals. Springer, Cham, 2021. P. 21–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49032-4_3
41. van Alstyne M.W., Parker G.G., Choudary S.P. Pipelines, platforms, and the new rules of strategy // *Harvard Business Review*. 2016. Vol. 94. No. 4. P. 54–62.
42. Stoianova O., Lezina T., Ivanova V. The framework for assessing company's digital transformation readiness // *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*. 2020. Vol. 36. No. 2. P. 243–265. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.204>
43. Cubric M. Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in business and management: A tertiary study // *Technology in Society*. 2020. Vol. 62. P. 101257. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101257>
44. Li L., Wang C. Real estate agency in China in the information age // *Property Management*. 2006. Vol. 24. No. 1. P. 47–61. <https://doi.org/10.1108/02637470610643119>
45. Wang F. The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate // *Business Informatics*. 2023. Vol. 17. No. 2. P. 85–97. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2023.2.85.97>
46. Wang F. Block by block: a bibliometric analysis of blockchain in real estate // *Journal of Information Systems Engineering and Management*. 2023. Vol. 8. No. 2. P. 21498. <https://doi.org/10.55267/iadt.07.13880>
47. Barwick P.J., Wong M. *Competition in the real estate brokerage industry: A critical review*. The Brookings Institution Publication, 2019.
48. Best M.C., Kleven H.J. Housing market responses to transaction taxes: Evidence from. Notches and stimulus in the UK // *The Review of Economic Studies*. 2018. Vol. 85. No. 1. P. 157–193. <https://doi.org/10.1093/restud/rdx032>
49. Hsieh C.-T., Moretti E. Can free entry be inefficient? Fixed commissions and social waste in the real estate industry // *Journal of Political Economy*. 2003. Vol. 111. No. 5. P. 1076–1122. <https://doi.org/http://doi.org/10.1086/376953>
50. Barwick P.J., Pathak P.A. An empirical study of real estate agents in Greater Boston // *The RAND Journal of Economics*. 2015. Vol. 46. No. 1. P. 103–145. <https://doi.org/10.1111/1756-2171.12082>
51. Gilbukh S., Goldsmith-Pinkham P.S. Heterogeneous real estate agents and the housing cycle // *National Bureau of Economic Research*. 2019. Working Paper No. 31683. <https://doi.org/10.3386/w31683>
52. Wang F., Stoianova O.V. Modelling the effect of E-service quality and knowledge culture on employee performance: A SEM approach based on survey data from Chinese real estate industry // *Journal of Applied Informatics*. 2023. Vol. 18. No. 5. P. 5–19. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2023-18-5-5-19>

Об авторах

Ван Фэнчэнъ

аспирант, Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия, 194100, Санкт-Петербург, Кантемировская улица, 3А-1;

студент магистратуры, Кампус Вальрозе, Университет Лазурного берега, Франция, 06000, Ницца, авеню Вальрозе, 28;

E-mail: fwang@hse.ru

ORCID: 0000-0003-3103-5049

Стойанова Ольга Владимировна

д.т.н.;

профессор, руководитель департамента бизнес-информатики и операционного менеджмента, Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия, 194100, Санкт-Петербург, Кантемировская улица, 3А-1;

E-mail: ostoyanova@hse.ru

ORCID: 0000-0002-7281-2708

Барахас Анхель

д-р наук (PhD) в области делового администрирования;

доцент, факультет делового администрирования и туризма, Университет Виго, Испания, 32004, Оуренсе;

E-mail: abarajas@uvigo.gal

ORCID: 0000-0002-0198-4457

Demystifying the digital transformation of the real estate brokerage industry in China: A case study of Lianjia (Beike)

Fengchen Wang^{a, b}

E-mail: fwang@hse.ru

Olga V. Stoianova^a

E-mail: ostoyanova@hse.ru

Angel Barajas^c

E-mail: abarajas@uvigo.gal

^a St. Petersburg School of Economics and Management, HSE University, Saint Petersburg, Russia

^b Université Côte d'Azur, Nice, France

^c University of Vigo, Ourense, Spain

Abstract

The rapid digital transformation of the real estate brokerage industry in China has revolutionized traditional business models, with Lianjia (Beike) at the forefront of this shift. This study explores Lianjia's journey from a conventional brokerage firm to a leading digital platform, analyzing the strategic digitalization of housing data through the creation of the Housing Dictionary, the development of the agent cooperation network (ACN), and the implementation of a management information systems (MIS) based Offline-to-Online (O2O) business model. Through a qualitative case study methodology, this research highlights how Lianjia's innovative use of technology has enhanced operational efficiency, customer satisfaction and competitive advantage. The findings provide valuable insights into the potential of digital platforms to drive continuous innovation and transformation in the real estate industry. This study also discusses the broader implications for the digital economy and offers recommendations for businesses aiming to undergo similar transformations.

Keywords: digital transformation, real estate brokerage, platform ecosystem, digital platform, Chinese housing market, case study, Lianjia (Beike)

Citation: Wang F., Stoianova O.V., Barajas A. (2024) Demystifying the digital transformation of the real estate brokerage industry in China: A case study of Lianjia (Beike). *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 81–97. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.81.97

References

1. National Bureau of Statistics of China (2024) *Investment in fixed assets in 2023*. Available at: https://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202402/t20240201_1947074.html (accessed 2 November 2024).
2. Zhang Y., Yao L. (2022) How the leading Chinese real estate brokerage transformed into a digital platform business. *Strategy and Leadership*, vol. 50, no. 1, pp. 19–24. <https://doi.org/10.1108/SL-10-2021-0107>
3. Kassner A.J., Cajias M., Zhu B. (2022) The PropTech investors' dilemma – What are the key success factors that secure survival? *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 41, no. 1, pp. 76–91. <https://doi.org/10.1108/JPIF-01-2022-0007>
4. Zuo H. (2021) The rise of platform-based networks: Outlook for the real estate brokerage industry. *Understanding China's Real Estate Markets*, pp. 299–305.
5. Gupta H. (2011) *Management information system – An insight*. Hitesh Gupta.
6. Laudon K.C., Laudon J.P. (2004) *Management information systems: Managing the digital firm*. Pearson Education.
7. Costa A., Ferreira C., Bento E., Aparicio F. (2016) Enterprise resource planning adoption and satisfaction determinants. *Computers in Human Behavior*, vol. 63, pp. 659–671. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.090>
8. Karim A.J. (2011) The significance of management information systems for enhancing strategic and tactical planning. *Journal of Information Systems and Technology Management*, vol. 8, pp. 459–470. <https://doi.org/10.4301/S1807-17752011000200011>
9. Janssen M., van der Voort H., Wahyudi A. (2017) Factors influencing big data decision-making quality. *Journal of Business Research*, vol. 70, pp. 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.007>
10. Venkatesh V., Speier C., Morris M.G. (2002) User acceptance enablers in individual decision making about technology: Toward an integrated model, decision sciences. *Decision Sciences*, vol. 33, no. 2, pp. 297–316. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2002.tb01646.x>
11. Bush M., Lederer A.L., Li X., et al. (2009) The alignment of information systems with organizational objectives and strategies in health care. *International Journal of Medical Informatics*, vol. 78, no. 7, pp. 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2009.02.004>
12. Marsh J.A., Farrell C.C. (2015) How leaders can support teachers with data-driven decision making: A framework for understanding capacity building. *Educational Management Administration & Leadership*, vol. 43, no. 2, pp. 269–289. <https://doi.org/10.1177/1741143214537229>
13. Kim Y., Wang Q., Roh T. (2021) Do information and service quality affect perceived privacy protection, satisfaction, and loyalty? Evidence from a Chinese O2O-based mobile shopping application. *Telematics and Informatics*, vol. 56, 101483. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101483>
14. Shen C., Chen M., Wang C. (2019) Analyzing the trend of O2O commerce by bilingual text mining on social media. *Computers in Human Behavior*, vol. 101, pp. 474–483. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.031>

15. Sun S., Cegielski C.G., Li Z. (2015) Amassing and analyzing customer data in the age of big data: A case study of Haier's online-to-offline (O2O) business model. *Journal of Information Technology Case and Application Research*, vol. 17, no. 3–4, pp. 156–165. <https://doi.org/10.1080/15228053.2015.1095017>
16. Li M., Wang M., Wang T. (2021) Analysis on influencing factors of e-loyalty of a Chinese O2O E-commerce food delivery platform. Proceedings of the 2020 4th International Conference on E-Business and Internet, Association for Computing Machinery, New York, USA, pp. 6–10. <https://doi.org/10.1145/3436209.3436885>
17. Xue G., Wang Z., Wang G. (2021) Optimization of rider scheduling for a food delivery service in O2O business. *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2021, no. 1, 5515909. <https://doi.org/10.1155/2021/5515909>
18. Lin M., Wang Z., Zhang Z., Cao Y. (2019) Research on consumers' attitudes in China about using online-to-offline mode for purchasing wooden furniture. *Forest Products Journal*, vol. 69, no. 2, pp. 159–172. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-18-00039>
19. Junyong X., Linbo J. (2014) Electronic commerce in China: current status, development strategies, and new trends. *China Finance and Economic Review*, vol. 3, no. 3, pp. 71–94. <https://doi.org/doi:10.1515/cfer-2014-030306>
20. Li Y., Shang H. (2020) Service quality, perceived value, and citizens' continuous-use intention regarding e-government: Empirical evidence from China. *Information & Management*, vol. 57, no. 3, 103197. <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103197>
21. Yang Y., Gong Y., Land L.P.W., Chesney T. (2020) Understanding the effects of physical experience and information integration on consumer use of online to offline commerce. *International Journal of Information Management*, vol. 51, 102046. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.102046>
22. Guha S., Kumar S. (2018) Emergence of big data research in operations management, information systems, and healthcare: Past contributions and future roadmap, production and operations management. *SAGE Publications*, vol. 27, no. 9, pp. 1724–1735. <https://doi.org/10.1111/poms.12833>
23. Oh L.-B., Teo H.-H., Sambamurthy V. (2012) The effects of retail channel integration through the use of information technologies on firm performance. *Journal of Operations Management*, vol. 30, no. 5, pp. 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.03.001>
24. Rialti R., Marzi G., Silic M., Ciappei C. (2018) Ambidextrous organization and agility in big data era. *Business Process Management Journal*, vol. 24, no. 5, pp. 1091–1109. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-07-2017-0210>
25. Xu Y., Teng F., Liu Q. (2017) Management information systems for advertisement based on online-to-offline strategy. *IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, pp. 197–202. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2017.7959993>
26. Grover V., Chiang R.H.L., Liang T.-P., Zhang D. (2018) Creating strategic business value from big data analytics: A research framework. *Journal of Management Information Systems*, vol. 35, no. 2, pp. 388–423. <https://doi.org/10.1080/07421222.2018.1451951>
27. Akter S., Bandara R., Hani U., et al. (2019) Analytics-based decision-making for service systems: A qualitative study and agenda for future research. *International Journal of Information Management*, vol. 48, pp. 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.020>
28. Shet S.V., Poddar T., Wamba S.F., Dwivedi Y.K. (2021) Examining the determinants of successful adoption of data analytics in human resource management – A framework for implications. *Journal of Business Research*, vol. 131, pp. 311–326. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.03.054>
29. Wang F. (2022) The necessity of strategic transformation of real estate digital operations from the perspective of information economic management. *Cuadernos de Economía*, vol. 45, no. 129, pp. 60–69. <https://doi.org/10.32826/cude.v1i129.807>
30. Chanias S., Myers M.D., Hess T. (2019) Digital transformation strategy making in pre-digital organizations: The case of a financial services provider. *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 17–33. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.11.003>
31. Anejionu O.C.D., Thakuriah P., McHugh A., et al. (2019) Spatial urban data system: A cloud-enabled big data infrastructure for social and economic urban analytics. *Future Generation Computer Systems*, vol. 98, pp. 456–473. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.03.052>
32. Garcia-Teruel R. (2020) Legal challenges and opportunities of blockchain technology in the real estate sector. *Journal of Property Planning and Environmental Law*, vol. 12, no. 2, pp. 129–145. <https://doi.org/10.1108/JPPPEL-07-2019-0039>
33. Marona B., Tomal M. (2020) The COVID-19 pandemic impact upon housing brokers' workflow and their clients' attitude: Real estate market in Krakow. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, vol. 8, no. 4, pp. 221–232. <https://doi.org/10.15678/EBER.2020.080412>
34. Yin R.K. (2018) *Case study research and applications*. Sage.
35. Beike Real Estate (2024) *Introduction to Beijing Lianjia*. Available at: <https://bj.lianjia.com/about/aboutlianjia> (accessed 2 November 2024).
36. Beike Real Estate (2024) *Beijing Lianjia Chronicle*. Available at: <https://bj.lianjia.com/about/lianjiaevents> (accessed 2 November 2024).
37. KE Holdings Inc. (2020) *Initial Public Offering of American Depositary Shares. Prospectus of KE Holdings Inc.*, no. 333-240068. Available at: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1809587/000104746920004582/a2242260z424b4.htm> (accessed 2 November 2024).
38. KE Holdings Inc. (2022) *Listing by way of introduction of the main board of the stock exchange of Hong Kong*. Available at: https://www1.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2022/0505/2022050500082_c.pdf (accessed 2 November 2024).

39. KE Holdings Inc. (2023) *Beike carbon neutrality target and roadmap report*. Available at: <https://about.ke.com/news/article/1702633307019155> (accessed 2 November 2024).
40. Ciemniak R. (2021) Navigating the property data landscape. *Understanding China's Real Estate Markets. Management for Professionals*. Springer, Cham, pp. 21–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49032-4_3
41. van Alstyne M.W., Parker G.G., Choudary S.P. (2016) *Pipelines, platforms, and the new rules of strategy*. *Harvard Business Review*, vol. 94, no. 4, pp. 54–62.
42. Stoianova O., Lezina T., Ivanova V. (2020) The framework for assessing company's digital transformation readiness. *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*, vol. 36, no. 2, pp. 243–265. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.204>
43. Cubric M. (2020) Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in business and management: A tertiary study. *Technology in Society*, vol. 62, 101257. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101257>
44. Li L., Wang C. (2006) Real estate agency in China in the information age. *Property Management*, vol. 24, no. 1, pp. 47–61. <https://doi.org/10.1108/02637470610643119>
45. Wang F. (2023) The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate. *Business Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 85–97. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2023.2.85.97>
46. Wang F. (2023) Block by block: a bibliometric analysis of blockchain in real estate. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, vol. 8, no. 2, 21498. <https://doi.org/10.55267/iadt.07.13880>
47. Barwick P.J., Wong M. (2019) *Competition in the real estate brokerage industry: A critical review*. The Brookings Institution Publication.
48. Best M.C., Kleven H.J. (2018) Housing market responses to transaction taxes: Evidence from, notches and stimulus in the UK. *The Review of Economic Studies*, vol. 85, no. 1, pp. 157–193. <https://doi.org/10.1093/restud/rdx032>
49. Hsieh C.-T., Moretti E. (2003) Can free entry be inefficient? Fixed commissions and social waste in the real estate industry. *Journal of Political Economy*, vol. 111, no. 5, pp. 1076–1122. <https://doi.org/http://doi.org/10.1086/376953>
50. Barwick P.J., Pathak P.A. (2015) An empirical study of real estate agents in Greater Boston. *The RAND Journal of Economics*, vol. 46, no. 1, pp. 103–145. <https://doi.org/10.1111/1756-2171.12082>
51. Gilbukh S., Goldsmith-Pinkham P.S. (2019) Heterogeneous real estate agents and the housing cycle. *National Bureau of Economic Research*, working paper no. 31683. <https://doi.org/10.3386/w31683>
52. Wang F., Stoianova O.V. (2023) Modelling the effect of E-service quality and knowledge culture on employee performance: A SEM approach based on survey data from Chinese real estate industry. *Journal of Applied Informatics*, vol. 18, no. 5, pp. 5–19. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2023-18-5-5-19>

About the authors

Fengchen Wang

Doctoral Student, St. Petersburg School of Economics and Management, HSE University, 3A-1, Kantemirovskaya Street, St. Petersburg 194100, Russia;

MSc Student, Campus Valrose, Université Côte d'Azur, 28, Avenue Valrose, Nice 06000, France;

E-mail: fwang@hse.ru

ORCID: 0000-0003-3103-5049

Olga V. Stoianova

Dr. Sci. (Tech.);

Professor, Head of the Department of Business Informatics and Operations Management, St. Petersburg School of Economics and Management, HSE University, St. Petersburg 194100, Russia;

E-mail: ostoyanova@hse.ru

ORCID: 0000-0002-7281-2708

Angel Barajas

Ph.D. in Business Administration;

Associate Professor, Faculty of Business Administration and Tourism, University of Vigo, Ourense 32004, Spain;

E-mail: abarajas@uvigo.gal

ORCID: 0000-0002-0198-4457

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.98.111

Управление ценовой политикой лесопромышленного предприятия с учетом проблем формирования цепей поставок сырья и расчета объемов производства*

Р.С. Рогулин 

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия

Аннотация

В работе рассмотрена математическая модель, позволяющая менеджерам лесопромышленного предприятия формировать цепи поставок и управлять ценовой политикой организации. Данная модель представляет собой модификацию модели, разработанной ранее, и отличается учетом технологии раскроя сырья. Модель принимает во внимание нормы потребления сырья, закупки на товарно-сырьевой бирже, транспортировку продукции и ценовую политику предприятия с учетом спроса. Целью модели является максимизация значения операционной прибыли предприятия. При поиске решения применяется стратегия оптимизации, включающая два этапа: применение линейной оптимизации на первом этапе и генетического алгоритма на втором. В результате апробации модели на одном из лесоперерабатывающих предприятий Приморского края получены данные, на основе которых сформулированы рекомендации для менеджеров компании относительно сотрудничества с лесозаготовителями. Данная работа представляет собой важный шаг в разработке методологии управления цепями поставок в лесопромышленной отрасли с учетом технологии раскроя сырья. Дальнейшие исследования могут включать модификацию модели с учетом вероятностных факторов, улучшение методов поиска решений и разработку более точных функций спроса на продукцию. Работа имеет практическую значимость для предприятий лесоперерабатывающей отрасли, поскольку может способствовать совершенствованию их производственных процессов и увеличению прибыли.

* Статья опубликована при поддержке Программы НИУ ВШЭ «Университетское партнерство»

Ключевые слова: цепь поставок, объем производства, лесоперерабатывающее предприятие, оптимальность решений, математическая модель, товарно-сырьевая биржа, доля полезного объема сырья, время лотов в пути, рациональные сырьевые сделки, повышение эффективности

Цитирование: Рогулин Р.С. Формирование цепей поставок и управление ценовой политикой лесопромышленного предприятия с учетом проблем формирования цепей поставок сырья и расчета объемов производства // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 98–111. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.98.111

Введение

Лесопромышленные предприятия, играющие значительную роль в экономике, сталкиваются с постоянно растущими вызовами и сложностями, связанными с формированием эффективных цепей поставок сырья и организацией производства с использованием технологий раскроя. На лесопромышленных предприятиях вопросы оптимизации ценовой политики с учетом формирования цепей поставок и расчета объемов производства являются актуальными и критически важными [1–10].

Лесопромышленная отрасль имеет стратегическое значение, поставляя сырье и продукцию, необходимую для множества отраслей, начиная от строительства и заканчивая производством бумаги и мебели. Однако в условиях изменяющихся рыночных требований, экологических ограничений и интенсивной мировой конкуренции, лесопромышленные предприятия вынуждены постоянно приспосабливаться и оптимизировать свои производственные и логистические процессы [2, 11–15].

Важность данной темы подчеркивается ее актуальностью в современном мире. Резкий рост конкуренции и внешних факторов, таких как изменения климата и законодательства, оказывают давление на лесопромышленные предприятия, вынуждая их стремиться к повышению эффективности производства, снижению издержек и улучшению качества продукции [3].

Анализ существующих исследований [1–22] подтверждает сложность задачи оптимизации цепей поставок сырья и объемов выпуска продукции на лесопромышленных предприятиях. Эффективное управление этими процессами требует учета множества переменных, ограничений и факторов неопределенности, связанных с производственными и логистическими операциями.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что разработка математических моделей и методов оптимизации для формирования эффективных цепей поставок и объемов выработки готовых изделий с использованием технологий раскроя становится неотъемлемой частью стратегии развития лесопромышленных предприятий.

Исследование, представленное в данной статье, актуально в контексте постоянно меняющейся лесопромышленной отрасли и стремительно развивающихся технологий, способных повысить эффективность производства и снизить его негативное воздействие на окружающую среду. Эти решения могут помочь лесопромышленным предприятиям снизить затраты, оптимизировать производственные процессы и повысить качество продукции, а также обеспечить соответствие новым стандартам устойчивости и экологической безопасности.

Текущее исследование, с одной стороны, отличается от аналогов [1–20] тем, что позволяет учитывать технологию раскроя круглого леса, поступающего в производство, в совокупности с другими важными факторами лесопромышленного производства, к числу которых относятся формирование цепей поставок сырья с товарно-сырьевой биржи (поскольку у предприятия нет своих делян) и определение объемов производства и ценовой политики предприятия на всем горизонте планирования. С другой стороны, данная работа дополняет работу [21]: в ней представлен алгоритм оптимизации, позволяющий ускорить процесс поиска оптимального решения.

Структура работы предусматривает обоснование актуальности исследования, обзор научных источников, постановку целей и задач исследования, разработку математической модели и алгоритма оптимизации, описание результатов апробации модели на данных товарно-сырьевой биржи и одного из лесопромышленных предприятий Приморского края, формирование предложений в части последующей доработки и модификации модели.

1. Обзор литературы

Тема оптимизации формирования цепей поставок сырья и расчет объемов выпуска продукции с использованием технологии раскроя на лесопромышленных предприятиях представляет собой многогранное поле исследований, которое становится все более актуальным в современном мире, где работа в условиях меняющейся экономической и экологической среды, неизбежно столкновение с постоянными вызовами в области управления цепями поставок и оптимизации производственных процессов.

Основными целями исследований в этой области являются увеличение эффективности производства [1–3], снижение производственных и логистических издержек [4, 5], уменьшение объемов отходов [6, 7], а также улучшение качества продукции [8, 9] с учетом соотношения спроса и цен. За последние три года была опубликована лишь одна работа [13], которая бы совмещала в себе основные факторы производства лесопромышленного комплекса – взаимосвязь спроса и цен на готовую продукцию, производственный процесс, формирование цепей поставок сырья и построение маршрутов транспортировки готовой продукции до покупателей. Однако вторая производная функции спроса в этой модели в точке 0 не является непрерывной, что указывает на наличие мгновенной скорости изменения спроса при крайне маленьком изменении цены. Кроме того, реальное производство лесопромышленной отрасли чаще занимается не производством ОСБ-плит, а выкройкой из поступившего круглого леса ламелей и других заготовок для дальнейшего производства.

В последние десятилетия исследователи активно работают над разработкой математических моделей [10] и методов оптимизации [11] для решения сложных задач, связанных с управлением цепями поставок и производством на лесопромышленных предприятиях. Эти модели и методы позволяют учитывать множество переменных, ограничений и неопределенностей, что свойственно данной отрасли.

Одним из ключевых аспектов исследований является интеграция технологии раскроя в оптимизацию цепей поставок и объема производства [12]. Технология раскроя позволяет максимально эффективно использовать лесное сырье и минимизировать отходы, что имеет важное значение с точки зрения устойчивости производства.

Анализ литературы позволяет выделить несколько ключевых направлений исследований. Во-первых, это разработка математических моделей, которые позволяют оптимизировать цепи поставок и объемы производства с учетом различных параметров и ограничений [3, 8, 9]. Во-вторых, это исследования в области управления запасами и оптимизации производственных процессов [1, 12, 13], включая технологию раскроя [14–16]. В-третьих, это исследование влияния внешних факторов, таких как изменения климата и экологические стандарты [17–19], на управление цепями поставок и производством в лесопромышленной отрасли [20, 21].

Кроме того, следует отметить значительные преимущества применения информационных технологий и современных методов анализа данных в решении задач оптимизации. Внедрение цифровых решений и аналитических инструментов позволяет компаниям более точно прогнозировать спрос, оптимизировать запасы и ресурсы, а также управлять сложными цепями поставок [22].

Несмотря на значительные достижения, в данной области остаются нерешенные проблемы и вызовы. Сопротивление изменениям со стороны сотрудников и поставщиков, а также изменяющаяся мировая экономическая ситуация представляют собой серьезные препятствия. Более того, существует необходимость в разработке инновационных подходов к управлению цепями поставок и производством, учитывая быстро меняющиеся условия и требования рынка.

С учетом вышесказанного можно утверждать, что проблема, которая затрагивает определение цены готовой продукции в совокупности с задачами определения объемов производства, формирования цепей поставок сырья и транспортировки готовой продукции до покупателей является важной и актуальной.

Критерием более эффективной модели будем считать количество итераций, которое потребовалось алгоритму, чтобы достичь решения, которое с ростом итераций значительно не изменяется. Наиболее близкой работой в литературе выступает исследование [13]. Результаты работы предлагаемой автором модели в основном сравниваются с выходными данными модели из статьи [13].

2. Цели и задачи исследования

В работе [13] рассмотрена модель деятельности предприятий лесопромышленной отрасли, на которую мы опираемся в ходе данного исследования. В

модели, представленной в настоящей работе, учитываются три ключевых производственных процесса: поставки и объемы закупок сырья с внутреннего рынка региона, объемы производства с учетом спроса на каждый тип продукции и имеющихся запасов сырья, а также способы доставки готовой продукции до покупателей. При этом рассматривается технология производства, основанная на раскросе поступившего круглого леса на складе.

Обычно предприятия получают заказы от клиентов заблаговременно, что позволяет им планировать деятельность на длительные периоды. Это важно для оптимизации процессов производства, закупок материалов и распределения ресурсов. Однако, следует отметить, что спрос на продукцию лесопромышленной отрасли подвержен сезонным колебаниям, таким как увеличение спроса на отопительные материалы в зимний период и спрос на строительные материалы в летние месяцы. Эти сезонные изменения создают дополнительные вызовы для планирования производства и управления запасами. Однако с помощью адаптивных стратегий и анализа рыночных тенденций компании можно эффективно адаптироваться к изменяющемуся спросу и успешно управлять производственными процессами [13].

Цель данного исследования заключается в разработке математической модели, позволяющей оптимизировать производственные процессы лесопромышленного комплекса, включая определение объема выпуска продукции с использованием технологии раскроса круглого леса, закупки сырья на внутреннем рынке, доставки готовой продукции до покупателя, а также формирование ценовой политики предприятия на различных периодах планирования. Основной задачей является оценка целесообразности взаимодействия предприятия с лесной товарно-сырьевой биржей с целью оптимизации производственных процессов и повышения эффективности деятельности компании.

Для достижения цели работы выдвигаются следующие задачи исследования:

1. Построение двухэтапной экономико-математической модели, включающей:
 - a. определение субоптимальных объемов производства продукции по дням на заданном горизонте планирования, цепей поставок сырья и объемов транспортировки сырья и готовой продукции;
 - b. определение цен реализации готовой продукции.

2. Формирование согласованного решения для двух этапов математической модели.
3. Разработка программного обеспечения, позволяющего решать поставленные задачи.
4. Анализ результатов тестирования модели.

3. Математическая модель

Для обеспечения бесперебойной работы лесопромышленного комплекса требуются своевременные поставки сырья. Каждый лесозаготовитель (располагается в некотором-то районе региона) уведомляет предприятие о том, что заготовит заданный объем сырья к заранее известной дате и выставит на продажу. Покупатель может выкупить часть лота и отобрать необходимое по характеристикам сырье из штабеля.

После того как на склад производства поступит достаточное количество сырья, у предприятия возникает задача определения оптимального набора производственных операций по технологии раскроса и формирования цен на продукцию, с учетом текущей динамики рыночного спроса. Важно отметить, что изменение цен на продукцию ограничено величиной μ за неделю, что требует тщательного планирования и анализа рыночных тенденций. Помимо этого, после разработки плана производства необходимо организовать эффективную логистику доставки продукции покупателям (учитывая их индивидуальные потребности и предпочтения) через известные транспортные узлы. Этот процесс требует согласованной работы между производственными отделами, отделом продаж и логистическими службами, чтобы обеспечить бесперебойное выполнение заказов и удовлетворение потребностей клиентов [13].

Для достижения этой цели требуется разработать математическую модель, которая оптимизирует все описанные выше факторы.

Введем следующие обозначения:

M – рассматриваемый горизонт планирования (дни);

k – тип производимой продукции, $k = 1, \dots, K$;

len_e – длина заготовки типа e (м);

$width, height$ – ширина и толщина заготовок соответственно (м);

$w(m)$ – номер недели w в зависимости от номера дня m , где

$$\mathbb{W}(m) = \frac{m}{7}; \quad (1)$$

$\mathbb{W}(M) = \frac{M}{7}$ – количество недель в зависимости от горизонта планирования;

c_{imrl} – цена покупки 1 м³ из i -й заявки сырья типа l в районе r в день m (руб.), стоимость доставки включена;

c_j – общие затраты на транспортировку готовой продукции до покупателя в пункт j (руб.);

b_{et} – количество раз, когда заготовка типа e встречается в раскрое типа t (в литературе множество $\{b_{et}\}$ обычно называется картой раскроя);

V_{imrl} – объем сырья типа l в заявке i из района r в день m (м³);

\bar{u} – максимальная вместимость склада (м³);

\bar{O} – максимальное количество раскроев в день (ед.);

v'_{imrl} – объемы сырья типа l в заявке i из района r , купленные в предыдущем периоде, про которые известно, что они поступят на склад в день m (м³);

p_{kml} – цена продажи продукции типа k , изготовленной из сырья типа l , в день m (м³);

I' – количество лотов, которые были куплены в предыдущий период (до $m = 0$, при этом дата их поступления на склад заранее известна);

R – количество районов;

T_r – норма затрат времени (в днях) на доставку любого объема сырья из района r по железной дороге;

Q_{jkwl} – объем спроса розничной компании j на продукцию типа k , произведенную из ресурса типа l , в течение недели w ;

\dot{Q}_{jkwl} – математическое ожидание объема спроса розничной компании j на продукцию типа k , произведенную из ресурса типа l , в течение недели w ;

J^* – количество компаний розничной торговли (конечные пункты доставки произведенной продукции);

Bud_0 – начальный бюджет предприятия;

$month(m)$ – номер месяца в зависимости от номера дня;

$A_{ekl}^{month(m)}$ – количество заготовок типа e , использованных для производства единицы продукции типа k из ресурса типа l в течение месяца $month(m)$ (ед.);

$Iter$ – количество независимых итераций (ед.);

FC – постоянные затраты за день работы предприятия (руб.);

V – объем плиты (м³);

\tilde{L} – длина плиты (м);

x_{kml} – объем производства продукции типа k , изготовленной из сырья типа l , в день m (шт.);

z_{jkwl} – объем транспортировки продукции типа k , изготовленной из сырья типа l , до пункта j в течение недели $w(m)$ (ед.);

q_{iml} – количество раскроев типа t из сырья типа l в день m (ед.);

v_{imrl} – объем закупки сырья типа l из заявки i из района r в день m (м³);

u_{ml} – запасы на складе сырья типа l на начало дня m (м³);

\tilde{u}_{eml} – объем запасов заготовок типа e из сырья l на начало дня m .

В качестве целевой функции будем рассматривать значение операционной прибыли предприятия на горизонте планирования M (2):

$$\max_{p,x,v,z} \sum_m \left(\sum_{k,l} p_{kml} x_{kml} - \sum_{i,l,r} c_{imrl} v_{imrl} - \sum_{j,k,l} c_j z_{jkwl(m)l} \right). \quad (2)$$

Задача оптимизации имеет следующие ограничения:

$$\tilde{u}_{eml} = \tilde{u}_{e(m-1)l} + \sum_t b_{et} q_{iml} - \sum_k A_{ekl}^{month(m)} x_{kml}, \quad e = 1 : E, m = 1 : M, l = 1 : L, \quad (3)$$

$$\sum_{t,l} q_{iml} \leq \bar{O}, m = 1 : M, \quad (4)$$

$$\sum_{m=\mathbb{W}(m-1)+1}^{\mathbb{W}} x_{kml} \leq \sum_j z_{jkwl}, \quad m = 1 : M, k = 1 : K, l = 1 : L, \quad (5)$$

$$z_{jkwl} \leq Q_{jkwl}, j = 1 : J^*, k = 1 : K, w = 1 : \mathbb{W}, l = 1 : L, \quad (6)$$

$$\sum_t \left(u_{ml} + \sum_e \tilde{u}_{eml} \cdot len_e \cdot height \cdot width \right) \leq \bar{u}, m = 1 : M, \quad (7)$$

$$x_{kml}, q_{iml}, z_{jkwl} \in Z^+, \quad (8)$$

$$\tilde{u}_{eml}, u_{ml}, v_{imrl} \geq 0, \quad (9)$$

$$v_{imrl} \leq V_{imrl}, i = 1 : I, m = 1 : M, r = 1 : R, l = 1 : L, \quad (10)$$

$$Bud_0 + \sum_{m=1}^{m^*} \left(\sum_{k,l} p_{kml} x_{kml} - \sum_{i,l,r} c_{imrl} v_{imrl} - \sum_{j,k,l} c_j z_{jkwl(m)l} - FC \right) \geq 0, m^* = 1 : M, \quad (11)$$

$$u_{ml} = u_{(m-1)l} + \sum_{i,r} v_{i(m-T_r)rl} - \nabla \sum_t q_{ml}, \quad (12)$$

$$Q_{jkwl} = (\dot{Q}_{jkwl} \pm \varepsilon) \cdot e^{\left(\sum_{m=7(w-1)+1}^{7w} \frac{(p_{k(m+7)l} - p_{kml})}{7 \cdot p_{kml}} \right)}, \quad (13)$$

$$p_{k(m+1)l} = p_{kml} \cdot (1 + \varepsilon^{(1)}),$$

$$m = 1 : M - 1, \varepsilon^{(1)} = \left[-\varepsilon_1^{(1)}; \varepsilon_2^{(1)} \right], \quad (14)$$

$$A_{ekl}^{month(m)} = \max(0; \min(A_{ekl}^{month(m)}, A_{ekl}^{month(m)} + \varepsilon^{(2)})),$$

$$\varepsilon^{(2)} = \left[-\varepsilon_1^{(2)}; \varepsilon_2^{(2)} \right], \quad (15)$$

$$FC_{\mu} \in \left[\alpha^1, \beta^1 \right], \quad (16)$$

$$Z_{ijw} \in \left[\alpha^2, \beta^2 \right], \quad (17)$$

$$c_{ijw} \in \left[\alpha^3, \beta^3 \right], \quad (18)$$

где $\varepsilon, \varepsilon^{(1)}, \varepsilon^{(2)}$ – равномерно распределенные случайные величины непрерывного типа;

$$\forall Bud_0, \tilde{u}_{e0l}, u_{0l}, A_{ekl}^{month(0)}, p_{kml} = const;$$

$$\varepsilon^{(1)} \leq \varepsilon \leq \varepsilon^{(2)}; 0 < \varepsilon_1^1 < 1; 0 < \varepsilon_2^1 < 1; \varepsilon_1^2 > 0; \varepsilon_2^2 > 0;$$

$$\varepsilon^{(1)}, \varepsilon^{(2)}, \alpha^1, \alpha^2, \alpha^3, \beta^1, \beta^2, \beta^3 = const.$$

Рассмотрим более подробно ограничения (3–18) задачи оптимизации.

Ограничение (3) дает представление о том, какие запасы заготовок должны быть на складе в течение всего периода планирования для обеспечения непрерывности производства.

Ограничение (4) устанавливает максимальное количество листов, доступных для раскроя в день, что важно для оптимизации использования материалов и производства.

Ограничение (5) контролирует как объем производства продукции в течение каждой недели, так и объем транспортировки, хотя при целевой функции вида (2) оно может быть рассмотрено как равенство. Это ограничение оказывает непосредственное влияние на управление запасами и логистику.

Ограничение (6) гарантирует, что объем транспортировки до конечных точек не превышает объем спроса в этих точках, что важно для эффективной доставки продукции и удовлетворения потребностей клиентов.

Ограничение (7) описывает степень заполненности склада.

Далее, ограничения (8–9) определяют тип переменных, а (10) ограничивает объемы ежедневно закупаемого сырья размерами заявок на бирже. Эти ограничения являются основой для планирования закупок и управления запасами.

Ограничение (11) гарантирует, что ежедневная прибыль будет неотрицательной, что важно для финансовой устойчивости предприятия.

Ограничение (12) определяет наличие запасов сырья на складе, что необходимо для обеспечения бесперебойного производства.

Ограничение (13) отражает взаимозависимость спроса и цен на сырье (в отличие от аналогичной функции, использованной в работе [13], вторая производная данной функции не имеет разрыва).

Ограничение (14) определяют рекуррентную зависимость цены от номера дня, что помогает учесть динамику изменения цен на рынке.

Ограничение (15) отражает нормы потребления заготовок на производство каждой единицы продукции, что является ключевым фактором для эффективного использования ресурсов и оптимизации производственных процессов.

Наконец, ограничения (16–18) необходимы для того, чтобы «разыграть» значения постоянных издержек, максимальной пропускной способности транспортного графа при доставке товаров до покупателей, а также значения затрат на доставку товаров.

Модель (3–18) представляет собой стохастическую нелинейную задачу математического программирования. Для решения этой задачи планируется провести итерационный поиск субоптимального решения, используя две подзадачи: оптимизацию плана производства, доставки сырья и готовой продукции, а также поиск субоптимального вектора цен для реализации продукции. Это подход позволит эффективно управлять сложными процессами и минимизировать стоимость производства продукции и ее доставки покупателям:

1) Сгенерировать векторы цен $(p^{(iter)}) = \{p_{kml}^{(iter)}\}_{kml}$, $iter = 1 : Iter$ и рассчитать (13) и p_{kml} . $Cnt = 0$, $iter_1 = 0$, а также разыграть значения для (15–18). Перейти к шагу 2.

2) Решить задачу (3–13) с зафиксированными значениями $p^{(iter)}$, $A_{ekl}^{month(m)}$, FC_{μ} , Z_{ijw} , c_{ijw} с целевой функцией вида (19) с использованием метода ветвей и границ¹. Положить $iter_1 = iter_1 + 1$.

$$\pi(iter_1) = \left\{ \max_{x,v,z} \sum_m \left(\sum_{k,l} p_{kml}^{(iter)} x_{kml} - \sum_{i,l,r} c_{imrl} v_{imrl} - \sum_{j,k,l} c_j z_{jkw(m)l} \right) \right\}_{iter} \quad (19)$$

¹ MathWorks. Documentation. Mixed-Integer Linear Programming Algorithms. <https://it.mathworks.com/help/optim/ug/mixed-integer-linear-programming-algorithms.html>

Вычислить (20) и перейти к шагу 3.

$$\tilde{p}_{kml} = p_{kml}^{\arg \max(\pi(iter_1))}. \quad (20)$$

- 3) Если $\arg \max(\pi(iter)) = 1$, то $Cnt = Cnt + 1$, иначе $Cnt = 0$. Перейти к шагу 4.
- 4) Если $Cnt = g$, выйти из алгоритма, иначе перейти к шагу 5.
- 5) Сгенерировать векторы цен $(p^1 = \{\tilde{p}_{kml}\}_{kml}, p^{(iter)} = \{p_{kml}^{(iter)}\}_{kml}, iter = 2 : Iter)$ (21–22).

$$\varepsilon^1 \in \left[-(\varepsilon_1^{(1)})^{Cnt+1}, (\varepsilon_2^{(1)})^{Cnt+1} \right]. \quad (21)$$

$$p_{kml}^{(iter)} = \min \left[\max \left(\tilde{p}_{kml} \cdot (1 - \varepsilon_1^{(1)}); \tilde{p}_{kml} \cdot (1 + \varepsilon_2^{(1)}) \right); \tilde{p}_{kml} \cdot (1 + \varepsilon_2^{(1)}) \right]. \quad (22)$$

- 6) Рассчитать (13–14). Перейти к шагу 2.

Модель (2–19) при разыгранных значениях (13–19) относится к классу задач смешано-целочисленного линейного программирования. В качестве среды программирования выберем Matlab. На первом этапе используется метод ветвей и границ для решения задачи (2–19) (при этом значения (13–19) разыграны), а на втором этапе (изменение цены) расчеты выполняются с применением генетического алгоритма. Отметим, что степень близости найденного вектора цен к оптимальному достигается за счет выражения (22).

На практике программная реализация в среде Matlab может быть переведена на любой другой язык программирования (например, Python любой версии) с применением, например, конвертеров языков программирования или нейронных сетей (например, ChatGPT и др.).

4. Калибровка

Проведем тестирование модели на данных ООО «ДНС-Лес»² (далее – «предприятие»). В конце каждого дня торгов фиксируются данные о совершенных сделках. На основе этой статистики проведем оценку целесообразности взаимодействия одного из крупных и одновременно молодых предприятий Приморского края с товарно-сырьевой биржей.

Исходя из статистики биржи, в торгах участвовали предприятия по лесозаготовке из пяти рай-

онов в качестве продавцов-поставщиков сырья ($r=1:5$). На горизонте планирования с 01.02.2018 по 31.11.2018 был получен массив следующих данных: цены (c_{imrl}), даты (m) выставления лота на торги, объемы сырья (v_{imrl}) в эти дни, цены продукции (p_{kml}), количество заявок по каждому типу сырья. Кроме того, исходя из статистики продаж предприятия, известен спрос \dot{Q}_{jkwl} на каждый вид продукции в течение каждой недели [12].

Положим, что цена каждый день не может меняться более, чем на десять процентов. Пределы значений случайных величин представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Пределы значений случайных величин

Параметры	$\varepsilon_1^{(1)}$	$\varepsilon_1^{(2)}$	$\varepsilon_2^{(1)}$	$\varepsilon_2^{(2)}$	$\varepsilon^{(1)}$	$\varepsilon^{(2)}$
Значения	0,03	0,03	1	10	2	2

Для поиска решения воспользуемся языком программирования Matlab, а именно – функцией *intlinprog*³. Задача имеет значительную размерность, что делает невозможным гарантировать нахождение оптимального решения в короткие сроки ввиду алгоритмической сложности метода ветвей и границ (объем вычислений растет неполиномиально), который по умолчанию выбран в качестве метода поиска решения в *intlinprog*. Поэтому было принято решение ограничить количество исследуемых вариантов решений до 10^7 . Если алгоритм завершает работу из-за этого ограничения, то найденное решение рассматривается не как оптимальное, а как субоптимальное. Полученные результаты представлены на рисунках 1–5.

Отдельно отметим, что в связи с корпоративной этикой в работе не указывается реальный зафиксированный спрос \dot{Q}_{nkm} . Однако, данные о спросе $ave\left(\sum_n Q_{nkm}\right)$ представлены на рисунках 3, 4.

5. Результаты апробации

Рассмотрим рисунки 1–5, на которых представлены основные результаты тестирования модели. На рисунке 1 можно увидеть, как менялось значение прибыли на каждой итерации $iter_1$. Введем обозначение $\pi_m(iter_1)$, которое отражает накопленное значение прибыли ко дню m на итерации $iter_1$. Ос-

² Официальный сайт предприятия ООО «ДНС-Лес». Россия, Приморский край, г. Спасск-Дальний. <http://dns-les.ru/>

³ Intlinprog. Документация. MathWorks. <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/intlinprog.html>

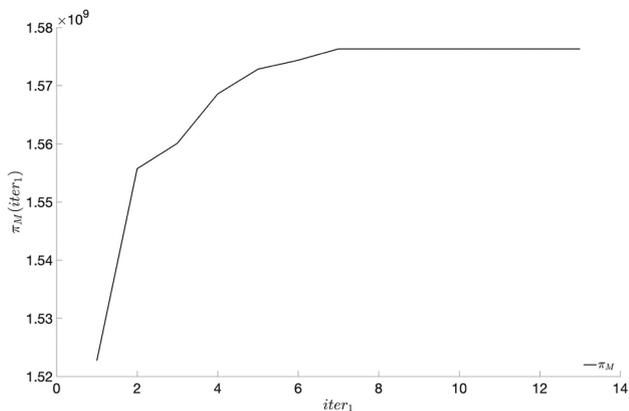


Рис. 1. Визуализация значений накопленной прибыли в зависимости от номера итерации $iter_1$.

новые изменения значений целевой функции наблюдались на первых семи итерациях. Однако уже после второй итерации значение целевой функции меняется слабо, что указывает на то, что новый метод более эффективно решает проблемы подобного рода по сравнению с алгоритмом, описанным в работе [13].

Для любого решения требуется тестирование на устойчивость. Для этого заново запустим разработанную модель четыре раза и найдем соответствующие решения. Результаты такого теста изложены на рисунке 2. Несмотря на достаточно большой разрыв между решениями в значении целевой функции к концу горизонта планирования, можно увидеть, что для каждого решения отклонения в

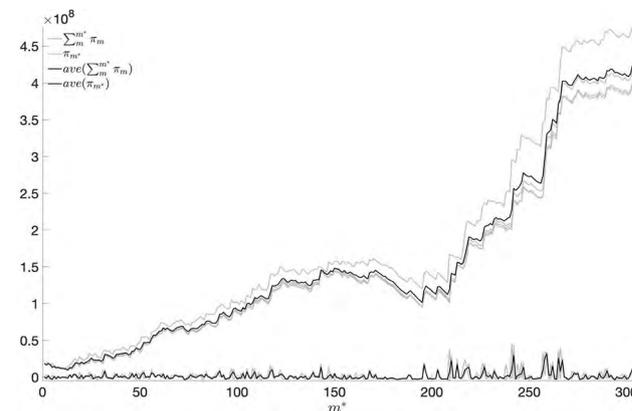


Рис. 2. Визуализация тестирования полученного решения.

относительных величинах незначительны для всех траекторий значений π_m .

Отдельный интерес представляет тот факт, что после окончания летнего периода и ближе к зиме прибыль предприятия растет. Это связано с тем, что объем добычи к зимнему периоду растет и цены на сырье падают.

Важным фактором является не только цены на сырье, но и значения цен на продукцию, производимую предприятием. Как показано на рисунке 3, наиболее интересными рынок считает продукты № 6 (из сырья типа) и № 9 (из сырья типа). Это может быть связано с нормой затрат на сырье для производства этой продукции $A_{ekl}^{month(m)}$.

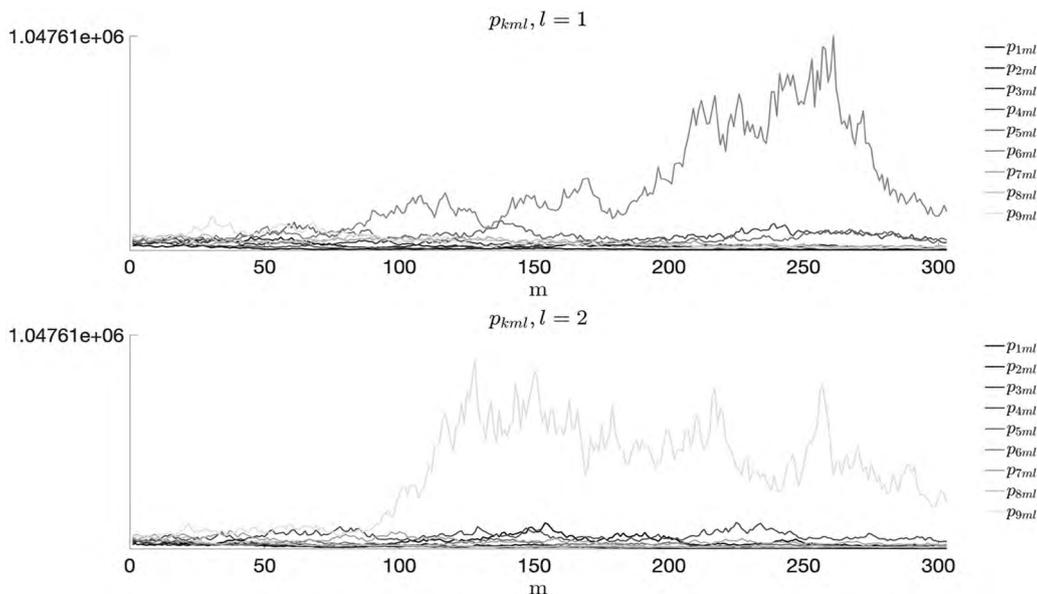


Рис. 3. Визуализация изменения цен на всем горизонте планирования.

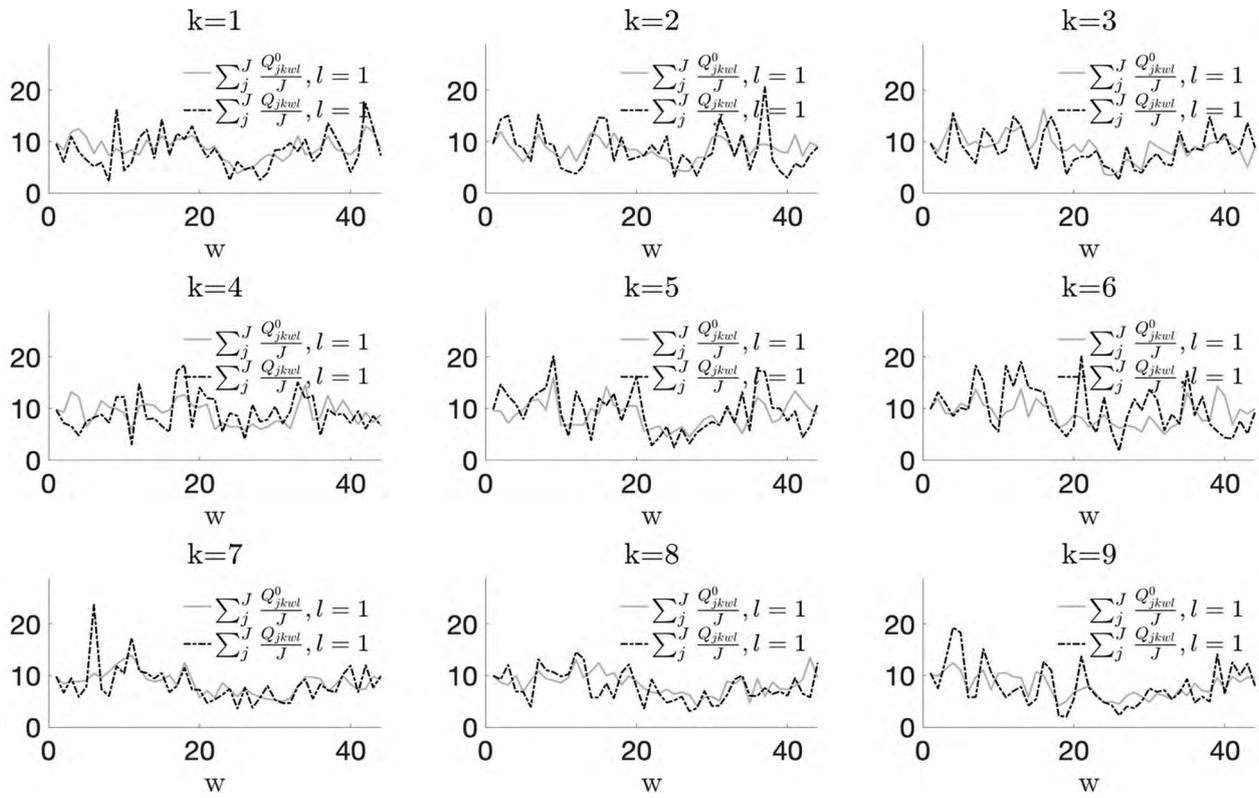


Рис. 4. Визуализация исходного и текущего спроса с учетом изменений при поиске вектора цен для $l = 1$.

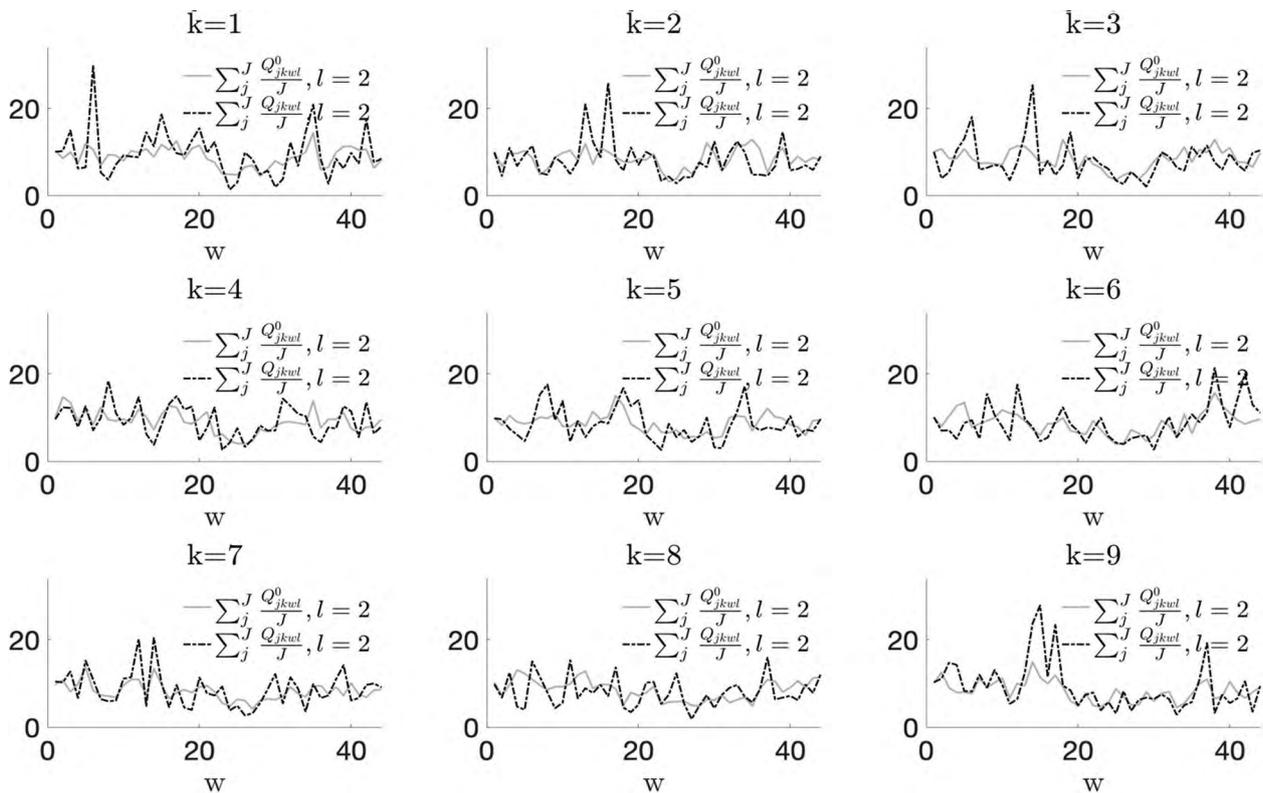


Рис. 5. Визуализация исходного и текущего спроса с учетом изменений при поиске вектора цен для $l = 2$.

Однако рост цен также подразумевает изменение спроса на продукцию. Введем обозначение Q_{jkwt}^0 , которое задает траекторию изменения спроса в соответствии с новыми (рассчитанными) значениями цен. Рисунки 4, 5 отражают поведение спроса на продукцию на всем горизонте планирования для каждой недели.

Отдельный интерес представляют объемы отходов (m^3), которые появляются при раскросе поступающего сырья. Для этого рассмотрим рисунок 6. Здесь, как и в случае с траекторией значения прибыли в зависимости от решения, можно наблюдать небольшое отклонение от усредненных значений объемов отходов. Незначительные отклонения в показателях накопленной прибыли и суммарных отходов означают высокую степень прогнозируемости ситуации на предприятии, что является крайне важной характеристикой в текущей турбулентной экономической среде.

Рассмотрим положительные и отрицательные стороны разработанных модели и алгоритма и предложим варианты по их модификации.

К достоинствам разработанных предложений можно отнести следующие:

1. Возросшая скорость поиска решения по сравнению со схемой, предложенной в работе [13].
2. Учет технологии раскроса круглого леса.
3. По сравнению с работой [13] вторая производная функции спроса непрерывна, что гарантирует

отсутствие моментального ускорения значения спроса при переходе через точку ноль.

К отрицательным сторонам можно отнести следующие:

1. Несмотря на то, что функция (13) имеет непрерывные как первую, так и вторую производные, она имеет определенные недостатки. На рисунках 4 и 5, отражающих соотношение спроса и цен, видно, что цены на продукты, в наибольшей степени интересующие рынок, довольно сильно завышены и держатся на этом уровне достаточно долго. Это связано с тем, что спрос в соответствующие дни снижался лишь в период роста цен, после чего его величина держалась в небольшой окрестности от изначального значения, поскольку цены почти не менялись. Однако в реальной экономике это невозможно, поскольку в течение последующих периодов планирования спрос также испытывает давление высоких цен. Для того, чтобы учесть данный аспект, необходимо модернизировать функцию соотношения спроса и цен.
2. Не исследована сходимость алгоритма.
3. Быстро растущая размерность задачи.
4. Изменение цен в редких случаях происходит каждый день.
5. Для достижения диверсификации источников сырья необходимо добавить возможность закупать сырье с регионального рынка, как это описано в работе [13].
6. Отсутствует учет возможности кредитования.

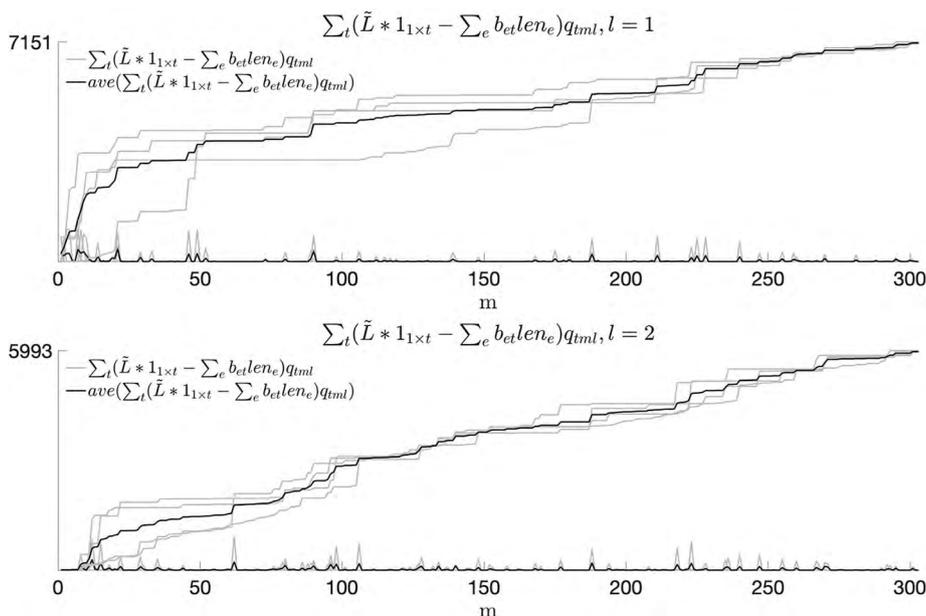


Рис. 6. Визуализация объемов суммарных отходов сырья.

Заключение

В работе представлена математическая модель для решения комплексной задачи субоптимального расчета ценовой политики предприятия лесопромышленной отрасли с учетом процесса формирования устойчивых цепей поставок с товарно-сырьевой биржи и расчета объемов производства и транспортировки готовой продукции до потребителей. Эта модель дополнительно отличается тем, что позволяет учитывать технологию раскроя сырья, что имеет важное значение для данной отрасли.

Центральной задачей модели является максимизация операционной прибыли предприятия, что представляет собой сложную математическую задачу. Модель учитывает различные аспекты, такие как производственные нормы потребления сырья, стратегию закупок на товарно-сырьевой бирже, объемы транспортировки готовой продукции и ценовую политику компании. Для решения такой

сложной задачи была разработана двухэтапная схема оптимизации, включающая линейную оптимизацию и применение генетического алгоритма.

Апробация модели выполнена с использованием реальных данных лесоперерабатывающего комплекса Приморского края. Как показала апробация, новая схема оптимизации позволяет находить решение быстрее, чем это было в предыдущей версии модели, основанной на методе градиентного спуска.

Результаты экспериментов позволили сформулировать ценные рекомендации для управленческого состава компании в части взаимодействия с лесозаготовителями и совершенствования производственных процессов.

Дальнейшие исследования могут включать модификацию модели для учета вероятностных экономических факторов и улучшения методов поиска решений. Также следует рассмотреть возможности ускорения поиска решения и разработать более точные функции спроса на продукцию предприятия. ■

Литература

1. Wieruszewski M., Turbański W., Mydlarz K., Sydor M. Economic efficiency of pine wood processing in furniture production // *Forests*. 2023. No. 14. Article 688. <https://doi.org/10.3390/f14040688>
2. Trigkas M., Papadopoulos I., Karagouni G. Economic efficiency of wood and furniture innovation system // *European Journal of Innovation Management*. 2012. Vol. 15. No. 2. P. 150–176. <https://doi.org/10.1108/14601061211220959>
3. Larsson M., Stendahl M., Roos A. Supply chain management in the Swedish wood products industry – a need analysis // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2016. Vol. 31. P. 777–787. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1170874>
4. Chang H., Han H.-S., Anderson N., Kim Y.-S., Han S.-K. The cost of forest thinning operations in the Western United States: A systematic literature review and new thinning cost model // *Journal of Forestry*. 2023. Vol. 121. P. 193–206. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvac037>
5. Buka-Vaivade K., Serdjuks D., Pakrastins L. Cost factor analysis for timber–concrete composite with a lightweight plywood rib floor panel // *Buildings*. 2022. Vol. 12. No. 6. Article 761. <https://doi.org/10.3390/buildings12060761>
6. Aryal U., Neupane P.R., Rijal B., Manthey M. Timber losses during harvesting in managed Shorea Robusta forests of Nepal // *Land*. 2022. Vol. 11. Article 67. <https://doi.org/10.3390/land11010067>
7. Numazawa C.T.D., Numazawa S., Pacca S., John V.M. Logging residues and CO₂ of Brazilian Amazon timber: Two case studies of forest harvesting // *Resources Conservation and Recycling*. 2017. Vol. 122. P. 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.016>
8. Zubair M., Abbas Z., Hussain S. B. Factor affecting purchase of quality wood: Understanding perceptions of wood workers using logistic regression model // *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*. 2022. Vol. 8. P. 243–248. <https://doi.org/10.9734/ajraf/2022/v8i4184>
9. Hosseini S.M., Peer A. Wood products manufacturing optimization: A survey // *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 121653–121683. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3223053>
10. A novel NIRS modelling method with OPLS-SPA and MIX-PLS for timber evaluation / J. Chen [et al.] // *Journal of Forestry Research*. 2021. Vol. 33. P. 369–376.
11. Stefańska A., Cygan M., Batte K., Pietrzak J Application of timber and wood-based materials in architectural design using multi-objective optimisation tools // *Construction Economics and Building*. 2021. Vol. 21. P. 1–5. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7642>
12. Рогулин Р.С. Влияние подзадачи о раскрое при оценке целесообразности проведения закупок лесного сырья с товарно-сырьевых бирж // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2021. № 2. С. 109–125.
13. Рогулин Р.С. Математическая модель формирования ценовой политики и плана производственно-транспортной системы лесопромышленного предприятия // *Бизнес-информатика*. 2021. Т. 15. № 3. С. 60–77. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.3.60.77>

14. Лапшин В.П., Туркин И.А., Омелечко В.Ю. Разработка математической модели сверления древесины с учетом взаимного влияния электроприводов подачи и резания // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. № 2. С. 48–53.
15. Cutting force and surface roughness during straight-tooth milling of walnut wood / S. Jiang [et al.] // Forests. 2022. Vol. 13. Article 2126. <https://doi.org/10.3390/f13122126>
16. Generalized cutting force model for peripheral milling of wood, based on the effect of density, uncut chip cross section, grain orientation and tool helix angle / R. Curti [et al.] // European Journal of Wood and Wood Products. 2021. No. 79. P. 667–678. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01667-5>
17. Merve E.K., Abhijeet Gh., Umit S.B. Modelling the impact of climate change risk on supply chain performance // International Journal of Production Research. 2021. Vol. 59. P. 7317–7335. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1849844>
18. Abdullah A.H.A., Umar M.M., Ali Ak.Sh., Irfan A. Multi-objective optimization modelling of sustainable green supply chain in inventory and production management // Alexandria Engineering Journal. 2021. Vol. 60. P. 5129–5146. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.075>
19. Astanti R.D., Daryanto Y., Dewa P.K. Low-carbon supply chain model under a vendor-managed inventory partnership and carbon cap-and-trade policy // Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity. 2022. Vol. 8. Article 30. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010030>
20. Timber tracking in a mountain forest supply chain: A case study to analyze functionality, bottlenecks, risks, and costs / G. Pichler [et al.] // Forests. 2022. Vol. 13. Article 1373. <https://doi.org/10.3390/f13091373>
21. A new wooden supply chain model for inventory management considering environmental pollution: A genetic algorithm / B. Abdollah [et al.] // Foundations of Computing and Decision Sciences. 2022. Vol. 47. P. 383–408. <https://doi.org/10.2478/fcds-2022-0021>
22. Роголин Р.С. Обзор прикладных основ использования аналитики данных и машинного обучения в прогнозировании спроса // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2023. № 3. С. 115–126.

Об авторе

Роголин Родион Сергеевич

к.э.н.;

доцент, кафедра математики и моделирования, Владивостокский государственный университет, Россия, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, д. 41;

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3235-6429

Management of pricing policy of a timber enterprise considering the problems of formation of raw material supply chains and determining production volumes

Rodion S. Rogulin

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

Abstract

This paper considers a mathematical model that allows managers of a timber enterprise to develop supply chains and manage the pricing policy of the organization. This model is a modification of the model developed earlier and differs from it by taking into account the technology of raw material cutting. The model takes into account the consumption rates of raw materials, purchases on the commodity exchange, transportation of products and pricing policy of the enterprise taking into account the demand. The purpose of the model is to maximize the value of operating profit of the enterprise. When searching for a solution, an optimization strategy is applied which includes two stages: application of linear optimization at the first stage and genetic algorithm at the second stage. As a result of testing the model at one of the timber processing enterprises in the Primorsky Territory, data were obtained, based on which recommendations are formulated for managers of the company regarding cooperation with loggers. This work represents an important step in the development of supply chain management methodology in the timber industry, taking into account the technology of raw material cutting. Further research may include modification of the model using stochastic factors, improving decision-making methods and development of more accurate product demand functions. The work has practical significance for enterprises of the timber processing industry, since it can contribute to the improvement of their production processes and increase profits.

Keywords: supply chain, production volume, timber enterprises, optimality of decisions, mathematical model, commodity and raw materials exchange, share of the useful volume of raw materials, transit time, rational raw material transactions, increasing efficiency

Citation: Rogulin R.S. (2024) Management of pricing policy of a timber enterprise considering the problems of formation of raw material supply chains and determining production volumes. *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 98–111. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.98.111

References

1. Wieruszewski M., Turbański W., Mydlarz K., Sydor M. (2023) Economic efficiency of pine wood processing in furniture production. *Forests*, vol. 14, article 688. <https://doi.org/10.3390/f14040688>
2. Trigkas M., Papadopoulos I., Karagouni G. (2012) Economic efficiency of wood and furniture innovation system. *European Journal of Innovation Management*, vol. 15, no. 2, pp. 150–176. <https://doi.org/10.1108/14601061211220959>
3. Larsson M., Stendahl M., Roos A. (2016) Supply chain management in the Swedish wood products industry – a need analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 31, pp. 777–787. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1170874>
4. Chang H., Han H.-S., Anderson N., et al. (2023) The cost of forest thinning operations in the Western United States: A systematic literature review and new thinning cost model. *Journal of Forestry*, vol. 121, no. 2, pp. 193–206. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvac037>
5. Buka-Vaivade K., Serdjuks D., Pakrastins L. (2022) Cost factor analysis for timber–concrete composite with a lightweight plywood rib floor panel. *Buildings*, vol. 12, no. 6, article 761. <https://doi.org/10.3390/buildings12060761>
6. Aryal U., Neupane P.R., Rijal B., Manthey M. (2022) Timber losses during harvesting in managed Shorea Robusta forests of Nepal. *Land*, vol. 11, article 67. <https://doi.org/10.3390/land11010067>
7. Numazawa C.T.D., Numazawa S., Pacca S., John V.M. (2017) Logging residues and CO₂ of Brazilian Amazon timber: Two case studies of forest harvesting. *Resources Conservation and Recycling*, vol. 122, pp. 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.016>
8. Zubair M., Abbas Z., Hussain S. B. (2022) Factor affecting purchase of quality wood: Understanding perceptions of wood workers using logistic regression model. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*, vol. 8, pp. 243–248. <https://doi.org/10.9734/ajraf/2022/v8i4184>
9. Hosseini S.M., Peer A. (2022) Wood products manufacturing optimization: A survey. *IEEE Access*, vol. 10, pp. 121653–121683. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3223053>
10. Chen J., Yu H., Jiang D., et al. (2021) A novel NIRS modelling method with OPLS-SPA and MIX-PLS for timber evaluation. *Journal of Forestry Research*, vol. 33, pp. 369–376.
11. Stefańska A., Cygan M., Batte K., Pietrzak J. (2021) Application of timber and wood-based materials in architectural design using multi-objective optimization tools. *Construction Economics and Building*, vol. 21, pp. 1–5. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7642>

12. Rogulin R.S. (2021) The influence of the cutting subtask when assessing the feasibility of purchasing forest raw materials from commodity exchanges. *Bulletin of Voronezh State University. Series: System analysis and information technologies*, no. 2, pp. 109–125 (in Russian).
13. Rogulin R.S. (2021) Mathematical model for the formation of pricing policy and plan for the production and transport system of a timber industry enterprise. *Business Informatics*, vol. 15, no. 3, pp. 60–77. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.3.60.77>
14. Lapshin V.P., Turkin I.A., Omelechko V.Yu. (2021) Development of a mathematical model for drilling wood taking into account the mutual influence of electric drives for feeding and cutting. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-industrial Complex*, no. 2, pp. 48–53 (in Russian).
15. Jiang S., Buck D., Tang Q., et al. (2022) Cutting force and surface roughness during straight-tooth milling of walnut wood. *Forests*, vol. 13, article 2126. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/f13122126>
16. Curti R., Marcon B., Denaud L., et al. (2021) Generalized cutting force model for peripheral milling of wood, based on the effect of density, uncut chip cross section, grain orientation and tool helix angle. *European Journal of Wood and Wood Products*, no. 79, pp. 667–678. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01667-5>
17. Merve E.K., Abhijeet Gh., Umit S.B. (2021) Modelling the impact of climate change risk on supply chain performance. *International Journal of Production Research*, vol. 59, pp. 7317–7335. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1849844>
18. Abdullah A.H.A., Umar M.M., Ali Ak.Sh., Irfan A. (2021) Multi-objective optimization modelling of sustainable green supply chain in inventory and production management. *Alexandria Engineering Journal*, 2021, vol. 60, pp. 5129–5146. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.075>
19. Astanti R.D., Daryanto Y., Dewa P.K. (2022) Low-carbon supply chain model under a vendor-managed inventory partnership and carbon cap-and-trade policy. *Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity*, vol. 8, article 30. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010030>
20. Pichler G., Sandak J., Picchi G., et al. (2022) Timber tracking in a mountain forest supply chain: A case study to analyze functionality, bottlenecks, risks, and costs. *Forests*, vol. 13, article 1373. <https://doi.org/10.3390/f13091373>
21. Abdollah B., Peiman Gh., Adel P.Ch., et al. (2022) A new wooden supply chain model for inventory management considering environmental pollution: A genetic algorithm. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, vol. 47, pp. 383–408. <https://doi.org/10.2478/fcds-2022-0021>
22. Rogulin R.S. (2022) Review of applied fundamentals of using data analytics and machine learning in demand forecasting. *Economic and Social-Humanitarian Studies*, no. 3, pp. 115–126 (in Russian).

About the author

Rodion S. Rogulin

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Mathematics and Modeling, Vladivostok State University, 41, Gogolya St., Vladivostok 300012, Russia;

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3235-6429



XXV ЯСИНСКАЯ (АПРЕЛЬСКАЯ) МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ И ОБЩЕСТВА

Уважаемые коллеги!

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» открывает прием заявок с докладом на участие в **XXV Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества (XXV ЯМНК)**.

Мероприятия XXV ЯМНК состоятся в Москве с **15 по 18 апреля 2025 г.**

Вся необходимая информация доступна на сайте конференции: <https://conf.hse.ru/2025/>.

Программа конференции будет сформирована в рамках пяти научных тем:

- Экономика;
- Человеческий капитал и общество;
- Инструментальные методы в общественных науках;
- Форсайт исследования;
- Международные отношения.

Заявки на участие с научным докладом будут приниматься по следующим тематическим секциям:

В рамках научной темы «Экономика»:

- Макроэкономика и макроэкономическая политика;
- Методология экономической науки;
- Теоретическая экономика;
- Фирмы и рынки;
- Финансы и банки.

В рамках научной темы «Человеческий капитал и общество»:

- Социальная политика и развитие здравоохранения;
- Демография и рынки труда;
- Политические процессы;
- Социология;
- Психология.

В рамках научной темы «Инструментальные методы в общественных науках»:

- Инструментальные методы в экономических и социальных исследованиях.

В рамках научной темы «Форсайт исследования»:

- Сценарии развития России в условиях динамично меняющейся внешней конъюнктуры;
- Новые методы и модели научно-технологического и социально-экономического прогнозирования;
- Международный симпозиум «Форсайт в быстро меняющемся мире».

В рамках научной темы «Международные отношения»:

- Международные отношения;
- Мировая экономика;
- Востоковедение.

Срок приема заявок на участие в конференции с научным докладом – **20 января 2025 г.** Подать заявку на участие в качестве слушателя можно: для граждан РФ – **до 10 апреля 2025 г.**, для граждан иностранных государств – **до 10 марта 2025 г.** Более подробная информация размещена на сайте конференции в разделах «Участникам с докладом» и «Слушателям».

Мероприятия конференции пройдут на русском или английском языке, в отдельных случаях на двух языках с синхронным переводом.

Конференция будет проводиться преимущественно в очном формате. Программный комитет оставляет за собой право в исключительных случаях включать в программу докладчиков и слушателей в онлайн формате.

В рамках XXV ЯМНК, как и в предыдущие годы, будет проведен конкурс заявок на поддержку участия в конференции молодых исследователей из российских регионов.

Как подать индивидуальную заявку на участие с докладом?

Доклад на секционном заседании должен содержать **результаты оригинального научного исследования**, выполненного с использованием современной исследовательской методологии. Продолжительность доклада – 15-20 минут.

Заявка подается онлайн в системе конференции НИУ ВШЭ **до 20 января 2025 г.**

К заявке необходимо приложить **развернутую аннотацию доклада**, с нижеперечисленными требованиями к оформлению:

- в аннотации должна быть дана четкая характеристика рассматриваемой проблемы и меры ее изученности, методологии исследования, его основных результатов, их обоснованности и новизны;
- формат Word или RTF, объем от 3 000 до 7 000 знаков;
- для русскоязычного доклада аннотация готовится на русском и английском языках, для англоязычного – аннотация только на английском языке.

Один автор может представить на конференции **один личный доклад** и не более одного доклада в соавторстве.

Как подать коллективную заявку?

Группа авторов индивидуальных заявок, зарегистрированных в системе конференции НИУ ВШЭ, **до 20 января 2025 г.** может сообщить в Программный комитет конференции о своем желании представить доклады в рамках одной сессии. Для этого необходимо подать коллективную заявку в личном кабинете системы конференции НИУ ВШЭ.

Коллективная заявка должна соответствовать следующим требованиям:

- не менее двух и не более пяти докладов в рамках одной сессии;
- не более двух докладов, представленных от одной организации;
- все индивидуальные заявки должны быть зарегистрированы в системе конференции.

Примечание. Заявка на представление одного доклада с соавторами является индивидуальной, а не коллективной.

В рамках каждой тематической секции на основе отобранных заявок формируются сессии. Продолжительность одной сессии составляет 1,5 часа. Предложения по формированию сессий могут быть учтены Программным комитетом на этапе экспертизы заявок и формирования программы конференции.

Экспертиза заявок

Отбор заявок проводится в три этапа:

1. исключение тех заявок, которые не соответствуют указанным выше требованиям к оформлению заявки;
2. проведение экспертной оценки аннотаций на предмет новизны и обоснованности результатов (при этом возможна передача заявки в другую тематическую секцию по решению руководителя);
3. принятие решения Программным комитетом о включении докладов в программу конференции на основе полученных экспертных оценок.

Результаты экспертизы и подтверждение участия

Решения о включении докладов в программу XXV ЯМНК или отказе от удовлетворения заявки будут сообщены заявителям по мере поступления результатов экспертизы, но **не позднее 19 марта 2025 г.**

Авторам докладов, отобранных для представления на конференции, предстоит **до 26 марта 2025 г. включительно** подтвердить свое участие в личном кабинете системы конференции НИУ ВШЭ и затем **до 4 апреля 2025 г. включительно** разместить в личном кабинете слайды презентации доклада на английском языке, что является условиями включения докладов в финальную версию программы.

Оплата регистрационного взноса

Для докладчиков и слушателей конференции сумма регистрационного взноса составляет **3 000 рублей.**

От уплаты регистрационного взноса освобождаются:

- студенты и аспиранты всех вузов (при условии предъявлении студенческого билета и прохождении регистрации);
- сотрудники НИУ ВШЭ (при условии предоставления карточки сотрудника и прохождении регистрации);
- участники, специально приглашенные Программным и Организационным комитетами конференции (в том числе почетные научные докладчики, эксперты, модераторы, спикеры научных круглых столов, дискуссанты и другие приглашенные гости конференции).

Подробная информация об условиях оплаты регистрационного взноса представлена на сайте конференции в разделе «Оплата участия».