

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ, ТЕХНИКЕ, ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (38)

2021

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

- Бадеева Е. А., Малахова Ю. В., Тарасов М. Ю., Барбашова С. А.*
МАКРО- И МИКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ
ПРЕОДОЛЕНИЯ ПАНДЕМИИ COVID-19
ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ 5
- Учинина Т. В., Горбунова Е. А., Пышная А. С.*
СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЗАСТРОЙЩИКОВ В ЖИЛИЩНОЙ СФЕРЕ 30
- Дементьев М. В.*
СТИМУЛИРОВАНИЕ ЧАСТНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В РАМКАХ
РЕАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ 50
- Каратаева О. Г.*
ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ МОДЕРНИЗАЦИИ
ХМЕЛЕВОДСТВА В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ 70

РАЗДЕЛ 2. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

<i>Фролов С. В., Коробов А. А., Газизова Д. Ш., Потлов А. Ю.</i> МОДЕЛЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ С РЕГУЛЯЦИЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	79
<i>Лебедев А. А., Хрящев В. В., Кашин С. В., Среднякова А. С., Казина Е. М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ВРАЧЕБНОГО РЕШЕНИЯ ПРИ ЭНДОСКОПИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ ЖЕЛУДКА.....	95
<i>Арбузова А. А.</i> ДИАГНОСТИКА ПНЕВМОНИИ ПО РЕНТГЕНОВСКИМ СНИМКАМ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	107
<i>Головнин О. К., Игонина А. А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОРГОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	115
<i>Бакаева О. А.</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧИСЛА ПИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ OpenMP.....	130
<i>Бождай А. С., Евсева Ю. И., Гудков А. А.</i> МЕТОДЫ САМОАДАПТАЦИИ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫЕ НА МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ.....	144

MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS, TECHNOLOGY, NATURE AND SOCIETY

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 2 (38)

2021

CONTENT

SECTION 1. MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Badeeva E.A., Malakhova Yu.V., Tarasov M.Yu., Barbashova S.A.*
MACRO- AND MICROECONOMIC CONSEQUENCES
OF OVERCOMING THE COVID-19 PANDEMIC
FOR THE RUSSIAN ECONOMY 5
- Uchinina T.V., Gorbunova E.A., Pyshnaya A.S.*
SITUATIONAL ANALYSIS OF DEVELOPERS' PERFORMANCE
INDICATORS IN THE HOUSING SECTOR 30
- Dement'ev M.V.*
STIMULATING PRIVATE EQUITY IN THE FRAMEWORK
OF INDUSTRIAL POLICY IMPLEMENTATION 50
- Karataeva O.G.*
FORMATION OF AN EFFECTIVE SYSTEM
FOR ENSURING FOOD SECURITY IN THE RUSSIAN
FEDERATION BASED ON THE MODERNIZATION
OF HOP GROWING IN THE CHUVASH REPUBLIC..... 70

SECTION 2. MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

<i>Frolov S.V., Korobov A.A., Gazizova D.Sh., Potlov A.Yu.</i> CARDIOVASCULAR MODEL WITH REGULATION USING A NEURAL NETWORK	79
<i>Lebedev A.A., Khryashchev V.V., Kashin S.V., Srednyakova A.S., Kazina E.M.</i> APPLICATION OF DEEP LEARNING METHODS TO SUPPORT MEDICAL DECISION IN ENDOSCOPIC EXAMINATION OF THE STOMACH.....	95
<i>Arbuzova A.A.</i> DIAGNOSIS OF PNEUMONIA BY X-RAY IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS.....	107
<i>Golovnin O.K., Igonina A.A.</i> LOCATION OPTIMIZATION FOR CONVENIENCE SHOPS BASED ON MATHEMATICAL CARTOGRAPHIC MODEL	115
<i>Bakaeva O.A.</i> CALCULATING THE NUMBER PI USING DATA PARALLEL PROGRAMMING OpenMP	130
<i>Bozday A.S., Evseva Yu.I., Gudkov A.A.</i> METHODS OF SELF-ADAPTATION OF SOFTWARE SYSTEMS BASED ON MACHINE LEARNING AND INTELLECTUAL DATA ANALYSIS	144

РАЗДЕЛ 1 МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

SECTION 1 MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 33.021:336.02: 336.225
doi:10.21685/2227-8486-2021-2-1

МАКРО- И МИКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПАНДЕМИИ COVID-19 ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Е. А. Бадеева¹, Ю. В. Малахова², М. Ю. Тарасов³, С. А. Барбашова⁴

^{1,2} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

^{3,4} Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации, Пензенский филиал, Пенза, Россия

¹ badeeva_elena@mail.ru, ² borisyuka@mail.ru,

³ michatarasov@rambler.ru, ⁴ cdtmf051178@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В настоящее время вопросы и проблемы в бизнесе, социальной сфере, экономической и финансовой системах государств, осложненные распространением новой коронавирусной инфекции, стали острее, актуальнее и приобрели международный масштаб. В марте 2020 г. Всемирная организация здравоохранения объявила о возникновении чрезвычайной ситуации в Китайской Народной Республике и последующем быстром распространении нового штамма COVID-19, достигшего угрожающей стадии пандемии, последствиями которой стал подрыв мировых экономик. Поднимаются и анализируются финансовые, правительственные меры, применяемые в борьбе с кризисом, вызванным коронавирусной инфекцией. Целью работы является исследование влияния последствий пандемии COVID-19 на развитие экономик на макро- и микроуровне как в России, так и за рубежом. *Материалы и методы.* В процессе исследования использовались методы анализа и синтеза, сравнения и обобщения информации. *Результаты.* Проанализированы показатели преодоления пандемии COVID-19 для российской и мировых экономик. Обоснованы проблемы кризисного характера и способы их устранения. *Выводы.* Политические меры Российской Федерации и зарубежных государств направлены на выход из экономического кризиса, подъем производства и рост доходности преимущественно путем облегчения налогового бремени бизнес-структур, на обеспечение экономической безопасности в финансово-кредитной и инвестиционной сферах. Выбранный курс посткризисного развития экономической ситуации позволит обеспечить баланс доходности бюджетов страны и собственных ресурсов субъектов хозяйствования.

© Бадеева Е. А., Малахова Ю. В., Тарасов М. Ю., Барбашова С. А., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: коронакризис, COVID-19, экономика государства, макро- и микроуровень, кризис, бизнес, финансовый показатель, безработица, налог, инвестиция, банковская структура, правительственные меры

Для цитирования: Бадеева Е. А., Малахова Ю. В., Тарасов М. Ю., Барбашова С. А. Макро- и микроэкономические последствия преодоления пандемии COVID-19 для российской экономики // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 5–29. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-1

MACRO- AND MICROECONOMIC CONSEQUENCES OF OVERCOMING THE COVID-19 PANDEMIC FOR THE RUSSIAN ECONOMY

Е.А. Бадеева¹, Ю.В. Малахова², М.Ю. Тарасов³, С.А. Барбашова⁴

^{1,2} Penza State University, Penza, Russia

^{3,4} Financial University under the Government of the Russian Federation, Penza branch, Penza, Russia

¹ badeeva_elena@mail.ru, ² borisylka@mail.ru,

³ michatarasov@rambler.ru, ⁴ cdtmf051178@yandex.ru

Abstract. Background. Currently, issues and problems in business, in the social sphere, in the economic and financial systems, complicated by the spread of a new coronavirus infection, have become more acute, more relevant and have acquired an international scale. In March 2020, the World Health Organization announced the emergence in the People's Republic of China and the subsequent rapid spread of a new COVID-19 stamp, reaching the threatening stage of a pandemic, the consequences of which was the undermining of world economies. The financial and government measures used in the fight against the crisis caused by the coronavirus infection are raised and analyzed. The aim of the work is to study the impact of the COVID-19 pandemic on the development of economies at the macro and micro levels both in Russia and abroad. **Materials and methods.** In the course of the research, methods of analysis and synthesis, comparison and generalization of information were used. **Results.** The indicators of overcoming the COVID-19 pandemic for the Russian and world economies are analyzed. Problems of a crisis nature and ways of their elimination are justified. **Conclusions.** The policy measures of the Russian Federation and foreign countries are aimed at overcoming the economic crisis, raising production and increasing profitability mainly by easing the tax burden of business structures, ensuring economic security in the financial, credit and investment spheres. The chosen course of the post-crisis development of the economic situation will ensure a balance between the profitability of the country's budgets and the own resources of business entities.

Keywords: coronocrisis, COVID-19, state economy, macro- and micro-level, crisis, business, financial indicator, unemployment, tax, investment, banking structure, government measures

For citation: Бадеева Е.А., Малахова Ю.В., Тарасов М.Ю., Барбашова С.А. Macro- and microeconomic consequences of overcoming the COVID-19 pandemic for the Russian economy. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;2:5–29. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-1

Введение

Сложный 2020 г. в связи с пандемией коронавирусной инфекции, появившейся в Китае, стал настоящим вызовом для большинства сфер экономик как отдельных стран, так и всего мира в целом. Глобальный экономиче-

ский кризис, охвативший весь мир, был вызван введением целого комплекса чрезвычайно жестких ограничительных мер (lockdown), строгого режима изоляции, закрытием границ между государствами, приостановлением международных торговых операций. Произошли изменения в деятельности субъектов хозяйствования: снижение объемов производства и продаж, сокращение рабочей силы. К наиболее пострадавшим сферам бизнеса относятся туризм и отдых, общественное питание, сфера обслуживания и развлечений, транспорт, логистика и перевозки, оздоровительная деятельность, спорт и другие сферы услуг. Понижился уровень оплаты труда, бизнес-структуры были вынуждены заняться поиском дополнительных источников инвестиций, возросла необходимость привлечения заемных средств, а часть организаций оказалась перед неизбежностью приостановления своей деятельности [1–7].

Остановка предприятий и замедление финансово-хозяйственных процессов в целом и особенно в транспортном секторе привели к снижению спроса на энергоносители. Согласно докладом Международного энергетического агентства (МЭА) потребление нефти в I квартале 2020 г. составило 94,1 млн баррелей/день, во II квартале 2020 г. – 83,1 млн баррелей/день, в III квартале 2020 г. – 93,0 млн баррелей/день, а в IV квартале 2020 г. – 94,7 млн баррелей/день, что на 4,8, 15,8, 7,6 и 6,2 % соответственно меньше, чем в аналогичные периоды 2019 г. [8]. Падение цены на нефть, когда средневзвешенная годовая цена барреля нефти марки Urals в 2019 г. составляла 63,6 долл. США, а по итогам 2020 г. – 41,7 долл. США (–34,4 %) [9], – одно из неизбежных последствий всемирной экономической остановки.

В настоящее время политика всех государств направлена на постепенный выход из сложившейся экономической ситуации – остановки (disruption) экономики – и ее последующий перезапуск с поиском новых путей развития затронутых коронавирусом отраслей. Российская Федерация входит в состав интегрированной международной экономической системы, и в ее экономике также происходят глобальные процессы, связанные с замедлением и остановкой экономического роста [10, 11].

Материал и методика

Экономический кризис – это нарастание противоречий социально-экономической системы (сокращение рабочих мест, рост цен на продукты и товары, обвал национальной валюты и т.п.), опасность банкротства субъектов хозяйствования и переломный момент в различных процессах. Кризис (рецессия или спад) как фаза экономического цикла характеризуется массовым снижением деловой активности во многих секторах экономики, отличается периодом сокращения общего объема производства, доходов, занятости и движения товарооборота продолжительностью более шести месяцев. Парадоксальность кризисов заключается в том, что в них самих заложена возможность их преодоления для дальнейшего развития экономики [12, 13].

Каждый экономический кризис имеет индивидуальный характер в зависимости от условий и факторов возникновения. Например, валютный кризис 2014–2015 гг. вызван падением цен на нефть, мировой финансовый кри-

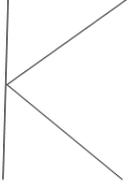
зис 2008 г. начался как ипотечный кризис в США, спровоцировав кризис ликвидности мировых банков.

Коронакризис по сравнению с другими экономическими кризисами, с которыми пришлось столкнуться многим странам, имеет свои особенности [14, 15]. Пандемия COVID-19 сковала всю экономику, возникли резкие разногласия на нефтяном рынке. По масштабам проявления коронакризис охватывает определенную группу социально-экономических проблем, затрагивая все отрасли жизнедеятельности общества, и имеет как микро-, так и макроэкономические последствия для мировых экономик. На выход из сложившейся кризисной ситуации и преодоление ее последствий непосредственное влияние оказывают такие меры и методы антикризисного управления, предпринимаемые правительством стран, которые позволяют смягчать кризис.

Коронакризис как кризисное состояние мировой экономики, вызванное пандемией COVID-19, можно представить в определенной форме (табл. 1). По мнению В. Л. Иноземцева и других аналитиков, коронакризис имеет форму логотипа компании «Nike» («Nike»-shaped recession) ввиду своего резкого спада и восстановления, переходящего в постепенный долгосрочный рост [11, 16]. В свою очередь У. Хоук [17], обращая внимание на разнонаправленность развития экономических сфер в 2020 г., полагает, что коронакризис имеет К-форму (K-shaped recession). Опираясь на данные Росстата [18, 19], можно предположить, что экономический кризис 2020 г. с наибольшей вероятностью является V-кризисом (V-shaped recession). Причем дно приходится преимущественно на II и III кварталы 2020 г.

Таблица 1

Вариативность подходов к определению конфигурации коронакризиса 2020 г.

В. Л. Иноземцев [11]	William Hauk [17]	Авторы статьи в соответствии с данными Росстата
		
«Nike»-shaped recession («Nike»-shaped recovery)	K-shaped recession (K-shaped recovery)	V-shaped recession (V-shaped recovery)

Обсуждение и результаты

Основные макроэкономические показатели свидетельствуют о том, что ухудшение ситуации на мировых рынках энергоносителей неблагоприятно сказывается на России, поскольку сырьевые товары традиционно занимают главное место в российском экспорте. Значительное падение мировых цен на энергетические ресурсы привело к его сокращению (табл. 2).

Таблица 2

Динамика российского экспорта энергетических товаров
(составлено и рассчитано по [20, 21])

Российский экспорт	2019 г.	2020 г. (оценка)	Изменение
Экспорт сырой нефти, млн долл. США	122 228,6	75 354,7	-38,3 %
Экспорт нефтепродуктов, млн долл. США	66 946,6	45 389,8	-32,2 %
Экспорт природного газа, млн долл. США	41 786,8	25 322,8	-39,4 %
Экспорт сжиженного природного газа, млн долл. США	7920,0	6747,8	-14,8 %
Экспорт энергетических товаров, всего, млн долл. США	238 882,0	152 815,1	-36,0 %
Доля экспорта энергетических товаров в общем объеме товарного экспорта, %	56,9	46,1	-10,8 п.п.

Канал трансмиссии коронакризиса из глобальной плоскости в российскую экономику через ухудшение конъюнктуры на мировых рынках энергоносителей крайне очевиден и хорошо прогнозируем. Значительное падение цен на энергетические ресурсы приводит к их сокращению, имеет место сокращение импорта, снижение сальдо торгового баланса. По оценкам Банка России, если в 2019 г. экспорт товаров (ФОб) составлял 419,9 млрд долл. США, импорт товаров (ФОб) – 254,6 млрд долл. США, внешнеторговый оборот – 674,5 млрд долл. США, а сальдо торгового баланса – 165,3 млрд долл. США, то по итогам 2020 г. – 331,8 млрд долл. США (-21,0 %), 239,8 млрд долл. США (-5,8 %), 571,6 млрд долл. США (-15,3 %) и 92,0 млрд долл. США (-44,3 %) соответственно [22]. С 2018 г. для предотвращения действия механизма «голландской болезни» [23–25] введено новое бюджетное правило, предусматривающее использование дополнительных нефтегазовых доходов для приобретения валюты на открытом рынке, что, по мнению ряда исследователей (например, [23, 24, 25, с. 226]), ослабило связь между ценой на нефть и валютным курсом. Однако влияние изменения нефтяных цен на валютный курс и на валютные ожидания населения и бизнеса продолжает сохраняться (табл. 3).

Таблица 3

Динамика среднемесячных значений валютного курса и стоимости нефти
в 2020 г. (составлено и рассчитано по [26, 27])

Месяц	Цена барреля Urals, долл. США	Изменение, %	USD/RUB, руб. за долл. США	Изменение, %
январь	61,42	-4,3	61,78	-1,8
февраль	54,02	-12,0	63,88	+3,4
март	29,05	-46,2	73,15	+14,5
апрель	18,14	-37,5	75,22	+2,8
май	30,91	+70,4	72,61	-3,5
июнь	41,76	+35,1	69,22	-4,7
июль	43,72	+4,7	71,28	+3,0
август	44,32	+1,4	73,80	+3,5
сентябрь	40,74	-8,1	75,65	+2,5
октябрь	40,37	-0,9	77,59	+2,6
декабрь	43,14	+6,9	77,03	-0,7

Зависимость между макроэкономической стабильностью в России и ценой на нефть на мировых рынках значительно ослабла, но полностью не исчезла. Кроме того, нельзя не отметить, что за счет обесценивающегося национального валютного курса правительство может в некоторой степени сбалансировать доходы и расходы государственного бюджета.

Обесценение национальной валюты, с одной стороны, приводит к повышению ценовой конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках (что в условиях всеобщей остановки мировой экономики не является весомым конкурентным преимуществом), но, с другой стороны, служит одним из факторов ускорения инфляционных процессов, особенно если национальная экономика или ее отдельные отрасли и сектора так или иначе зависят от импорта различных ресурсов, в том числе зарубежного кредитования. Современные исследования [28–30] показывают, что в условиях одновременного действия режима инфляционного таргетирования и режима плавающих валютных курсов прямой эффект переноса динамики валютного курса на цены минимален, но косвенный эффект все же остается. Он связан с замещением импортных ресурсов внутристрановыми, что в итоге способствует росту отечественного производства за счет возникших преимуществ в ценовой конкуренции. При этом, во-первых, неценовая конкуренция уходит на задний план и качество выпускаемой отечественной продукции по сравнению с иностранной может снизиться, а во-вторых, через растущий спрос ускоряются темпы инфляции.

За счет обесценивающегося национального валютного курса правительство может в некоторой степени сбалансировать доходы и расходы государственного бюджета. Подобная мера становится своевременной в условиях, когда, во-первых, имеет место «выпадение» части нефтегазовых доходов, а во-вторых, правительство для поддержания совокупного спроса увеличивает государственные расходы (например, производит адресные социальные выплаты, осуществляет субсидирование кредитов предприятиям) и одновременно вводит льготы по уплате налогов, сборов и страховых взносов для поддержания бизнеса, т.е. проводит налогово-бюджетную экспансию (табл. 4) [31].

Таблица 4

Показатели об исполнении федерального бюджета в 2018–2020 гг.
(составлено по [31])

Раздел федерального бюджета	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Доходы, всего, млрд руб.	19 454,4	20 188,8	18 722,2
Нефтегазовые доходы, млрд руб.	9017,8	7924,3	5235,2
Ненефтегазовые доходы, млрд руб.	10 436,6	12 264,5	13 486,9
Расходы, всего, млрд руб.	16 713,0	18 214,5	22 821,5
Дефицит (-)/Профицит (+), млрд руб.	2741,4	1974,3	-4099,4
Погашение дефицита бюджета за счет курсовой разницы, млрд руб.	839,2	-963,5	2440,2

Вместе с ростом дефицита государственного бюджета выросли государственные заимствования для его покрытия. По итогам 2020 г. государственный внутренний долг вырос на 4,6 трлн руб. (+45,0 %), а государственный внешний долг – на 1,9 млрд долл. США (+3,4 %) [32].

Выработанный развитыми странами в период прохождения Мирового финансового кризиса 2008 г. механизм спасения экономики через дополнительные денежные вливания – количественное смягчение (quantitative easing) – был применен и в случае с коронакризисом. Например, Федеральная резервная система США (ФРС США) постепенно снижала ключевую ставку процента: в январе 2020 г. верхняя ее граница составляла 1,75 %, в начале марта – 1,25 %, с середины марта 2020 г. по настоящее время – 0,25 % [33]. Данный путь выбрали и банки России. Если в январе 2020 г. Банком России была установлена ключевая процентная ставка 6,0 %, то в последующие месяцы она плавно снижалась: до 5,5 % в апреле 2020 г., до 4,5 % в июне 2020 г., до 4,25 % в июле 2020 г. [33].

Подобная мера была принята не только для поддержания экономической активности за счет «дешевых» денег и кредитов, но и для предупреждения макро- и микроэкономических последствий, связанных с разрывами между национальными, зарубежными и мировыми процентными ставками (например, в ходе операций carry trade). В результате плавного снижения Банком России номинальной ключевой ставки до 4,25 % при ускорившихся темпах инфляции до 4,91 % к концу 2020 г. [18] значение реальной ключевой ставки ушло в отрицательную зону (рис. 1). Явление отрицательных процентных ставок – это феномен XXI в.



Рис. 1. Динамика номинальной и реальной ключевой ставки Банка России (составлено и рассчитано по [18, 33])

Центральные банки устанавливают отрицательные реальные процентные ставки, как правило, в двух случаях: либо для ограничения притока «горячих» денег (hot money) на национальные валютные рынки в целях стабилизации национального валютного курса, либо «для стимулирования использования коммерческими банками резервных денег» [34, с. 861].

В условиях финансового подъема подобный маневр монетарной политики представляет собой один из немногих эффективных способов восстановления экономики через денежно-кредитные каналы. После того как экономика перейдет в фазу роста, центральные банки для пресечения инфляции будут вынуждены постепенно, соразмерно с темпами восстановления, повышать ключевую ставку.

Прибегнув к финансовой стратегии bailout и реализуя монетарную экономическую политику quantitative easing, ведущие центральные банки мира для компенсации падающего денежного мультипликатора расширили денежную базу и тем самым увеличили денежное предложение. Например, ФРС США через наращение активов на собственном балансе с 4,2 трлн долл. США в начале до 7,4 трлн долл. США (+ 76,2 %) в конце 2020 г. способствовала росту денежного агрегата M_2 с 15,5 до 19,4 трлн долл. США (+ 25,2 %) за год [35]. Несмотря на то, что Банк России на текущем этапе развития российской экономики не может реализовывать подобные программы и стратегии, рост денежного предложения наблюдается и в нашей экономике. Фискальные и монетарные смягчения привели к увеличению денежной базы с 10,98 трлн руб. в начале 2020 г. до 13,83 трлн руб. к концу 2020 г. (+ 25,96 %) [36], что привело к росту денежного агрегата M_2 с 51,66 трлн руб. в начале января 2020 г. до 58,65 трлн руб. в конце декабря 2020 г. (+ 13,5 %) [37].

Расширение денежной базы необходимо не только для компенсации снижающегося денежного мультипликатора, но и для устранения дефицита ликвидности, риски возникновения которого в моменты экономического спада велики (рис. 2).

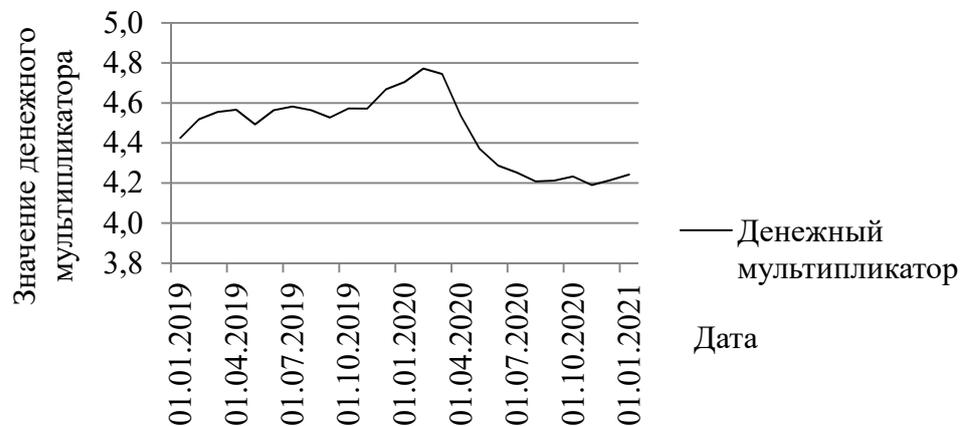


Рис. 2. Динамика денежного мультипликатора в российской экономике в 2019–2020 гг.

На сокращение денежного предложения реагируют финансовые рынки, проявляясь через массовую продажу финансовых активов с последующим обрушением цен на них, что снижает склонность людей к инвестиро-

ванию, и в результате чего хозяйствующие субъекты имеют проблемы с привлечением заемного капитала через фондовые рынки, что особенно болезненно ощущается в условиях кризиса. При этом через цепочки межотраслевых и межсекторальных связей волна финансового падения перекидывается на другие сферы экономики. Следовательно, расширение денежной базы центральными банками или другими финансовыми властями при коронакризисе 2020 г. было крайне необходимой денежно-кредитной операцией для предотвращения дальнейшего усугубления экономической катастрофы.

Аккомодационная макроэкономическая политика (*accommodative macroeconomic policy*), как подсказывает опыт экономических кризисов последних десятилетий, негативно влияет на макроэкономическую стабильность после прохождения фаз «спада» и «дна» [38]. Темпы инфляции, измеренные по индексу потребительских цен (ИПЦ), по итогам 2020 г. составили 4,91 % (на фоне падения темпов прироста ВВП на 3,1 %) [39]. Вопреки слабо ускоренным темпам инфляции инфляционные ожидания населения и бизнеса остаются высокими. Согласно аналитическим докладом Банка России краткосрочные инфляционные ожидания населения на 2021 г. составляют 11,5 %, а бизнеса – 18,3 % [40].

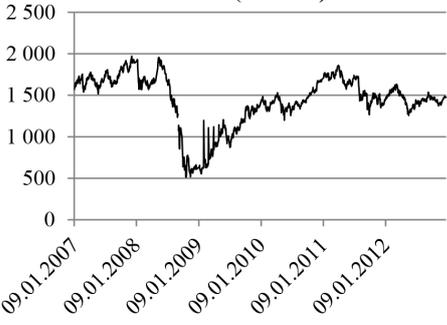
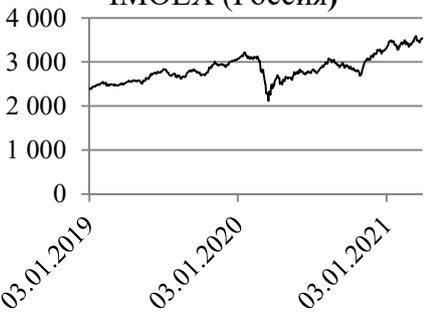
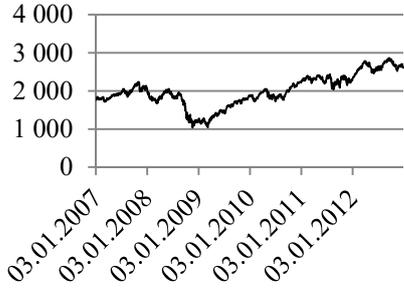
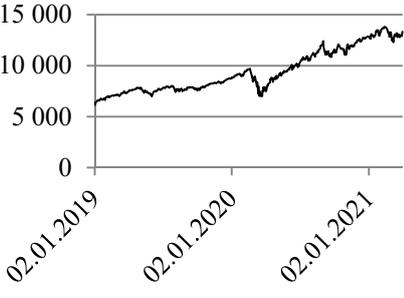
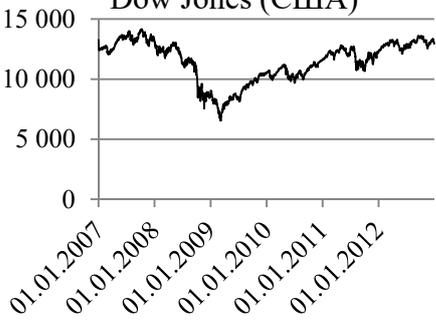
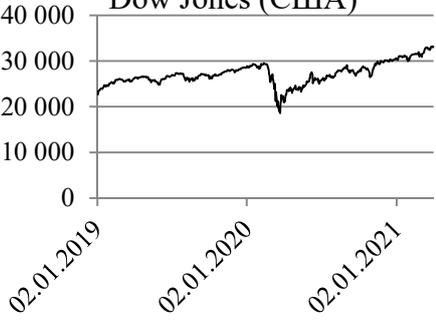
Дорожающее продовольствие вносит весомый вклад в рост инфляционных ожиданий. За период с декабря 2019 г. по декабрь 2020 г. индекс цен на хлеб и хлебобулочные изделия составил 107,32 %, на крупу и бобовые – 120,12 %, на макаронные изделия – 112,08 %, на подсолнечное масло – 125,91 %, на куриные яйца – 115,14 %, на сахар-песок – 164,54 %, на плодоовощную продукцию – 117,0 % [39]. Причем это не столько российский тренд, сколько общемировой. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, в январе 2021 г. среднее значение Индекса продовольственных цен составило 113,3 % [41].

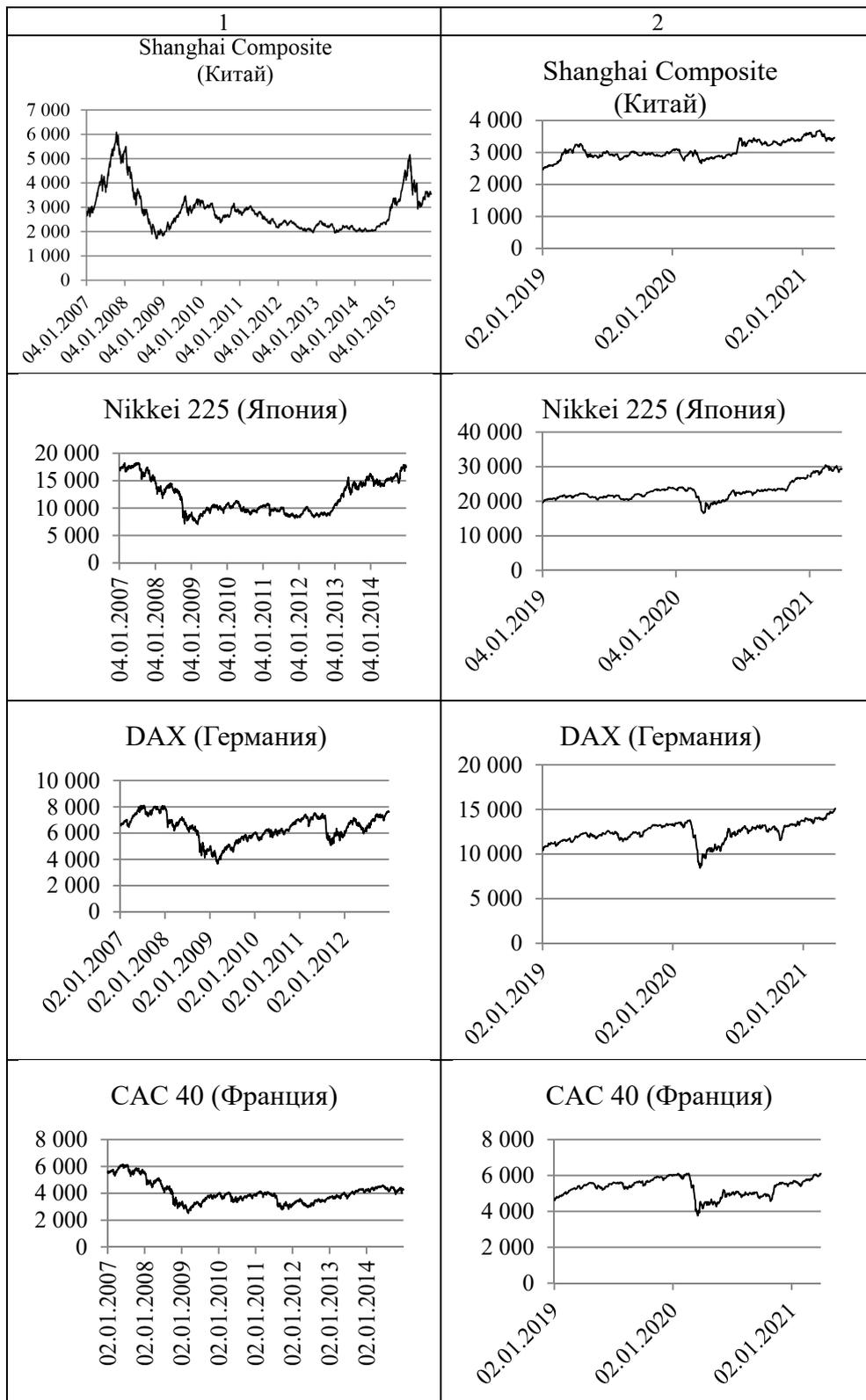
В качестве наиболее разумного способа нивелирования удара подорожавшего продовольствия можно назвать активную закупку государством продуктов питания по выросшим ценам у производителей с учреждением своего рода фондов или банков еды (*food banks*) с последующей перепродажей аккумулярованного продовольствия сетевым магазинам и гражданам по более приемлемой цене. В итоге увеличение предложения со стороны государства приведет к снижению равновесной цены и состояние продовольственных и товарных рынков нормализуется.

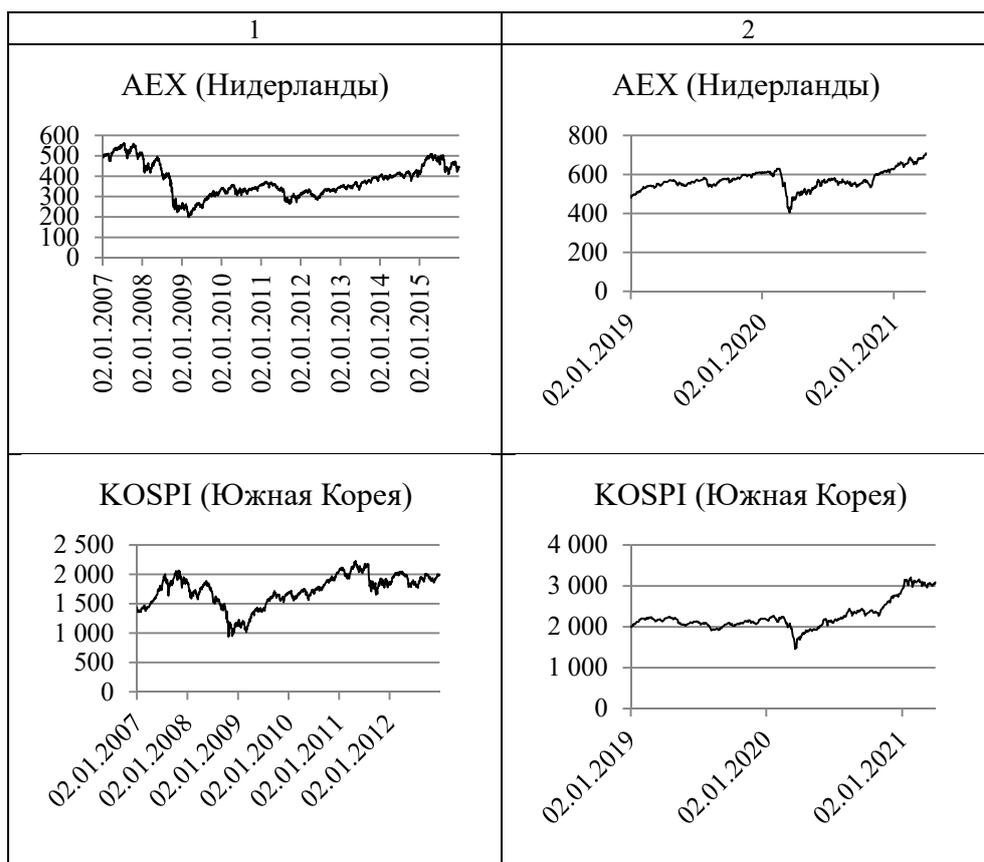
Возросшая вовлеченность центральных банков в работу финансовых рынков, а также низкие процентные ставки, стимулирующие экономических субъектов искать альтернативные банковским депозитам и государственным облигациям более высокие источники доходов, способствовали относительно быстрому восстановлению мировых фондовых рынков, которые стали активно поглощать избыточные денежные вливания. При этом если на восстановление докризисных значений большинства биржевых индексов в период мирового финансового кризиса 2008 г. потребовалось несколько лет, то в случае с коронакризисом 2020 г. – всего несколько месяцев (табл. 5).

Таблица 5

Сравнение восстановительной динамики ряда биржевых индексов
в мировой финансовый кризис 2008 г. и в коронакризис 2020 г.
(составлено по [42])

Мировой финансовый кризис 2008 г.	Коронакризис 2020 г.
1	2
<p data-bbox="587 432 775 465">ИМОЕХ (Россия)</p> 	<p data-bbox="1066 443 1286 477">ИМОЕХ (Россия)</p> 
<p data-bbox="528 824 831 857">NASDAQ 100 (США)</p> 	<p data-bbox="1018 824 1321 857">NASDAQ 100 (США)</p> 
<p data-bbox="547 1211 802 1245">Dow Jones (США)</p> 	<p data-bbox="1042 1211 1297 1245">Dow Jones (США)</p> 





Введенные ограничения на перемещения людей и товаров, закрытие межгосударственных и межрегиональных границ привели к вынужденной деглобализации и отразились на мобильности экономических ресурсов в глобальной экономике. Например, иммиграция как один из источников трудовых ресурсов и регулирования численности населения значительно сократилась. В 2020 г. оформлено 63 тыс. разрешений на работу в России иностранным гражданам и лицам без гражданства, что на 51 % меньше, чем в 2019 г., а число фактов постановки на миграционный учет снизилось на 9,7 млн или на 50,2 % [43].

Несмотря на правительственные экспансионистские меры поддержки экономики, состояние lockdown не могло не сказаться на занятости трудовых ресурсов. В 2020 г. наблюдалось снижение как потенциальной, так и фактической экономической активности населения, что к тому же усугублялось ростом уровня безработицы с 4,60 до 5,77 %, т.е. в 1,25 раз (табл. 6). Во II и III кварталах 2020 г. заметно выросло количество людей с неполной (частичной) занятостью, что привело к росту уровня скрытой безработицы с 0,07–1,21 % до 0,12–1,55 % (табл. 7). Это также вполне типично для экономических кризисов последних десятилетий. Поэтому с учетом уровня неполной занятости реальный уровень безработицы по итогам 2020 г. может находиться в диапазоне 5,89–7,32 %.

Таблица 6

Динамика экономической активности населения и уровня безработицы
в 2018–2020 гг. в России (составлено и рассчитано по [44])

Показатель	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Численность населения, млн человек	146,9	146,8	146,7
Численность рабочей силы в возрасте 15 лет и старше, млн человек	76,190	75,398	74,923
Численность безработных в возрасте 15 лет и старше, млн человек	3,659	3,465	4,321
Фактический уровень экономической активности населения, %	49,37	49,00	48,13
Потенциальный уровень экономической активности населения, %	51,87	51,36	51,07
Уровень безработицы, %	4,80	4,60	5,77

Таблица 7

Оценка уровня скрытой безработицы в 2019–2020 гг. в России
(составлено и рассчитано по [44])

Показатель	2019 г.				2020 г.			
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Численность работников, работавших неполное рабочее время по инициативе работодателя, тыс. человек	58,1	42,0	34,0	57,1	52,6	84,8	91,4	55,0
Численность работников, работавших неполное рабочее время по соглашению между работником и работодателем, тыс. человек	810,9	848,1	858,8	946,5	977,1	1142,1	1107,1	1054,5
Численность работников, находившихся в простое по вине работодателя и по причинам, не зависящим от работодателя и работника, тыс. человек	6,5	6,7	5,4	8,5	18,9	31,3	15,0	10,9
Общая численность неполной занятости, тыс. человек	875,5	896,9	898,3	1012,0	1048,6	1258,2	1213,5	1120,4
Оценочное значение уровня скрытой безработицы (в среднем за год), %	нижняя граница		верхняя граница		нижняя граница		верхняя граница	
	0,07		1,21		0,12		1,55	

Рост неполной занятости сопровождается сокращением реальных располагаемых доходов населения главным образом через сокращение реальной заработной платы, что может привести, во-первых, к падению совокупного

спроса, во-вторых, к снижению размера сбережений, что увеличивает финансовую уязвимость людей и снижает частные инвестиции, в-третьих, к росту рисков неуплаты долгов по имеющимся обязательствам (кредитам, займам), т.е. к повышению угрозы банкротства.

Так, во II квартале 2020 г. реальные располагаемые денежные доходы россиян сократились на 8 %, в III квартале 2020 г. – на 3,3 %, в IV квартале 2020 г. – на 1,5 %, а в целом за 2020 г. – на 3,1 %, что сопоставимо с падением в период валютного кризиса 2014–2015 гг. [45]. На фоне падения реальных располагаемых денежных доходов населения ожидаемо выросло число банкротств физических лиц. Количество граждан (включая индивидуальных предпринимателей), признанных банкротами, в 2020 г. составило 119 049 человек, что на 72,6 % больше, чем в 2019 г. [46]. Отчасти рост банкротств был обусловлен «введением внесудебной бесплатной для граждан процедуры признания несостоятельности» [47, с. 12].

Коронакризис 2020 г. в каждой части России протекал по-своему, с собственными особенностями и трудностями. Российская экономика крайне неоднородна, федеральные округа и регионы отличаются по типу экономического устройства, по уровню и структуре занятости, по благоприятности инвестиционного климата, по количеству и составу экономических ресурсов, по внешнеэкономическим связям, а также по ряду других факторов и показателей. Рассмотрим, как пандемия COVID-19 повлияла на экономическое состояние Приволжского федерального округа (ПФО). Как в целом по России, так и в ПФО в 2020 г. наблюдается отрицательная динамика по фактической и потенциальной экономической активности населения при одновременном росте уровня безработицы (табл. 8).

Таблица 8

Динамика экономической активности населения и уровня безработицы в 2018–2020 гг. в Приволжском федеральном округе (составлено и рассчитано по [44])

Показатель	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Численность населения, млн человек	29,470	29,343	29,179
Численность рабочей силы в возрасте 15 лет и старше, млн человек	15,070	14,773	14,645
Численность безработных в возрасте 15 лет и старше, млн человек	0,665	0,620	0,755
Фактический уровень экономической активности населения, %	48,88	48,23	47,60
Потенциальный уровень экономической активности населения, %	51,14	50,34	50,19
Уровень безработицы, %	4,41	4,20	5,15

Тем не менее уровень безработицы в ПФО на 0,62 процентных пункта ниже, чем по России. Однако в ПФО присутствует более высокий уровень скрытой безработицы, находящийся, по оценкам, в диапазоне от 1,03 до 2,41 % (табл. 9), что увеличивает значение показателя всей безработицы в ПФО до 6,18–7,56 %.

Таблица 9

Оценка уровня скрытой безработицы в 2019–2020 гг.
в Приволжском федеральном округе (составлено и рассчитано по [44])

Показатель	2019 г.				2020 г.			
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Численность работников, работавших неполное рабочее время по инициативе работодателя, тыс. человек	22,9	12,4	9,9	27,4	18,9	39,0	39,0	12,5
Численность работников, работавших неполное рабочее время по соглашению между работником и работодателем, тыс. человек	151,6	155,8	158,2	176,0	187,8	217,0	209,9	197,3
Численность работников, находившихся в простое по вине работодателя и по причинам, не зависящим от работодателя и работника, тыс. человек	77,6	72,4	54,9	77,2	86,5	256,8	81,2	67,9
Общая численность неполной занятости, тыс. человек	252,1	240,6	223,0	280,5	293,2	512,8	330,1	277,7
Оценочное значение уровня скрытой безработицы (в среднем за год), %	нижняя граница		верхняя граница		нижняя граница		верхняя граница	
	0,60		1,65		1,03		2,41	

Рост безработицы и особенно ее «скрытой» компоненты в 2020 г. – естественное последствие приостановки деятельности предприятий. Как и на многих других рынках, на рынке труда возникли диспропорции, когда по одним специальностям спрос значительно превышает предложение, а по другим – предложение превышает спрос. Первый вариант связан с дефицитом специалистов (например, в ИТ-сфере) и подразумевает более высокую равновесную заработную плату, второй – с их избытком и означает, соответственно, неполную занятость и более низкую равновесную заработную плату. Задача государства заключается в устранении подобных дисбалансов через организацию системы профессиональной переподготовки за счет ресурсов государственно-частного партнерства.

Для поддержания деловой активности российским правительством были введены фискальные послабления главным образом за счет снижения налоговых ставок, предоставления налоговых каникул, отсрочки или полной отмены налоговых и страховых платежей некоторым категориям бизнеса. В результате этого снижающиеся доходы бюджета граничили с растущими расходами, что привело к дефициту федерального бюджета. Консолидированные бюджеты регионов ПФО не стали исключением (табл. 10).

Таблица 10

Исполнение консолидированного бюджета Приволжского федерального округа в 2018–2020 гг. (составлено и рассчитано по [48–50])

Раздел консолидированного бюджета субъектов ПФО	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Доходы, млрд руб.	1745,9	1882,5	2092,7
Расходы, млрд руб.	1669,0	1863,1	2210,7
Профицит (+)/Дефицит (–), млрд руб.	76,9	19,4	–118,0

Если в 2018 г. был только один регион с дефицитным бюджетом (Республика Мордовия), а в 2019 г. – 6 регионов (Республика Башкортостан, Удмуртская Республика, Нижегородская область, Пензенская область, Саратовская область, Ульяновская область), то в 2020 г. их число выросло до девяти (Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Удмуртская Республика, Пермский край, Нижегородская область, Оренбургская область, Пензенская область, Саратовская область, Ульяновская область) (табл. 11).

Таблица 11

Регионы Приволжского федерального округа, имеющие дефицитный бюджет в 2020 г. (составлено и рассчитано по [48–50])

Регион ПФО, имеющий дефицит бюджета	Размер бюджетного дефицита, млрд руб.	Доля дефицита бюджета региона в сумме бюджетных дефицитов регионов ПФО, %
Республика Башкортостан	37,35	30,27
Республика Татарстан	21,97	17,81
Удмуртская республика	15,33	12,42
Пермский край	22,51	18,24
Нижегородская область	11,21	9,09
Оренбургская область	2,18	1,77
Пензенская область	0,29	0,24
Саратовская область	3,47	2,81
Ульяновская область	9,07	7,35

Вместе с тем во многом за счет введения отсрочек фискальных платежей к началу 2021 г. выросла совокупная задолженность по налогам, сборам, страховым взносам, пеням и налоговым санкциям (табл. 12). Причем если задолженность в целом по России за год увеличилась в 2,57 раза, то задолженность по ПФО – 2,87 раза.

Таблица 12

Динамика задолженности по налогам и сборам, страховым взносам, пеням и налоговым санкциям в России и в Приволжском федеральном округе
(составлено и рассчитано по [48–50])

Показатель	По состоянию на		
	01.01.2019	01.01.2020	01.01.2021
Совокупная задолженность субъектов ПФО по налогам и сборам, страховым взносам, пеням и налоговым санкциям, млрд руб.	91,11	77,99	223,91
Из нее по			
федеральным налогам и сборам, млрд руб.	42,05	34,73	127,02
региональным налогам и сборам, млрд руб.	17,45	15,03	25,45
страховым взносам и прочим платежам в государственные внебюджетные фонды, млрд руб.	31,61	28,24	71,44
Совокупная задолженность всех субъектов РФ по налогам и сборам, страховым взносам, пеням и налоговым санкциям, млрд руб.	792,00	710,20	1 828,60
Доля задолженности субъектов ПФО к общей задолженности по РФ, %	11,50	10,98	12,24

Выводы

Экономический кризис 2020 г. уникален как минимум по двум причинам. Во-первых, сам по себе спад был искусственно вызван сознательными действиями и мерами правительств различных стран. Во-вторых, в отличие от кризисов предыдущих лет в данный кризис динамика развития экономических отраслей, сфер и секторов была разнонаправленной. Наиболее пострадавшими отраслями, где темпы экономического падения в реальном выражении измерялись двухзначными значениями, стали туризм (–54,6 %), сфера общественного питания и гостиничный бизнес (–24,1 %), сфера спорта, отдыха и развлечений (–14,6 %), транспортный сектор (–10,3 %) и др. (рассчитано по [19]). В то же время были отрасли, которые демонстрировали сверхвысокий рост, например фармацевтика (+22,2 %), ИТ-сфера (+12,7 %), финансы и страхование (+7,9 %) (рассчитано по [19]). Очевидно, что подобные диспропорции роста и падения носят временный характер и постепенно, в течение двух-трех лет, будут устранены.

Самыми востребованными, но и более затратными для государственных бюджетов всех уровней и государственных внебюджетных фондов мерами поддержки хозяйствующих субъектов стали следующие: изменение условий уплаты имущественных налогов; снижение в регионах налоговых ставок по упрощенной системе налогообложения; снижение размера страховых взносов; субсидии на выплату заработной платы в размере МРОТ; освобождение и отсрочка от ряда налогов и страховых взносов; перенос срока сдачи налоговой отчетности; реструктуризация и получение кредитов по льготным ставкам; снижение и отсрочка по платежам по аренде государственных и муниципальных площадей и пр. [5, 51].

Несмотря на вынужденные меры со стороны Правительства Российской Федерации, коронакризис 2020 г. существенно повлиял на ведение бизнеса. Около 75 % российских предприятий так или иначе пострадали в ходе пандемии, у половины из данных субъектов хозяйствования выручка из-за снижения спроса на продукцию снизилась до 30 %, часть субъектов хозяйствования (3 %) закрыли свой бизнес [10]. Проблемы остаются и главным образом заключаются в том, что не все предприниматели смогли воспользоваться мерами господдержки, отчасти ввиду того, что данные меры доступны отраслям, официально признанным пострадавшими [5, 10].

Коронакризис 2020 г. стал и периодом возможностей. Компании, которые на протяжении последних лет вкладывали средства в развитие своей цифровой среды, оказались в некоторой степени подготовленными к нему. Пандемия существенно ускорила процесс цифровизации общества, став во многих сферах жизненно необходимой, например: в сфере торговли рост онлайн-продаж составил 70 %, когда оборот розничной торговли показал отрицательную динамику. Социальная изоляция дала перспективы для развития и появления дополнительных возможностей в сфере образования при применении информационных технологий; компании, оказывающие IT-услуги, смогли без потерь перевести сотрудников на дистанционный формат работы, при этом сократив свои издержки, связанные с арендой помещений. 2020 г. научил бизнес быть гибким, уметь перенастраивать внутренние процессы для оптимизации расходов [51, 52].

Заключение

Российская экономика к коронакризису 2020 г. была подготовлена гораздо лучше, чем к валютному кризису 2014–2015 гг. или к мировому финансовому кризису 2008 г., главным образом за счет создания в течение последних пяти лет особых финансово-экономических институтов, позволивших российской экономической системе оперативно, автоматически (недискреционно) и эффективно реагировать на внешние экономические шоки. Политические меры Российской Федерации и зарубежных государств направлены на выход из экономического кризиса, подъем производства и рост доходности преимущественно путем облегчения налогового бремени бизнес-структур, обеспечение экономической безопасности в финансово-кредитной и инвестиционной сферах. Выбранный курс посткризисного развития экономической ситуации позволит обеспечить баланс доходности бюджетов страны и собственных ресурсов субъектов хозяйствования.

Список литературы

1. Пильникова И. Ф., Горбунова О. С., Крохалев А. А., Пильников Л. Н. Последствия пандемии коронавируса для экономики страны // Образование и право. 2020. № 8. С. 182–187.
2. Берлин С. И., Берлина С. Х. Тенденции обеспечения экономической безопасности в условиях пандемии коронавирусной инфекции // Вестник Академии знаний. 2020. № 4 (39). С. 88–96.
3. Смирнов Е. Н. «Мировая экономика коронавируса»: поиск оптимальных путей преодоления последствий кризиса // Вестник МГИМО-университета. 2020. № 3 (72). С. 243–266.

4. Симэн Е., Шерешева М. Ю. Государственная политика КНР в отношении китайских малых и средних предприятий в условиях пандемии COVID-19 // Государственное управление. Электронный вестник. 2020. № 79. С. 26–52.
5. COVID-19. Последствия для бизнеса и экономики. Приложение к докладу Президенту Российской Федерации. 2020. URL: doklad.ombudsmanbiz.ru/2020/7.pdf (дата обращения: 10.03.2021).
6. Перечень отраслей российской экономики, в наибольшей степени пострадавших в условиях ухудшения ситуации в результате распространения новой коронавирусной инфекции. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/perechen_otrasley_ekonomiki_postradavshih_v_rezultate_rasprostraneniya_koronavirusnoy_infekcii.html (дата обращения: 10.03.2021).
7. Определен перечень наиболее пострадавших от коронавируса отраслей экономики. URL: https://www.nalog.ru/rn77/news/activities_fts/9704633/ (дата обращения: 10.03.2021).
8. Oil Market Report // International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/topics/oil-market-report> (дата обращения: 08.03.2021).
9. Цены нефти марки Urals: 2000–2021 // IFinance. URL: <http://global-finances.ru/tsena-nefti-marki-urals-po-godam> (дата обращения: 08.03.2021).
10. Интервью: Борис Титов: на выборы могу пойти ради партии, но прежде всего я предприниматель и омбудсмен. URL: <https://ombudsmanbiz.ru/2020/12/intervju-boris-titov-na-vybory-mogu-poiti-radi-partii-no-prezhde-vsego-ja-predprinimatel-i-ombudsmen/#1> (дата обращения: 16.03.2021).
11. Найк-образный кризис. Владислав Иноземцев о том, почему после карантина экономика вырастет быстро // The Insider. URL: <https://theins.ru/opinions/inozemtsev/218414> (дата обращения: 16.03.2021).
12. Хамраева Х. Ш., Сюпова М. С. Экономический кризис: сущность, причины, последствия // Ученые заметки ТОГУ. 2017. Т. 8, № 4. С. 58–62.
13. Коптелов И. О. Экономический цикл и сущность его проявления // Вестник Челябинского государственного университета. 2012. № 10. С. 24–28.
14. Валютный кризис 2014–2015 годов. URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2015/01/12/valyutnyj-krizis-20142015-gg> (дата обращения: 25.03.2021).
15. Мировой финансовый кризис 2008 года и последствия для России. URL: <https://gia.ru/20130816/956672411.html> (дата обращения: 25.03.2021).
16. The economic recovery may be shaped like the Nike swoosh. URL: <https://edition.cnn.com/2020/05/06/investing/economic-recovery-nike-swoosh-shape/index.html> (дата обращения: 25.03.2021).
17. Hauk W. Will it be a ‘V’ or a ‘K’? The many shapes of recessions and recoveries // The Conversation. 2020. October, 13. URL: <https://theconversation.com/will-it-be-a-v-or-a-k-the-many-shapes-of-recessions-and-recoveries-147727> (дата обращения: 25.03.2021).
18. Оперативные показатели // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 08.03.2021).
19. Произведенный ВВП. Годовые данные по ОКВЭД 2 (КДЕС Ред. 2) (с 2011г.) // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/media-bank/APPO-mxE4/tab11-2.xlsx> (дата обращения: 18.03.2021).
20. Нефтеэкспорт в России в 2020 году // Информационно-аналитическое агентство SeaNews. URL: <https://seanews.ru/2021/02/24/ru-neftejeksport-rossii-2020-god-neft-v-dollarah-snizilas-na-40-4/> (дата обращения: 08.02.2021).
21. Экспорт Российской Федерации энергетических товаров // Банк России. URL: https://cbr.ru/statistics/macro_itm/svs/ (дата обращения: 08.03.2021).
22. Внешняя торговля товарами (по методологии платежного баланса) // Банк России. URL: https://cbr.ru/statistics/macro_itm/svs/ (дата обращения: 08.03.2021).

23. Оганесян Г. Р. Политика регулирования валютного курса в России в 2014–2018 гг. // Вестник Института экономики РАН. 2019. № 6. С. 152–161.
24. Прилепский И. В. Влияние бюджетных правил на волатильность обменных курсов // Финансовый журнал. 2018. № 6. С. 9–20.
25. Экономическая политика России. Турбулентное десятилетие 2008–2018. М. : Дело РАНХиГС, 2020. 760 с.
26. О рынке нефти в 2020 году // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/bg-d/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/-d02/33.htm (дата обращения: 08.03.2021).
27. Обменный курс рубля // Банк России. URL: https://cbr.ru/statisti-cs/macro_itm/svs/ (дата обращения: 08.03.2021).
28. Картаев Ф. С., Якимова Ю. И. Влияние инфляционного таргетирования на эффект переноса валютного курса // Вопросы экономики. 2018. № 11. С. 70–84.
29. Трунин П. В., Божечкова А. В., Горюнов Е. Л. [и др.]. Выгоды и издержки инфляционного таргетирования в России. М. : Дело РАНХиГС, 2019. 60 с. (Научные доклады: экономика).
30. Хотулев И. Зависимость эффекта переноса валютного курса в России от экономических шоков : аналитическая записка / Центральный Банк Российской Федерации. М., 2020. 16 с.
31. Краткая информация об исполнении федерального бюджета // Министерство финансов России. URL: <https://minfin.gov.ru/ru/statistics-/fedbud/> (дата обращения: 08.03.2021).
32. Государственный долг Российской Федерации // Министерство финансов России. URL: https://minfin.gov.ru/ru/statistics/fedbud/gov_debt/ (дата обращения: 08.03.2021).
33. Текущие ставки центральных банков мира // Investing.com. URL: <https://ru.investing.com/central-banks/> (дата обращения: 08.03.2021).
34. Бурлачков В. К. Отрицательные процентные ставки как следствие трансформации денежного механизма современной экономики: обзор литературы // Финансы и кредит. 2020. Т. 26, № 4. С. 856–873.
35. В ожидании инфляции: какие перспективы открывают сейчас товарные рынки? // Инвестиционная компания «АТОН». URL: <https://yandex.ru/search/?text=bail-out%20%D0%B2%202020-&lr=11098&-clid=1998814&win=312> (дата обращения: 16.03.2021).
36. Денежная база (в узком определении) // Банк России. URL: https://cbr.ru/hd_base/mb_nd/mb_nd_month/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.From=01.2019&UniDbQuery.To=03.2021 (дата обращения: 25.03.2021).
37. Денежная масса (национальное определение) // Банк России. URL: <https://cbr.ru/statistics/ms/> (дата обращения: 08.03.2021).
38. Сакс Дж. Д., Ларрен Ф. Б. Макроэкономика. Глобальный подход. М. : Дело, 1996. 560 с.
39. Об индексе потребительских цен в декабре 2020 года // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/uebсCjdf/1.pdf> (дата обращения: 29.03.2020).
40. Инфляционные ожидания и потребительские настроения / Банк России // Информационно-аналитический комментарий Банка России. 2021. № 1. URL: https://cbr.ru/Collection/Collection/File/319-48/Infl_-exp_21-01.pdf (дата обращения: 08.03.2021).
41. Индекс продовольственных цен // Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. URL: <http://www.fao.org/world-foodsituation/foodpricesindex/ru/> (дата обращения: 08.03.2021).
42. Мировые и отраслевые индексы // Investing.com. URL: <https://ru.investing.com/indices/world-indices> (дата обращения: 08.03.2021).

43. Статистические сведения по миграционной ситуации // МВД РФ. URL: <https://xn--b1aew.xn--plai/Deljatelnost/statistics/migracionnaya> (дата обращения: 08.03.2021).
44. Трудовые ресурсы // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/labour_force (дата обращения: 27.03.2021).
45. Доходы, расходы и сбережения населения // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397?print=1> (дата обращения: 28.03.2021).
46. Банкротства в России: итоги 2020 года. Статистический релиз Федресурса // Федресурс онлайн. URL: <https://fedresurs.ru/news/e3fc79ce-fd38-432f-ab08-8c1561b1b7cb?attempt=1> (дата обращения: 28.03.2021).
47. Бадеева Е. А., Кидряева А. И. Инициирование процедуры банкротства налоговыми органами // Модели, системы, сети в экономике, природе и обществе. 2020. № 3. С. 5–20.
48. Социально-экономическое положение федеральных округов – 2018 г. // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b20_20/Main.htm (дата обращения: 28.03.2020).
49. Социально-экономическое положение федеральных округов – 2019 г. // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b20_20/Main.htm (дата обращения: 28.03.2020).
50. Социально-экономическое положение федеральных округов – 2020 г. // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b20_20/Main.htm (дата обращения: 28.03.2020).
51. Итоги 2020 года: вызовы и новые возможности для бизнеса. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4636944#id1997297> (дата обращения: 28.03.2020).
52. Итоги года – как закалялся российский бизнес в 2020 году. URL: <https://ria.ru/20201223/biznes-1590502782.html> (дата обращения: 28.03.2020).

References

1. Pil'nikova I.F., Gorbunova O.S., Krokhalev A.A., Pil'nikov L.N. The consequences of the coronavirus pandemic for the country's economy. *Obrazovanie i pravo = Education and Law*. 2020;(8):182–187. (In Russ.)
2. Berlin S.I., Berlina S.Kh. Trends of economic security in the conditions of the pandemic coronavirus infection. *Vestnik Akademii znaniy = Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2020;(4):88–96. (In Russ.)
3. Smirnov E.N. "The global economy of the coronavirus": the search for optimal ways of overcoming the consequences of the crisis. *Vestnik MGIMO-universiteta = Bulletin of MGIMO University*. 2020;(3):243–266. (In Russ.)
4. Simen E., Sheresheva M.Yu. State policy of the People's Republic of China in relation to Chinese small and medium-sized enterprises in the context of the COVID-19 pandemic. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyy vestnik = State Administration. Electronic Bulletin*. 2020;(79):26–52. (In Russ.)
5. *COVID-19. Posledstviya dlya biznesa i ekonomiki. Prilozhenie k dokladu Prezidentu Rossiyskoy Federatsii = Consequences for business and the economy. Annex to the report to the President of the Russian Federation*. 2020. (In Russ.). Available at: doklad.ombudsmanbiz.ru/2020/7.pdf (accessed 10.03.2021).
6. *Perechen' otrasley rossiyskoy ekonomiki, v naibol'shey stepeni postradavshikh v usloviyakh ukhudsheniya situatsii v rezul'tate rasprostraneniya novoy koronavirusnoy infektsii = The list of sectors of the Russian economy that have been most affected by the deterioration of the situation as a result of the spread of a new coronavirus infection*. (In Russ.). Available at: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/perechen_otrasley_ekonomiki_postradavshih_v_rezultate_rasprostraneniya_koronavir_umnoy_infekcii.html (accessed 10.03.2021).

7. *Opredelen perechen' naibolee postradavshikh ot koronavirusa otrasley ekonomiki = The list of the most affected sectors of the economy by the coronavirus has been determined.* (In Russ.). Available at: https://www.nalog.ru/rn77/news/activities_fts/9704633/ (accessed 10.03.2021).
8. Oil Market Report. *International Energy Agency.* Available at: <https://www.iea.org/topics/oil-market-report> (accessed 08.03.2021).
9. Urals oil prices: 2000–2021. *IFinance.* (In Russ.). Available at: <http://global-finances.ru/tsena-nefti-marki-urals-po-godam> (accessed 08.03.2021).
10. *Interv'yu: Boris Titov: na vybory mogu poyti radi partii, no prezhde vsego ya predprinimatel' i ombudsmen = Interview: Boris Titov: I can go to the elections for the sake of the party, but first of all I am an entrepreneur and an ombudsman.* (In Russ.). Available at: <https://ombudsmanbiz.ru/2020/12/intervju-boris-titov-na-vybory-mogu-pojti-radi-partii-no-prezhde-vsego-ja-predprinimatel-i-ombudsmen/#1> (accessed 16.03.2021).
11. Nike-shaped crisis. Vladislav Inozemtsev on why the economy will grow quickly after quarantine. *The Insider.* (In Russ.). Available at: <https://theins.ru/opinions/inozemtsev/218414> (accessed 16.03.2021).
12. Khamraeva Kh.Sh., Syupova M.S. The economic crisis: the essence, causes, consequences. *Uchenye zametki TOGU = Scientific notes of TOGU.* 2017;8(4):58–62. (In Russ.)
13. Koptelov I.O. The economic cycle and the essence of its manifestation. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Chelyabinsk State University.* 2012;(10):24–28. (In Russ.)
14. *Valyutnyy krizis 2014–2015 godov = The currency crisis of 2014–2015.* (In Russ.). Available at: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2015/01/12/valyutnyj-krizis-20142015-gg> (accessed 25.03.2021).
15. *Mirovoy finansovyy krizis 2008 goda i posledstviya dlya Rossii = The global financial crisis of 2008 and the consequences for Russia.* (In Russ.). Available at: <https://ria.ru/20130816/956672411.html> (accessed 25.03.2021).
16. *The economic recovery may be shaped like the Nike swoosh.* Available at: <https://edition.cnn.com/2020/05/06/investing/economic-recovery-nike-swoosh-shape/index.html> (accessed 25.03.2021).
17. Hauk W. Will it be a ‘V’ or a ‘K’? The many shapes of recessions and recoveries. *The Conversation.* 2020. October, 13. Available at: <https://theconversation.com/will-it-be-a-v-or-a-k-the-many-shapes-of-recessions-and-recoveries-147727> (accessed 25.03.2021).
18. Operational indicators. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service.* (In Russ.). Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed 08.03.2021).
19. GDP produced. Annual data on OKVED 2 (KDES Ed. 2) (since 2011). *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service.* (In Russ.). Available at: <https://rosstat.gov.ru/storage/media-bank/APP0-mxE4/tab11-2.xlsx> (accessed 18.03.2021).
20. Oil export in Russia in 2020. *Informatsionno-analiticheskoe agentstvo SeaNews = Information and Analytical Agency SeaNews.* (In Russ.). Available at: <https://seanews.ru/2021/02/24/ru-neftejeksport-rossii-2020-god-neft-v-dollarah-snizilas-na-40-4/> (accessed 08.02.2021).
21. Export of energy goods to the Russian Federation. *Bank Rossii = Bank of Russia.* (In Russ.). Available at: https://cbr.ru/statistics/macro_itm/svs/ (accessed 08.03.2021).
22. Foreign trade in goods (according to the methodology of the balance of payments). *Bank Rossii = Bank of Russia.* (In Russ.). Available at: https://cbr.ru/statistics/macro_itm/svs/ (accessed 08.03.2021).

23. Oganesyanyan G.R. Throttling policy exchange rate in Russia in 2014–2018. *Vestnik Instituta ekonomiki RAN = Bulletin of the Institute of Economics*. 2019;(6):152–161. (In Russ.)
24. Prilepskiy I.V. Influence of fiscal rules on the volatility of the exchange CSD-owls. *Finansovyy zhurnal = Financial magazine*. 2018;(6):9–20. (In Russ.)
25. *Ekonomicheskaya politika Rossii. Turbulentnoe desyatiletie 2008–2018 = Economic policy of Russia. The turbulent decade 2008–2018*. Moscow: Delo RANKhiGS, 2020:760. (In Russ.)
26. About the oil market in 2020. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service*. (In Russ.). Available at: https://www.gks.ru/bg-d/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/-d02/33.htm (accessed 08.03.2021).
27. The exchange rate of the ruble. *Bank Rossii = Bank of Russia*. (In Russ.). Available at: https://cbr.ru/statisti-cs/macro_itm/svs/ (accessed 08.03.2021).
28. Kartaev F.S., Yakimova Yu.I. The impact of inflation targeting on the effect of exchange rate transfer. *Voprosy ekonomiki = Economic issues*. 2018;(11):70–84. (In Russ.)
29. Trunin P.V., Bozhechkova A.V., Goryunov E.L. [et al]. *Vygody i izderzhki inflatsionnogo targetirovaniya v Rossii = Benefits and costs of inflationary targeting in Russia*. Moscow: Delo RANKhiGS, 2019:60. (In Russ.)
30. Khotulev I. *Zavisimost' efekta perenosa valyutnogo kursa v Rossii ot ekonomicheskikh shokov: analiticheskaya zapiska = Dependence of the effect of the exchange rate transfer in Russia on economic shocks : analytical note*. Tsentral'nyy Bank Rossiyskoy Federatsii. Moscow, 2020:16. (In Russ.)
31. Brief information on the execution of the federal budget. *Ministerstvo finansov Rossii = Ministry of Finance of Russia*. (In Russ.). Available at: <https://minfin.gov.ru/statistics-/fedbud/> (accessed 08.03.2021).
32. The state debt of the Russian Federation. *Ministerstvo finansov Rossii = Ministry of Finance of Russia*. (In Russ.). Available at: https://minfin.gov.ru/ru/statistics/fedbud/gov_debt/ (accessed 08.03.2021).
33. Current rate of the Central banks of the world. *Investing.com*. (In Russ.). Available at: <https://ru.investing.com/central-banks/> (accessed 08.03.2021).
34. Burlachkov V.K. Negative interest rates as a consequence of the transformation of the monetary mechanism of the modern economy: a literature review. *Finansy i kredit = Finance and credit*. 2020;26(4):856–873. (In Russ.)
35. Waiting for inflation: what prospects are the commodity markets opening up now? *Investitsionnaya kompaniya «ATON» = Investment company "ATON"*. (In Russ.). Available at: <https://yandex.ru/search/?text=bail-out%20%D0%B2%202020-&lr=11098&-clid=1998814&win=312> (accessed 16.03.2021).
36. Monetary base (in a narrow definition). *Bank Rossii = Bank of Russia*. (In Russ.). Available at: https://cbr.ru/hd_base/mb_nd/mb_nd_month/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.From=01.2019&UniDbQuery.To=03.2021 (accessed 25.03.2021).
37. Money supply (national definition). *Bank Rossii = Bank of Russia*. (In Russ.). Available at: <https://cbr.ru/statistics/ms/> (accessed 08.03.2021).
38. Saks Dzh.D., Larren F.B. *Makroekonomika. Global'nyy podkhod = Macroeconomics. Global approach*. Moscow: Delo, 1996:560. (In Russ.)
39. About the consumer price index in December 2020. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service*. (In Russ.). Available at: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ue6cCjdf1.pdf> (accessed 29.03.2020).
40. Inflation expectations and consumer sentiment. *Informatsionno-analiticheskiy komentariy Banka Rossii = Information and analytical commentary of the Bank of Russia*. 2021;(1). (In Russ.). Available at: https://cbr.ru/Collection/Collection/Fi-le/319-48/Infl_-exp_21-01.pdf (accessed 08.03.2021).

41. Food price Index. *Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya organizatsiya OON = Food and Agriculture Organization of the United Nations*. (In Russ.). Available at: <http://www.fao.org/world-foodsituation/foodpricesindex/ru/> (accessed 08.03.2021).
42. World and industry indices. *Investing.com*. (In Russ.). Available at: <https://ru.investing.com/indices/world-indices> (accessed 08.03.2021).
43. Statistical information on the migration situation. *MVD RF = The Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*. (In Russ.). Available at: <https://xn--blaew.xn--plai/Deljatelnost/statistics/migracionnaya> (accessed 08.03.2021).
44. Labor resources. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service*. (In Russ.). Available at: https://rosstat.gov.ru/labour_force (accessed 27.03.2021).
45. Income, expenses and savings of the population. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service*. (In Russ.). Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397?print=1> (accessed 28.03.2021).
46. Bankruptcy in Russia: the results of 2020. Statistical release of Fedresurs. *Fedresurs onlayn = Fedresurs online*. (In Russ.). Available at: <https://fedresurs.ru/news/e3fc79ce-fd38-432f-ab08-8c1561b1b7cb?attempt=1> (accessed 28.03.2021).
47. Badeeva E.A., Kidryaeva A.I. Initiation of bankruptcy proceedings by tax authorities. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in the economy, nature and society*. 2020;(3):5–20. (In Russ.)
48. Socio-economic situation of the federal districts – 2018. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service*. (In Russ.). Available at: https://gks.ru/bgd/regl/b20_20/Main.htm (accessed 28.03.2020).
49. Socio-economic situation of the federal districts – 2019. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service*. (In Russ.). Available at: https://gks.ru/bgd/regl/b20_20/Main.htm (accessed 28.03.2020).
50. Socio-economic situation of the federal districts – 2020. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service*. (In Russ.). Available at: https://gks.ru/bgd/regl/b20_20/Main.htm (accessed 28.03.2020).
51. *Itogi 2020 goda: vyzovy i novye vozmozhnosti dlya biznesa = Results of 2020: challenges and new business opportunities*. (In Russ.). Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/4636944#id1997297> (accessed 28.03.2020).
52. *Itogi goda – kak zakalyalsya rossiyskiy biznes v 2020 godu = Results of the year – how the Russian business was tempered in 2020*. (In Russ.). Available at: <https://ria.ru/20201223/biznes-1590502782.html> (accessed 28.03.2020).

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Александровна Бадеева
 доктор технических наук, профессор
 кафедры бухгалтерского учета,
 налогообложения и аудита,
 Пензенский государственный университет
 (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
 E-mail: badeeva_elena@mail.ru

Elena A. Badeeva
 Doctor of technical sciences, professor
 of the sub-department of accounting,
 taxation and auditing,
 Penza State University
 (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Юлия Владимировна Малахова
 кандидат экономических наук, доцент
 кафедры бухгалтерского учета,
 налогообложения и аудита,
 Пензенский государственный университет
 (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
 E-mail: borisyilka@mail.ru

Yulia V. Malakhova
 Candidate of economic sciences,
 associate professor
 of the sub-department of accounting,
 taxation and auditing,
 Penza State University
 (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Михаил Юрьевич Тарасов
магистрант,
Финансовый университет
при Правительстве Российской
Федерации, Пензенский филиал
(Россия, г. Пенза, ул. Калинина, 33Б)
E-mail: michatarasov@rambler.ru

Mikhail Yu. Tarasov
Master degree student,
Financial University
under the Government
of the Russian Federation, Penza branch
(33B Kalinina street, Penza, Russia)

Светлана Александровна Барбашова
кандидат экономических наук, доцент,
заведующий кафедрой
экономики и финансов,
Финансовый университет
при Правительстве Российской
Федерации, Пензенский филиал
(Россия, г. Пенза, ул. Калинина, 33Б)
E-mail: cdtnf051178@yandex.ru

Svetlana A. Barbashova
Candidat of economic sciences,
associate professor,
head of the sub-department
of economics and finance,
Financial University
under the Government
of the Russian Federation, Penza branch
(33B Kalinina street, Penza, Russia)

СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗАСТРОЙЩИКОВ В ЖИЛИЩНОЙ СФЕРЕ

Т. В. Учинина¹, Е. А. Горбунова², А. С. Пышная³

^{1,2,3} Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия
¹ tatiana-Vladim@yandex.ru, ² gorbunova.evgen.98@mail.ru, ³ alena122q@icioud.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность исследования обусловлена значительным замедлением темпов жилищного строительства, что ведет к неспособности удовлетворения одной из важнейших потребностей населения – в жилье. Рынок жилья – это потенциально значимый объект денежных инвестиций населения, способный оказать положительное влияние на экономику России в целом и города Пензы в частности. Целью исследования является анализ показателей деятельности застройщиков жилищной сферы и качественных характеристик жилья с последующим выявлением тенденций развития рынка. *Материалы и методы.* Исследование проведено в четыре этапа: анализ и обобщение показателей деятельности застройщиков г. Пензы по объему текущего жилищного строительства (использованы данные национального объединения застройщиков жилья на 01.05.2020); анализ и обобщение показателей деятельности застройщиков г. Пензы по объему ввода жилья (по данным национального объединения застройщиков жилья за 2019 г); исследование качественных и ценовых параметров жилых объектов в стадии строительства (по данным открытых источников); прогнозирование тенденций развития рынка. Применены методы наблюдения, логического анализа и синтеза. *Результаты.* Представлены результаты анализа деятельности застройщиков Пензенского региона по показателям «Объем текущего жилищного строительства», «Объем ввода жилья», «Объем текущего строительства и ввода жилья с переносом срока», дана аналитическая справка по качественным и ценовым параметрам жилых объектов в стадии строительства. *Выводы.* Основными тенденциями развития первичного рынка недвижимости Пензенского региона на предстоящие периоды будут: строительство жилья эконом- и комфорт-классов как наиболее востребованного; рост цен на недвижимость; развитие застройщиками внутренних систем кредитования с целью повышения доступности и увеличения его ликвидности.

Ключевые слова: застройщик, девелопер, рынок жилья, жилищное строительство

Для цитирования: Учинина Т. В., Горбунова Е. А., Пышная А. С. Ситуационный анализ показателей деятельности застройщиков в жилищной сфере // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 30–49. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-2

SITUATIONAL ANALYSIS OF DEVELOPERS' PERFORMANCE INDICATORS IN THE HOUSING SECTOR

T.V. Uchinina¹, E.A. Gorbunova², A.S. Pyshnaya³

^{1,2,3} Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia
¹ tatiana-Vladim@yandex.ru, ² gorbunova.evgen.98@mail.ru, ³ alena122q@icioud.com

Abstract. *Background.* The relevance of the study is due to a significant slowdown in the pace of housing construction, which leads to the inability to meet one of the most important needs of the population – housing. The housing market can be a potentially significant object of monetary investment by the population, which can have a positive impact on the economy of Russia in general and the city of Penza in particular. The purpose of the research is to analyze the performance indicators of housing developers and the quality characteristics of housing, followed by forecasting market trends. *Materials and methods.* The study was carried out in four stages: analysis and generalization of the performance indicators of Penza developers in terms of the volume of current housing construction (data from the national association of housing developers as of 01.05.2020 were used); analysis and generalization of performance indicators of Penza developers in terms of housing commissioning (according to the national association of housing developers for 2019); research of quality and price parameters of residential properties under construction (according to open sources); forecasting market development trends. Methods of observation, logical analysis and synthesis are applied. *Results.* The results of the analysis of the activities of developers of the Penza region in terms of "Volume of current housing construction", "Volume of housing commissioning", "Volume of current construction and commissioning of housing with postponement", analytical information on the quality and price parameters of residential properties under construction are presented. *Conclusions.* The main trends in the development of the primary real estate market in the Penza region for the coming periods will be: construction of economy and comfort class housing as the most demanded; rise in property prices; development of internal system of lending by developers in order to increase availability and increase its liquidity.

Keywords: builder, developer, housing market, housing construction

For citation: Uchinina T.V., Gorbunova E.A., Pyshnaya A.S. Situational analysis of developers' performance indicators in the housing sector. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;2:30–49. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-2

Введение

Актуальность исследования обусловлена значительным замедлением темпов жилищного строительства, что ведет к неспособности удовлетворения одной из важнейших потребностей населения – в жилье. Рынок жилья – это потенциально значимый объект денежных инвестиций населения, способный оказать положительное влияние на экономику России в целом и города Пензы в частности. Рынок жилой недвижимости из года в год подвергается воздействию неблагоприятных факторов, обусловленных разного рода кризисными ситуациями в мире:

2008 г. – мировой финансовый кризис, приведший к обрушению цен на рынке недвижимости России;

2014 г. – кризис в экономике, обусловленный резким падением цен на нефть и введением санкций в отношении нашей страны в связи с развитием военных действий на Украине, что отразилось на объемах жилищного строительства в РФ, привело к снижению цен на рынке недвижимости, финансовой нестабильной ситуации строительных организаций, появлению долгостроев;

2020 г. – кризисные явления, обусловленные пандемией. Сфера жилищного строительства оказалась одной из наиболее подверженных неблагоприятным воздействиям отраслей в результате снижения платежеспособного спроса населения.

Все перечисленное обуславливает необходимость детального анализа показателей работы строительных организаций, действующих в жилищном сегменте. Кроме того, необходимы также исследования и прогнозы развития рынка недвижимости с целью выработки стратегических направлений его поддержки как в целом по Российской Федерации, так и в регионах.

Цель исследования – анализ показателей деятельности застройщиков жилищной сферы и качественных характеристик жилья с последующим выявлением тенденций развития рынка.

Гипотеза исследования – анализ результатов оценки количественных и качественных показателей деятельности застройщиков на первичном рынке позволяет выявить тенденции его развития, что ведет к информированности потребителей строительной продукции (жилья) и обеспечению устойчивого платежеспособного спроса.

Строительные организации города Пензы и предлагаемая ими строительная продукция (жилье) выступают *объектом исследования*. *Предметом исследования* являются экономические и управленческие процессы при реализации девелоперского жилищного проекта.

Обзор литературы

В жилищной сфере выполнено достаточно разноплановых исследований, в том числе исследований рынка недвижимости (как первичного, так и вторичного), а также показателей деятельности строительных организаций (табл. 1, 2).

Таблица 1

Результаты анализа научно-практических исследований
в области управления девелоперскими проектами в жилищном
строительстве с целью повышения платежеспособного спроса

Представители	Год	Основные результаты
1	2	3
1. Акулова И. И. [1]	2017	В работе намечены основные методы исследований предпочтений потребителей на рынке. К ним согласно результатам исследования автора относятся площадь и планировка жилья, расположение в городской среде, обеспеченность социальными объектами инфраструктуры, конструктивные особенности здания, степень готовности объекта и др.
2. Алексеев А. О., Галиаскаров Э. Р. [2]	2018	В качестве одного из методов уменьшения рисков застройщика в начале продаж жилых объектов предлагается проектирование объекта недвижимости, которое осуществляется на предынвестиционной стадии (предпроектные работы) и включает в себя анализ рынка недвижимости и выделение ключевых предпочтений потребителей, в результате чего формируется вариант наиболее ликвидной концепции недвижимости
3. Амбарцумян С. Г., Багинова В. М. [3]	2015	Особое внимание в работе уделено ипотечным программам и индивидуальному подходу к приобретателю недвижимости с целью повышения платежеспособного спроса

1	2	3
4. Вотолевский В. Л. [4]	2009	Изучены методы повышения деловой активности застройщиков в неблагоприятных условиях, при этом сделан акцент на повышение платежеспособного спроса
5. Грахов В. П., Мохначев С. А., Тарануха Н. Л., Пушкарев В. О. [5]	2018	Поэтапно рассмотрена деятельность застройщика, дано заключение о необходимости разработки методов активизации строительной деятельности как важнейшего момента стимулирования развития первичного рынка недвижимости
6. Куричев Н. К., Куричева Е. К. [6]	2018	Выполнен анализ активности групп покупателей недвижимости в различных местах в структуре города-мегаполиса
7. Кучепатова Л. Г. [7]	2013	Территориальная среда обитания выступает главным фактором, влияющим на востребованность жилья
8. Малышев Д. П., Прокофьев Д. Ю., Моисеев В. А., Петрова О. С. [8]	2016	Монография посвящена развитию теории и методологии формирования и реализации жилищной политики на региональном уровне, включающих принципы, структуру, цели, методы, механизм реализации политики, содержащий в себе механизм финансирования инвестиционного процесса в жилищной сфере региона и предоставления мер государственной поддержки гражданам, нуждающимся в жилье
9. Симионова Н. Е. [9]	2019	Акцент сделан на конкурентное преимущество застройщика в сфере жилья в виде реализации экологической концепции жилья
10. Черняк В. З., Разин М. В. [10]	2013	Обозначена важность фундаментального стратегического подхода к формированию маркетинговой стратегии девелопера, которая должна состоять из нескольких этапов: анализ внешней и внутренней среды; выбор географической зоны, анализ конъюнктуры рынка, обоснование стратегической позиции и выбор стратегических альтернатив; постановка целей и миссии компании, реализация стратегии
11. Хиревич С. А. [11]	2017	В работе исследовано повышение капитализации недвижимости на всех этапах ее жизненного цикла в процессе осуществления инвестиционно-строительной деятельности на основе факторной реструктуризации, обеспечения нормативного уровня и экономически эффективной реализации комплексного потенциала качества городской среды

Помимо авторов, указанных в табл. 1, изучением вопросов управления недвижимостью и практической реализации девелоперских проектов жилищной сферы занимаются отечественные ученые С. А. Баронин [12, 13], В. В. Бредихин [14, 15], Н. И. Дмитриев [16], К. Ю. Кулаков [13] и др.

Основные научные результаты, представленные в научно-практических работах отечественных ученых, посвященных исследованию рынка недвижимости, рассмотрены в табл. 2.

Результаты анализа научно-практических исследований
в области применения различных подходов
к исследованию показателей рынка недвижимости

Представители	Год	Основные результаты
1. Казимиров И. А., Ощерин Л. А. [17]	2016	Проведено исследование зависимости цен на вторичном рынке жилой недвижимости г. Иркутска от мировых цен на нефть в целях проверки гипотезы существования связи рассматриваемых показателей и определения возможности прогноза цен на рынке недвижимости, сопоставлены среднегодовые и среднемесячные ценовые показатели с учетом пиковых и индикативных периодов
2. Хрусталева Б. Б., Горбунов В. Н., Мурсалимова Н. Н., Финаева А. А. [18]	2015	В статье рассмотрены перспективы решения жилищной проблемы – одной из ключевых социально-экономических задач, анализируются особенности рынка жилищного строительства в Приволжском федеральном округе, ценовые факторы, влияющие на состояние этого рынка. Выявляются причины отставания регионов округа от среднероссийских показателей. Кроме того, проводится анализ цен на первичном и вторичном рынках жилищного строительства. Показано, что различия в доходах населения частично объясняют дифференциацию в стоимости жилья на рынке, дополнительными факторами являются наличие значительной «спекулятивной составляющей» в формировании цен на жилье и наличие неудовлетворенного спроса
3. Бердникова В. Н., Коплик С. С. [19]	2016	В статье уточняется понятие рынка жилья, приводится описание взаимозависимости его сегментов: первичного и вторичного. Анализ тенденций развития ценовой ситуации на первичном и вторичном рынке жилья осуществляется на примере трех крупных городов Сибири: Иркутска, Красноярска и Новосибирска. Проведено исследование с помощью метода аналитического выравнивания, корреляционно-регрессионного моделирования, сформирована модель для прогноза ценовой ситуации на первичном и вторичном рынке жилья г. Иркутска исходя из показателей надежности
4. Молчанова М. Ю., Печенкина А. В. [20]	2011	Авторами данной статьи методы прогнозирования показателей рынка недвижимости региона систематизируются на основе общепринятых подходов к прогнозированию на фондовом рынке: фундаментального и технического анализа. При этом рассматриваются особенности адаптации существующих методов прогнозирования к рынку недвижимости, связанные в основном с локальным характером его развития (внутри региона). При прогнозировании показателей регионального рынка недвижимости предлагается использовать сочетание методов фундаментального и технического анализа с учетом психологических факторов

Результаты исследований состояния рынка недвижимости также представлены в работах М. М. Ахмадеевой и Д. Н. Андреевой [21], И. Ф. Гареева [22–24], Н. Я. Кузина [25], И. В. Поповой [26], Ю. О. Смирновой [27], С. Г. Стерника [24] и некоторых других авторов.

Однако, учитывая отсутствие системности жилищных исследований в нашей стране [22], анализ показателей деятельности застройщиков на уровне отдельного региона, их обобщение и систематизация являются необходимым звеном для формирования прогнозов развития отрасли.

Методы исследований

Исследование проведено в четыре этапа:

- анализ показателей деятельности застройщиков г. Пензы по показателю объема текущего жилищного строительства (использованы данные национального объединения застройщиков жилья (НОЗА) на 01.05.2020 [28]);
- анализ показателей деятельности застройщиков г. Пензы по объему ввода жилья (использованы данные НОЗА и данные Единого ресурса застройщика за 2019 г. [29]);
- исследование качественных и ценовых параметров жилых объектов в стадии строительства (по данным открытых источников: сайты девелоперских компаний, базы данных объявлений о продаже недвижимости);
- выявление тенденций развития первичного рынка недвижимости.

Для достижения результатов по каждому из этапов применены методы наблюдения, логического анализа и синтеза.

Результаты

Анализ показателей деятельности застройщиков г. Пензы по показателю объема текущего жилищного строительства

Рассмотрены показатели десяти девелоперов, входящих в верхнюю строчку рейтинга по исследуемому показателю.

Как видно из рис. 1, большую часть рейтинга занимают девелоперы Пензенской области, хотя представлены и застройщики, имеющие главный офис в г. Москве («Т-Строй», ГК «РКС Девелопмент»).

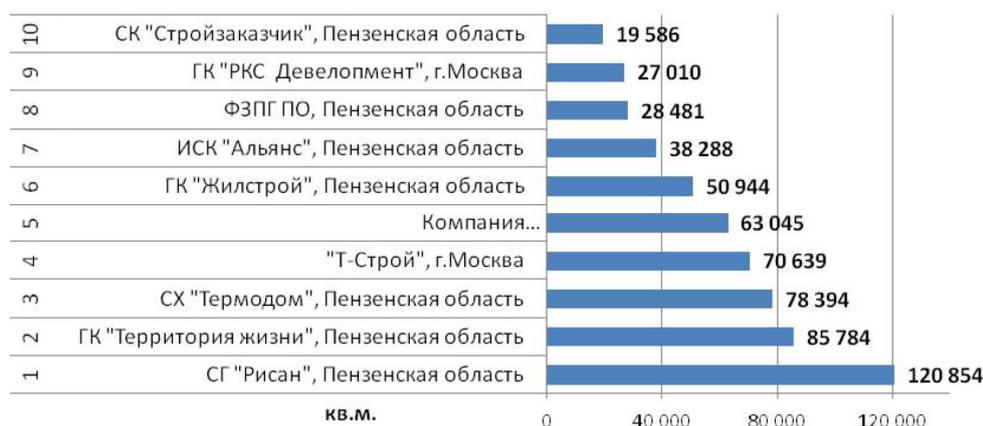


Рис. 1. Топ-10 девелоперов Пензенской области по объему текущего жилищного строительства на 01.05.2020 (источник: составлено авторами на основе данных, представленных национальным объединением застройщиков жилья (НОЗА))

Далее проведен анализ застройщиков из Топ-10 по показателю «Объем жилищного строительства с переносом срока» (% от общего объема) (рис. 2).



Рис. 2. Девелоперы Топ-10 по показателю «Объем жилищного строительства с переносом срока» (% от общего объема), на 01.05.2020 (источник: составлено авторами на основе данных, представленных национальным объединением застройщиков жилья (НОЗА))

Как видно из рис. 2, несмотря на то, что отдельные девелоперы занимают лидирующие позиции в Топ-10, показатель «Объем жилищного строительства с переносом срока» у некоторых из них достаточно высок. Это такие компании, как Т-Строй, Фонд защиты прав граждан Пензенской области (ФЗПГ ПО), инженерно-строительная компания «Альянс», группа компаний «РКС Девелопмент».

Компания «Рисан» входит в первые 200 застройщиков РФ, занимая 175 место (рис. 3).

Первый этап исследования показал, что, несмотря на кризисную ситуацию в отрасли, объем текущего жилищного строительства достаточно высок, хотя даже среди ведущих застройщиков региона есть организации, переносящие срок сдачи объектов в эксплуатацию.

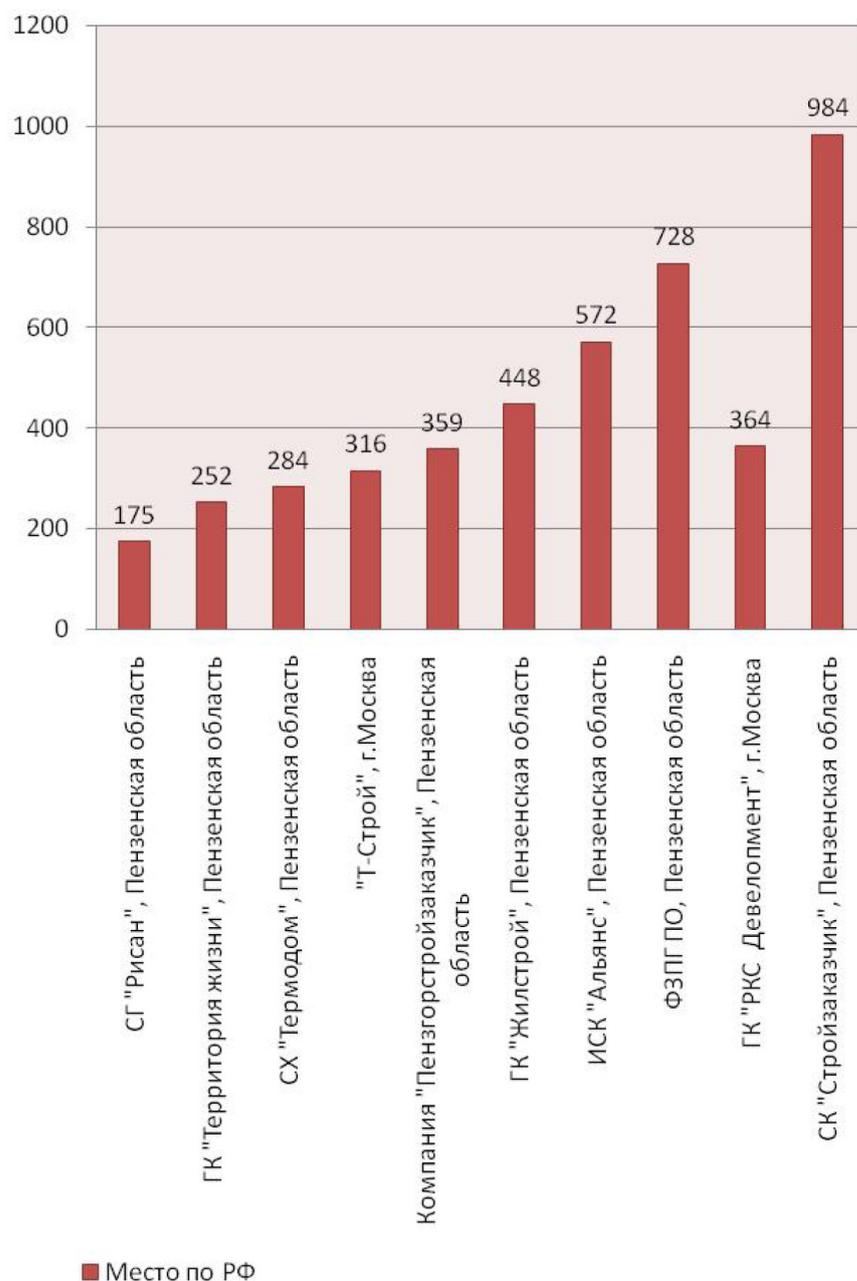


Рис. 3. Место застройщиков Пензенской области в общем рейтинге РФ по показателю текущего объема жилищного строительства, на 01.05.2020 (источник: составлено авторами на основе данных, представленных национальным объединением застройщиков жилья (НОЗА))

Анализ показателей деятельности застройщиков г. Пензы по объему ввода жилья

В исследование вошли данные по десяти крупнейшим компаниям Пензенского региона (рис. 4).

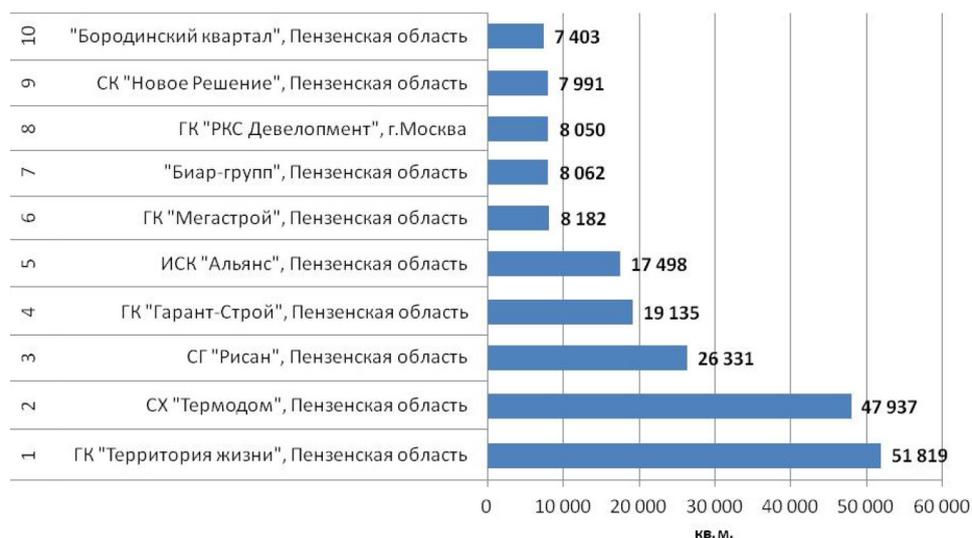


Рис. 4. Топ-10 девелоперов Пензенской области по объему ввода жилья за 2019 г. (источник: составлено авторами на основе данных, представленных национальным объединением застройщиков жилья (НОЗА))

Как видно из рис. 4, наибольший объем ввода жилья за 2019 г. у группы компаний «Территория жизни», занимающейся комплексной застройкой района «Дальнее Арбеково» и строительного холдинга «Термодом», осваивающего микрорайон «Спутник».

Далее проведен анализ застройщиков из Топ-10 по показателю «Объем ввода жилья с переносом срока» (% от общего объема) (рис. 5).

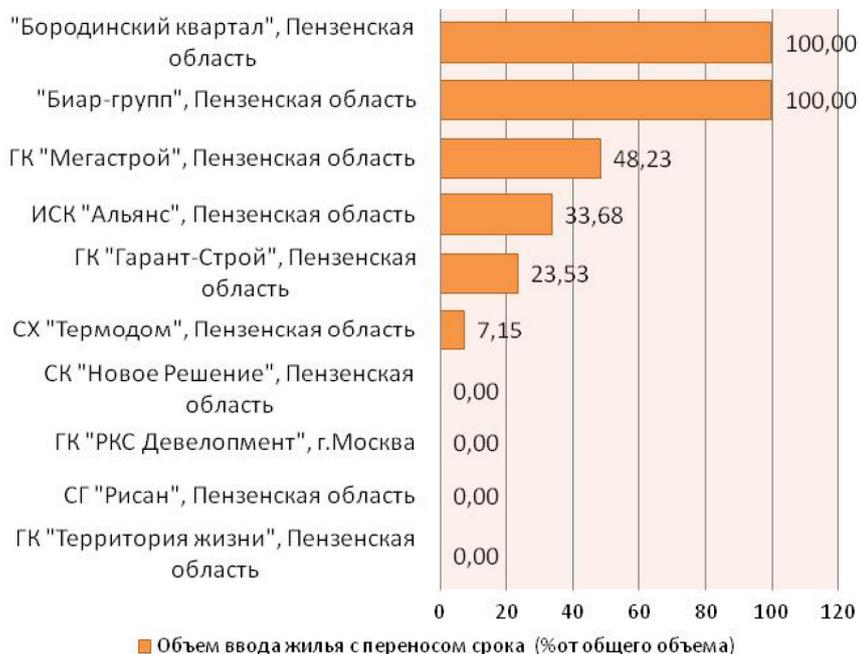


Рис. 5. Девелоперы Топ-10 по показателю «Объем ввода жилья с переносом срока» (% от общего объема), на 01.05.2020 (источник: составлено авторами на основе данных, представленных национальным объединением застройщиков жилья (НОЗА))

Как видно из рис. 5, несмотря на то, что отдельные девелоперы занимают лидирующие позиции в ТОП-10, показатель «Объем ввода жилья с переносом срока» у некоторых из них достаточно высок. Это такие компании, как Биар-груп, ГК «Мегастрой», ГК «Гарант-строй», СХ «Термодом».

Исследование качественных и ценовых параметров жилых объектов в стадии строительства

Аналитическая справка по качественным и ценовым параметрам жилых объектов в стадии строительства дана в табл. 3.

Таблица 3

Качественные и ценовые параметры объектов в стадии строительства (для застройщиков Пензенской области, входящих в первую пятерку по объему текущего жилищного строительства)

Наименование жилого комплекса	Наименование адресного объекта (улица)	Номер дома	Потребительский класс, указанный застройщиком	Материал наружных стен объекта	Минимальная цена 1 м ² всех квартир без учета скидок
1	2	3	4	5	6
Строительная группа «Рисан»					
Ближняя Веселовка	Тепличная	8	Эконом	кирпич	39 022
Новые сады	Победы	97А	Комфорт	монолит-кирпич	49 478
Фаворит	Мира	44А	Комфорт	монолит-кирпич	61 543
Олимп	Мира		Комфорт	кирпич	60 000
Олимп	Мира	74	Комфорт	кирпич	62 679
Квартет	Измайлова	58	Комфорт	монолит-кирпич	75 333
Квартет	Измайлова	58	Комфорт	монолит-кирпич	51 998
ГК «Территория жизни»					
Арбековская застава	Генерала Глазунова	17	Эконом	кирпич	53 000
Арбековская застава	65-летия Победы	27	Эконом	панель	52 000
Арбековская застава	65-летия Победы	31	Комфорт	кирпич	45 000
Арбековская застава	65-летия Победы	29	Комфорт	панель	61 000
Арбековская застава	65-летия Победы	11	Эконом	панель	37 000
Арбековская застава	65-летия Победы	11	Эконом	панель	37 000
СХ «Термодом»					
Спутник	Изумрудная	54	Комфорт	панель	43 188
Спутник	Засечное		Эконом	панель	42 165
8 марта	8 Марта		Эконом	кирпич	44 629
8 марта	8 Марта	31	Эконом	кирпич	46 345
Лесная симфония	Озерская	23	Эконом	кирпич	38 600

1	2	3	4	5	6
Созвездие	Засечное	–	Комфорт	монолит-кирпич	60 000
Созвездие	Засечное	–	Комфорт	монолит-кирпич	60 000
Т-Строй					
Арбековская застава	65-летия Победы	–	Комфорт	монолит-кирпич	45 000
Арбековская застава	65-летия Победы	–	Комфорт	монолит-кирпич	45 000
Арбековская застава	65-летия Победы	–	Комфорт	монолит-кирпич	38 500
Арбековская застава	65-летия Победы	–	Комфорт	панель	40 000
Компания «Пензгорстройзаказчик»					
Арбековский парк	65-летия Победы	16	Эконом	кирпич	44 600
Арбековский парк	65-летия Победы	–	Эконом	кирпич	36 000
Арбековский парк	Бутузова	3	Эконом	кирпич	42 000
Арбековский парк	Бутузова	5	Эконом	кирпич	38 000
Арбековский парк	Бутузова	5	Эконом	кирпич	38 000
Арбековский парк	Бутузова	7	Эконом	кирпич	38 000
Московская, 36	Московская	34, 36А	Элитный	монолит	71 941
Квартал 55	Максима Горького	11/44	Бизнес	кирпич	75 000

Первая компания, строительная группа «Рисан», в настоящее время ведет строительство пяти жилых комплексов: «Фаворит», «Новые сады», «Ближняя Веселовка», «Олимп», «Квартет». Наиболее дорогими являются квартиры в ЖК «Квартет». В основном потребительский класс, указанный застройщиком – Комфорт, жилье эконом-класса представлено в ЖК «Ближняя Веселовка».

Вторая компания – группа компаний «Территория жизни». Продолжается застройка микрорайона «Арбековская застава» (шесть многоквартирных домов). Потребительский класс, указанный застройщиком для трех из них – Комфорт, для двух – Эконом.

Третья компания – строительный холдинг «Термодом». В настоящее время она ведет строительство четырех жилых комплексов: «Спутник», «8 марта», «Лесная симфония» (г. Заречный), «Созвездие» (старт продаж намечен в ближайшее время). Потребительские классы, указанные застройщиком – Комфорт и Эконом.

Четвертая компания – «Т-Строй», которая ведет застройку микрорайона «Арбековская застава» (четыре многоквартирных дома комфорт-класса).

Пятая компания – «Пензгорстройзаказчик», ведет строительство трех жилых комплексов: «Арбеково-Парк» (шесть зданий класса «Эконом»), «Квартал 55» (класс – Бизнес) и жилой дом по ул. Московская, 36 (класс – Элит).

Цены на жилье распределяются в соответствии с его классом (рис. 6).

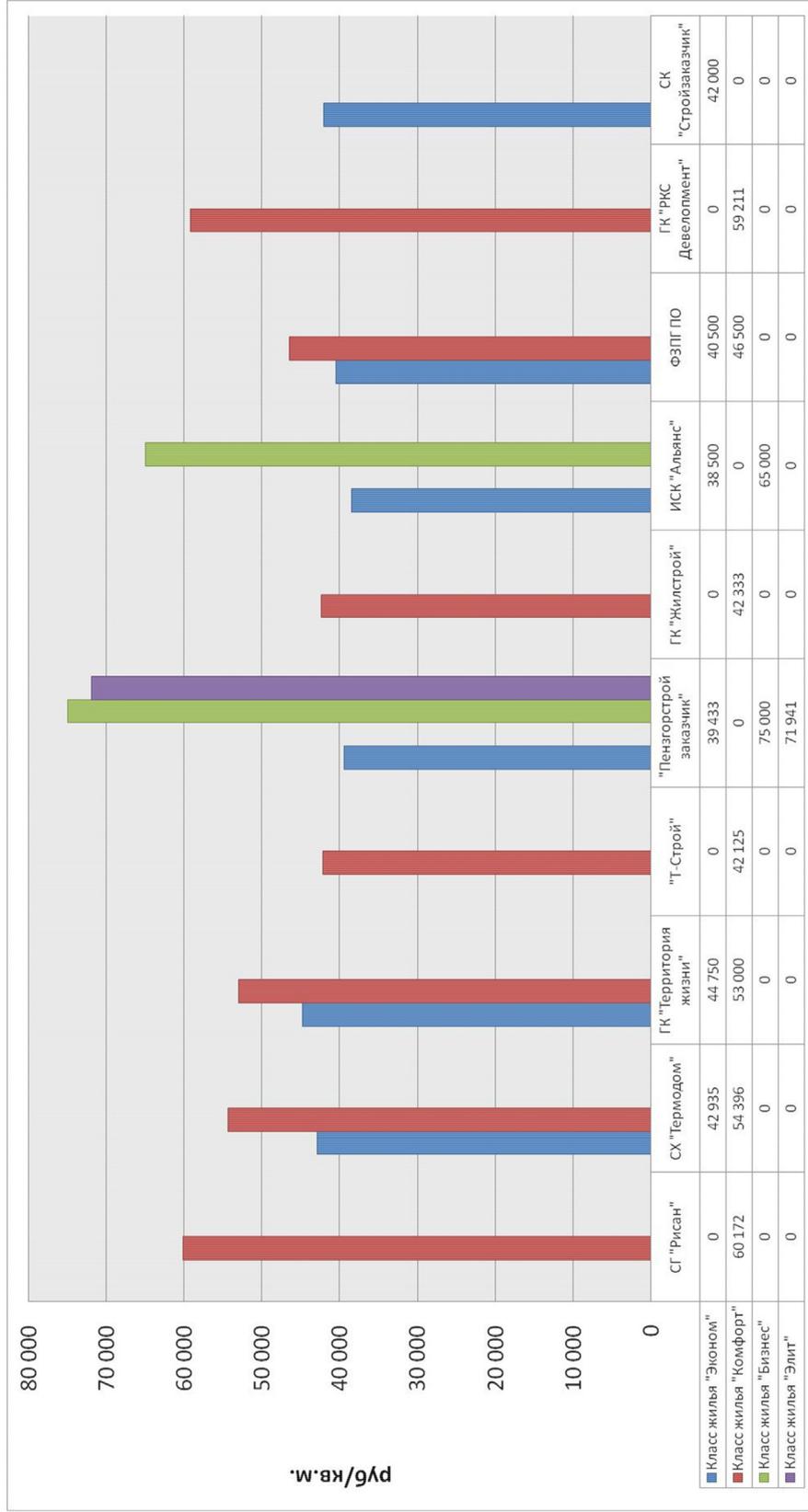


Рис. 6. Классификация ценовых показателей жилых объектов в зависимости от класса жилья (источник: составлено авторами на основе синтеза значений рыночной стоимости, полученных в результате анализа данных по рассмотренным девелоперским компаниям с учетом класса предлагаемого к продаже жилья)

Средняя цена продажи квартиры по застройщикам представлена на рис. 7.

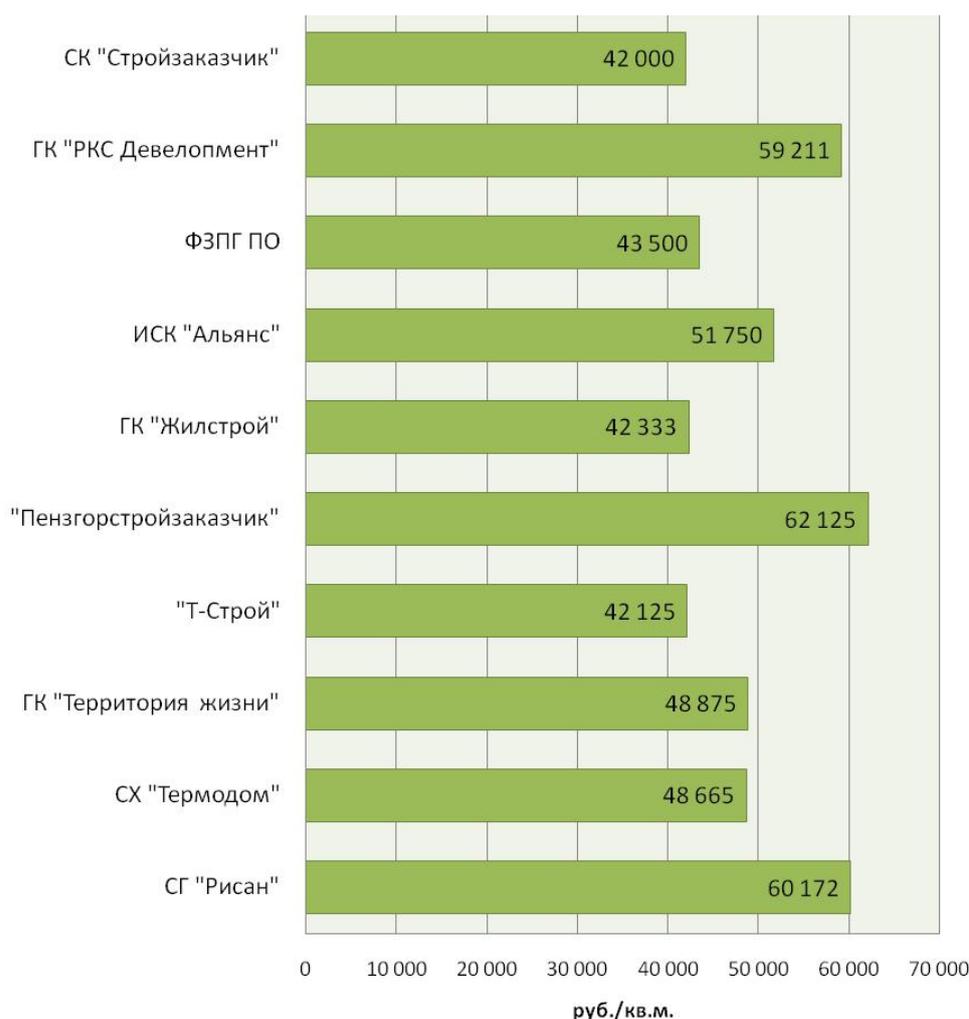


Рис. 7. Средняя цена продажи квартиры на первичном рынке г. Пензы (источник: составлено авторами на основе синтеза значений рыночной стоимости, полученных в результате анализа данных по рассмотренным девелоперским компаниям)

Выявление тенденций развития первичного рынка недвижимости

Развитие рынка зависит от многих факторов, однако одним из ключевых является уровень доходов населения, который обеспечивает платежеспособный спрос. Уровень доходов населения, качественный и ценовой состав предлагаемого застройщиками жилья находятся в постоянной стабильной взаимосвязи.

Стабилизация экономической ситуации в конкретном регионе, снижение уровня безработицы, повышение реальных доходов населения, доля трудоспособного населения определяют качественный состав недвижимости и ценовую политику девелоперских компаний при реализации строительной продукции.

Результаты анализа уровня доходов населения города Пензы представлены на рис. 8.



Рис. 8. Распределение населения г. Пензы по уровню доходов (источник: составлено авторами на основе обобщения статистических данных, представленных на сайте Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области [30])

При этом градация категорий выполнена по следующей шкале:

- к категории «нищие» отнесены семьи, имеющие доход ниже прожиточного минимума в расчете на одного члена семьи;
- к категории «бедные» отнесены семьи, имеющие доход в расчете на одного члена семьи от 10 000 до 15 000 руб.;
- к категории «среднеобеспеченные» отнесены семьи, имеющие доход в расчете на одного члена семьи от 15 000 до 50 000 руб.;
- к категории «обеспеченные» отнесены семьи, имеющие доход в расчете на одного члена семьи от 50 000 до 100 000 руб.;
- к категории «состоятельные» отнесены семьи, имеющие доход в расчете на одного члена семьи свыше 100 000 руб.

Можно сделать вывод о несостоятельном уровне платежеспособного спроса у 36 % граждан г. Пензы, это категории, выживающие в сложившихся условиях, – «нищие» и «бедные». Наибольший удельный вес в структуре доходов занимают среднеобеспеченные категории семей, которые смогут приобрести жилье класса «Эконом» и «Комфорт». Семьи, относящиеся к категориям «обеспеченные» и «состоятельные», имеют возможность купить жилье класса «Бизнес» и «Элит».

Перечисленные тенденции в целом совпадают с картиной, сложившейся на первичном рынке недвижимости г. Пензы. Наибольшую долю (более 90 %) на рынке первичной жилой недвижимости от ведущих застройщиков занимает жилье классов «Комфорт» и «Эконом», наименьшую – жилье классов «Бизнес» и «Элит» (рис. 9).



Рис. 9. Доля жилья разного качества на первичном рынке жилья г. Пензы

Минимальная цена 1 м² всех квартир без учета скидок по различным классам приведена на рис. 10.



Рис. 10. Минимальная цена 1 м² всех квартир без учета скидок по различным классам на первичном рынке г. Пензы (источник: составлено авторами на основе синтеза значений рыночной стоимости, полученных в результате анализа данных по рассмотренным девелоперским компаниям с учетом класса предлагаемого жилья)

Прогноз в отношении ценовых показателей рынка можно определить следующим образом: 2021 г. – значительный рост цен на объекты жилой недвижимости первичного рынка, поскольку государством введены новые меры поддержки семей с детьми, обеспечивающие платежеспособный спрос:

- изменение условий получения материнского капитала;
- поддержка семей при рождении третьего ребенка, заключающаяся в погашении задолженности по ипотечным кредитам в сумме 400 тыс. руб.;
- льготная ставка по ипотеке и рефинансирование ипотечных кредитов.

Кроме того, использование застройщиками эскроу-счетов, выполняющих функцию обеспечения по обязательствам застройщика, также предполагает рост цен на объекты жилой недвижимости первичного рынка, поскольку предусматривается оплата застройщиками процентов за использование кредитных ресурсов в случае отсутствия у компании собственных средств.

Заключение

На сегодняшний день на рынке многоэтажной жилой недвижимости г. Пензы осуществляют свою деятельность более 30 строительных компаний. В статье рассмотрены лишь застройщики, входящие в ТОП-10 основных застройщиков Пензенской области в сфере жилищного строительства. К таким организациям относятся строительная группа «Рисан», строительный холдинг «Термодом», группа компаний «Территория жизни», компании «Т-Строй», «Пензгорстройзаказчик», «Жилстрой», «Альянс», Фонд защиты прав граждан-участников долевого строительства Пензенской области (ФЗПГ ПО), «РКС Девелопмент», «Стройзаказчик».

Стагнация экономики, девальвация рубля и высокая инфляция сказываются на застройщиках также негативно, как и на покупателях недвижимости [3, 31].

Основными тенденциями развития первичного рынка недвижимости Пензенского региона на предстоящие периоды будут:

- строительство жилья эконом- и комфорт-классов как наиболее востребованного;
- рост цен на недвижимость, обусловленный законом о проектом финансировании деятельности застройщиков с одновременным повышением востребованности жилья, связанным с ростом покупательской способности населения в связи с принятием решения об увеличении размера материнского капитала и прочих льгот для семей, имеющих детей (наиболее заинтересованный в улучшении жилищных условий слой общества);
- развитие застройщиками внутренней системы кредитования с целью повышения доступности жилья и увеличения его ликвидности [32, 33].

Список литературы

1. Акулова И. И. Исследование и учет потребительских предпочтений на рынке жилой недвижимости как основа формирования эффективной градостроительной политики // Жилищное строительство. 2017. № 4. С. 3–6.
2. Алексеев А. О., Галиаскаров Э. Р. Постановка задачи концептуального проектирования жилой недвижимости с учетом потребительских предпочтений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8, № 3. С. 11–25.
3. Амбарцумян С. Г., Багинова, В. М. Антикризисные инструменты по стабилизации ситуации на рынке жилой недвижимости // Наука и бизнес: пути развития. 2015. № 7. С. 52–56.
4. Вотолевский В. Л. Работа девелоперских компаний в условиях кризиса // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2009. № 8. С. 6–12.

5. Грахов В. П., Мохначев С. А., Тарануха Н. Л., Пушкарев В. О. Девелопмент как экономическая основа развития рынка жилой недвижимости // *Фундаментальные исследования*. 2018. № 6. С. 94–98.
6. Куричев Н. К., Куричева Е. К. Региональная дифференциация активности покупателей на первичном рынке жилья Московской агломерации // *Региональные исследования*. 2018. № 1. С. 22–38.
7. Кучепатова Л. Г. Концепция выбора жилья // *Вестник Ульяновского государственного технического университета*. 2013. № 1. С. 54–60.
8. Малышев Д. П., Прокофьев К. Ю., Моисеев В. А., Петрова О. С. Формирование и реализация жилищной политики на региональном уровне : монография. Псков : Псков. гос. ун-т, 2016. 201 с.
9. Симионова Н. Е. Рыночное позиционирование строительных организаций: экологический фактор // *Экономика строительства*. 2019. № 2. С. 48–57.
10. Черняк В. З., Разин М. В. Формирование маркетинговой стратегии как основа повышения конкурентоспособности строительных предприятий // *Инновации и инвестиции*. 2013. № 5. С. 149–153.
11. Хиревич С. А. Качество городской среды как фактор роста капитализации недвижимости : автореф. дис. ... канд. эконом. наук. Красноярск, 2017.
12. Баронин С. А. Методология формирования и развития территориальных рынков доступного жилья : дис. ... д-ра экон. наук. М., 2005. 245 с.
13. Kulakov K. Y., Baronin S. A. Development of the municipal market of land plot auctions for housing construction in Russia // *Journal of Applied Economic Sciences*. 2016. Т. 11, № 4. Р. 698–708.
14. Бредихин В. В. Анализ современного состояния городской жилищной среды // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2011. № 5-1. С. 160–162
15. Бредихин В. В. Стратегия развития жилищной недвижимости в регионе // *Регион: системы, экономика, управление*. 2016. № 3. С. 51–57.
16. Дмитриев Н. И. Некоторые аспекты управления рисками девелоперских проектов в Российской Федерации // *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2018. № 1, т. 7. С. 115–117.
17. Казимиров И. А., Ощерин Л. А. Исследование зависимости цен на вторичном рынке жилой недвижимости г. Иркутска от мировых цен на нефть // *Известия высших учебных заведений. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2016. № 2. С. 51–62.
18. Хрусталева Б. Б., Горбунов В. Н., Мурсалимова Н. Н., Финаева А. А. Тенденции на рынке жилья и его доступность в регионах Приволжского федерального округа // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1-2. С. 5.
19. Бердникова В. Н., Коплик С. С. Цены на первичном и вторичном рынке жилья: взаимосвязи и тенденции развития // *Экономика и предпринимательство*. 2016. № 11-3. С. 984–988.
20. Молчанова М. Ю., Печенкина А. В. Особенности использования методов фундаментального и технического анализа при прогнозировании цен на рынке недвижимости региона // *Вестник Пермского университета. Сер.: экономика*. 2011. № 3. С. 54–64.
21. Ахмадеева М. М., Андреева Д. Н. Финансовая доступность жилья на первичном рынке: методические проблемы определения и новации в их решении // *Инновационное развитие экономики*. 2017. № 2. С. 17–31.
22. Гареев И. Ф. Жилищные исследования в Российской Федерации: состояние, цели, институты // *Жилищные стратегии*. 2018. Т. 5, № 2. С. 211–238.
23. Гареев И. Ф., Матвеева Е. С. Жилищные исследования: новые сегменты рынка и актуальные вопросы : монография. М. : Креативная экономика, 2016. 342 с.
24. Стерник С. Г., Гареев И. Ф. Прогноз и рекомендации по развитию жилищной сферы как сектора российской экономики на основании итогов 2019 года // *Жилищные стратегии*. 2020. Т. 7, № 2. С. 153–180.

25. Корнева И. И., Кузин Н. Я., Учнина Т. В. Методические основы анализа потребительских предпочтений на рынке многоэтажной жилой недвижимости города Пензы // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2017. № 1. С. 171–180.
26. Попова И. В. Исследование существующего состояния жилой застройки г. Пензы и проблем ее обновления // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2018. № 4. С. 47–59.
27. Смирнова Ю. О., Логинова В. В. Влияние энергоэффективных мероприятий на теплотехнические и экономические характеристики многоквартирных жилых домов // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 4 (33). С. 96–101.
28. Национальное объединение застройщиков жилья (НОЗА) : офиц. сайт. URL: <http://www.uniteddevelopers.ru/> (дата обращения: 08.06.2020).
29. Единый ресурс застройщиков : офиц. сайт. URL: <https://erzrf.ru.> (дата обращения: 08.07.2020).
30. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области : офиц. сайт. URL: <https://pnz.gks.ru/> (дата обращения: 08.09.2020).
31. Володин В. М., Солдатова С. С. Специфические формы финансирования инновационных проектов в России // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Экономические науки. 2017. № 1. С. 24–31.
32. Кукушкина С. А., Учнина Т. В. Особенности деятельности компаний-застройщиков в сфере многоэтажной жилой недвижимости (на примере г. Пензы) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 645.
33. Учнина Т. В., Молокова Т. В. Формирование конкурентной стратегии девелоперской компании при строительстве объектов многоэтажной жилой недвижимости // Жилищные стратегии. 2019. Т. 6, № 2. С. 175–198.

References

1. Akulova I.I. Research and accounting of consumer preferences in the residential real estate market as a basis for the formation of an effective urban planning policy. *Zhilishchnoe stroitel'stvo = Housing construction*. 2017;(4):3–6. (In Russ.)
2. Alekseev A.O., Galiaskarov E.R. Statement of the problem of conceptual design of residential real estate taking into account consumer preferences. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of universities. Investments. Construction. Real estate*. 2018;8(3):11–25. (In Russ.)
3. Ambartsumyan S.G., Baginova, V.M. Anti-crisis tools for stabilizing the situation on the residential real estate market. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and business: ways of development*. 2015;(7):52–56. (In Russ.)
4. Votolevskiy V.L. The work of development companies in the conditions of crisis. *Imushchestvennyye otnosheniya v Rossiyskoy Federatsii = Property relations in the Russian Federation*. 2009;(8):6–12. (In Russ.)
5. Grakhov V.P., Mokhnachev S.A., Taranukha N.L., Pushkarev V.O. Development as an economic basis for the development of the residential real estate market. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*. 2018;(6):94–98. (In Russ.)
6. Kurichev N.K., Kuricheva E.K. Regional differentiation of buyers ' activity in the primary housing market of the Moscow agglomeration. *Regional'nye issledovaniya = Regional studies*. 2018;(1):22–38. (In Russ.)
7. Kuchepatova L.G. The concept of housing choice. *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University*. 2013;(1):54–60. (In Russ.)
8. Malyshev D.P., Prokofev K.Yu., Moiseev V.A., Petrova O.S. *Formirovanie i realizatsiya zhilishchnoy politiki na regional'nom urovne: monografiya = Formation and*

- implementation of housing policy at the regional level: monograph.* Pskov: Pskov. gos. un-t, 2016:201. (In Russ.)
9. Simionova N.E. Market positioning of construction organizations: an eco-logical factor. *Ekonomika stroitel'stva = Economics of construction.* 2019;(2):48–57. (In Russ.)
 10. Chernyak V.Z., Razin M.V. Formation of a marketing strategy as a basis for increasing the competitiveness of construction enterprises. *Innovatsii i investitsii = Innovations and investments.* 2013;(5):149–153. (In Russ.)
 11. Khirevich S.A. The quality of the urban environment as a factor of growth in the capitalization of immovability. PhD abstract. Krasnoyarsk, 2017. (In Russ.)
 12. Baronin S.A. Methodology of formation and development of territorial markets of affordable housing. DSc dissertation. Moscow, 2005:245. (In Russ.)
 13. Kulakov K.Y., Baronin S.A. Development of the municipal market of land plot auctions for housing construction in Russia. *Journal of Applied Economic Sciences.* 2016;11(4):698–708.
 14. Bredikhin V.V. Analysis of the current state of the urban housing environment. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the South-West State University.* 2011;5-1:160–162. (In Russ.)
 15. Bredikhin V.V. Strategy of development of housing real estate in the region. *Region: sistemy, ekonomika, upravlenie = Region: systems, economics, management.* 2016;(3):51–57. (In Russ.)
 16. Dmitriev N.I. Some aspects of risk management of development projects in the Russian Federation. *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie = Azimut of scientific research: economics and management.* 2018;7(1):115–117. (In Russ.)
 17. Kazimirov I.A., Oshcherin L.A. Investigation of the dependence of prices on the secondary market of residential real estate in Irkutsk on world oil prices. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of universities. Investments. Construction. Real estate.* 2016;(2):51–62. (In Russ.)
 18. Khrustalev B.B., Gorbunov V.N., Mursalimova N.N., Finaeva A.A. Trends in the housing market and its availability in the regions of the Volga Federal District. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education.* 2015;(1-2):5. (In Russ.)
 19. Berdnikova V.N., Koplík S.S. Prices in the primary and secondary housing market: interrelations and development trends. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Economics and entrepreneurship.* 2016;(11-3):984–988. (In Russ.)
 20. Molchanova M.Yu., Pechenkina A.V. Features of using the methods of fundamental and technical analysis in forecasting prices on the real estate market of the region. *Vestnik Permskogo universiteta. Ser.: ekonomika = Bulletin of the Perm University. Ser.: economics.* 2011;(3):54–64. (In Russ.)
 21. Akhmadeeva M.M., Andreeva D.N. Financial accessibility of housing in the primary market: methodological problems of definition and innovations in their solution. *Innovatsionnoe razvitiye ekonomiki.* 2017;(2):17–31. (In Russ.)
 22. Gareev I.F. Housing research in the Russian Federation: state, goals, institutions. *Zhilishchnye strategii = Housing strategies.* 2018;5(2):211–238. (In Russ.)
 23. Gareev I.F., Matveeva E.S. *Zhilishchnye issledovaniya: novye segmenty rynka i aktual'nye voprosy: monografiya = Housing research: new market segments and topical issues: monograph.* Moscow: Kreativnaya ekonomika, 2016:342. (In Russ.)
 24. Sternik S.G., Gareev I.F. Forecast and recommendations for the development of the housing sector as a sector of the Russian economy based on the results of 2019. *Zhilishchnye strategii = Housing strategies.* 2020;7(2):153–180. (In Russ.)
 25. Korneva I.I., Kuzin N.Ya., Uchinina T.V. Methodological bases for analyzing consumer preferences in the market of multi-storey residential real estate in the city of Penza. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii = Education and science in the modern world. Innovations.* 2017;(1):171–180. (In Russ.)

26. Popova I.V. Investigation of the existing state of residential development in Penza and the problems of its renewal. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in the economy, technology, nature and society*. 2018;(4):47–59. (In Russ.)
27. Smirnova Yu.O., Loginova V.V. The influence of energy-efficient measures on the thermal and economic characteristics of multi-apartment residential buildings. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo = Regional architecture and construction*. 2017;(4):96–101. (In Russ.)
28. *Natsional'noe ob"edinenie zastroyshchikov zhil'ya (NOZA): ofits. sayt = National Association of Housing Developers (NAHD): official website*. (In Russ.). Available at: <http://www.uniteddevelopers.ru/> (accessed 08.06.2020).
29. *Edinyy resurs zastroyshchikov: ofits. sayt = Unified resource of developers : official website*. (In Russ.). Available at: <https://erzrf.ru>. (accessed 08.07.2020).
30. *Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Penzenskoy oblasti: ofits. sayt = Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Penza region: official website*. (In Russ.). Available at: <https://pnz.gks.ru/> (accessed 08.09.2020).
31. Volodin V.M., Soldatova S.S. Specific forms of financing innovation projects in Russia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Ekonomicheskie nauki = Proceedings of universities. Volga region. Economic Sciences*. 2017;(1): 24–31. (In Russ.)
32. Kukushkina S.A., Uchinina T.V. Features of the activity of real estate developers in the field of multi-storey residential real estate (on the example of Penza). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2014;(6):645. (In Russ.)
33. Uchinina T.V., Molokova T.V. Formation of a competitive strategy of a development company in the construction of multi-storey residential real estate objects. *Zhilishchnye strategii = Housing strategies*. 2019;6(2):175–198. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Владимировна Учинина

кандидат экономических наук, доцент
кафедры экспертизы и управления
недвижимостью,
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
(Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)
E-mail: tatiana-Vladim@yandex.ru

Tat'yana V. Uchinina

Candidate of economic sciences,
associate professor of the sub-department
of real estate expertise and management,
Penza State University
of Architecture and Construction
(28 Herman Titov street, Penza, Russia)

Евгения Андреевна Горбунова

магистрант,
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
(Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)
E-mail: gorbunova.evgen.98@mail.ru

Evgeniya A. Gorbunova

Master degree student,
Penza State University
of Architecture and Construction
(28 Herman Titov street, Penza, Russia)

Алена Сергеевна Пышная

студентка,
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
(Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)
E-mail: alena122q@icloud.com

Alena S. Pyshnaya

Student,
Penza State University
of Architecture and Construction
(28 Herman Titov street, Penza, Russia)

СТИМУЛИРОВАНИЕ ЧАСТНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ

М. В. Дементьев

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
Mark_sur@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Поднимается проблема структурной трансформации промышленности Российской Федерации. Модель опоры на добывающие отрасли изжила себя. В связи с этим необходим пересмотр инструментов промышленной политики для качественного изменения структуры экономики в пользу обрабатывающих отраслей. Одним из таких инструментов может стать стимулирование частных инвестиций в ценные бумаги. *Материалы и методы.* Для анализа налогового стимулирования частных инвестиций как одного из инструментов промышленной политики использовались методы логического и статистического анализа. *Результаты.* Доказано, что одной из ключевых проблем на пути структурной перестройки промышленности является недостаток финансовых ресурсов у предприятий. Выявлено, что одной из наиболее результативных мер в сложившейся ситуации является налоговое стимулирование покупки ценных бумаг промышленных предприятий частными инвесторами. *Выводы.* Устойчивая тенденция роста частных инвесторов на внутреннем рынке России может быть использована для решения проблемы структурной трансформации экономики в пользу роста доли обрабатывающей промышленности через налоговое стимулирование.

Ключевые слова: промышленная политика, отраслевая структура экономики, фондовый рынок, частные инвестиции, налоговое стимулирование

Для цитирования: Дементьев М. В. Стимулирование частных инвестиций в рамках реализации промышленной политики // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 50–69. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-3

STIMULATING PRIVATE EQUITY IN THE FRAMEWORK OF INDUSTRIAL POLICY IMPLEMENTATION

M.V. Dement'ev

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
Mark_sur@mail.ru

Abstract. *Background.* The problem of structural transformation of the Russian industry is considered in the article. The model of reliance on the extractive industries has become obsolete. In this regard, it is necessary to revise the instruments of industrial policy to provide a qualitative change in the structure of the economy in favor of the processing industries. One of such instruments can be the stimulation of private equity in securities. *Materials and methods.* Methods of logical and statistical analysis were used to analyze tax incentives for private equity as one of the instruments of industrial policy. *Results.* It is proved that one of the key problems on the way of industrial restructuring is the lack of financial resources of enterprises. It was revealed that one of the most effective measures in the current situation is tax incentives for the purchase of securities of industrial enterprises by private investors. *Conclusions.* The steady growth trend of private investors in the Russian domestic market can be used to solve the problem of structural transformation of the economy in favor of an increase in the share of the manufacturing industry through tax incentives.

Keywords: industrial policy, sectoral structure of the economy, stock market, private equity, tax incentives

For citation: Dement'ev M.V. Stimulating private equity in the framework of industrial policy implementation. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;2:50–69. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-3

Введение

Многие годы проблемой отечественной экономики является ее неудовлетворительная отраслевая структура. Преимущественная опора на добычу энергоносителей и на отрасли с низкой долей научного фактора в создании конечного продукта перестала удовлетворять цели обеспечения устойчивого экономического развития страны. В частности, данное утверждение нашло отражение в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, где признана невозможность обеспечивать стабильный экономический рост в основном за счет эксплуатации сырьевых ресурсов¹.

Понимание необходимости повышения общего уровня конкурентоспособности национальной промышленности и важности стимулирования перемен в отраслевой структуре экономики страны привело к началу реализации промышленной политики на федеральном и региональном уровнях. По этой причине в Федеральном законе о промышленной политике отмечено, что среди ее целей – «формирование высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности, обеспечивающей переход экономики государства от экспортно-сырьевого типа развития к инновационному типу развития»².

Исходя из того, что после начала систематической реализации промышленной политики фундаментальных изменений в отраслевой структуре экономики на макроуровне так и не произошло, поиск новых и модернизация старых инструментов поддержки отраслевой трансформации остаются важными направлениями работы. Из-за фундаментальной значимости целей промышленной политики необходимо обратить внимание на самые разнообразные способы поддержки структурной трансформации, в том числе на те, что кажутся связанными с данной проблемой лишь косвенно.

В настоящее время наблюдается качественное изменение ситуации в сфере частных инвестиций на рынке ценных бумаг в РФ. Данная сфера переживает колоссальный рост, обусловленный как экзогенными причинами, в первую очередь влиянием карантинных ограничений на передвижение населения, так и причинами собственного качественного развития под влиянием информационных технологий. Также свою роль в привлечении населения на фондовый рынок сыграло падение реальной доходности депозитов коммерческих банков до минимальных значений, что было обусловлено постепенным уменьшением ключевой ставки ЦБ РФ до минимальных уровней в истории наблюдений.

¹ Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации : [утв. Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642]. П. 15а. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (Дата обращения: 29.04.2021).

² О промышленной политике Российской Федерации : федер. закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ : [в ред. Федерального Закона от 20.07.2020 № 225-ФЗ]. Ст. 4. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119/54091f8574f09caf75f381de7158e8b1bc5770bd/ (Дата обращения: 29.04.2021).

Данное исследование посвящено анализу инвестиций в обрабатывающую промышленность России, а также рассмотрению возможности содействовать ее отраслевой трансформации посредством капитала населения, привлеченного на фондовый рынок. Выделяются основные факторы, тормозящие развитие обрабатывающей промышленности. Определяется, что главный негативный фактор – это недостаток финансовых ресурсов. Рассматриваются тенденции в движении международного капитала, его влияние на отраслевую структуру промышленности в РФ, источники его происхождения. Определяется степень оптимальности опоры на него или же на национальный капитал в качестве источника финансирования развития приоритетных отраслей промышленности.

Среди совокупности доступных неквалифицированным инвесторам инструментов фондового рынка выделяются облигации как ценная бумага, благодаря своим характеристикам наиболее удовлетворяющая заявленным целям промышленной политики, а также финансовым целям массовых частных инвесторов. Делается вывод о целесообразности использования капитала массовых розничных инвесторов в качестве фактора стимулирования отраслевой перестройки обрабатывающей промышленности России. Для этого необходимо предоставить налоговые льготы владельцам облигаций корпоративных эмитентов, чье преимущественное развитие соответствует цели отраслевой трансформации обрабатывающей промышленности.

Теоретические и юридические аспекты

Проблематика влияния выпуска корпоративных облигаций на положение компаний-эмитентов и на развитие соответствующих отраслей экономики является полем активных исследований отечественных и иностранных ученых, что было дополнительно простимулировано появлением индивидуальных инвестиционных счетов (ИИС) в 2015 г. Хотя приход на фондовый рынок массового розничного инвестора является новым явлением, история развития фондового рынка в РФ, и в частности рынка корпоративных облигаций, насчитывает уже 30 лет.

Среди российских авторов, занимающихся данной тематикой, стоит выделить Е. И. Воробьеву [1], О. С. Беломытцеву [2, 3], О. А. Гражданкину и С. В. Шапошникову [4], Ж. Н. Тропину [5], Н. А. Горовец [6], Т. В. Гончаренко, К. Н. Подгорную [7], З. И. Дахову и С. М. Носова [8], В. В. Ячменникову и И. А. Дикареву [9], М. А. Пушкарскую и О. С. Зинишу [10], Е. А. Разумовскую и И. А. Шугаева [11]. Иностранные авторы также публикуют исследования на данную тему, например, L. T. Orłowski [12], Y. Chen, Y. L. Chien, Y. Wen, C. C. Yang [13], M. Azzimonti, P. Yared [14], M. Nagano [15], M. Mietzner, J. Proelss, D. Schweizer [16], Kedar nath Mukherjee [17], S. Runger [18], M. Rieth [19], S. Karagiannis [20], Z. Li, Y. Tang, J. Wu, J. Zhang, Q. Lv [21].

При определении инструментария поддержки предприятий и отраслей надо четко понимать проблемы, перед ними стоящие, чтобы эти меры принесли результат и были относительно эффективны по затратам за счет прицельной работы по важнейшим проблемам компаний. Государство собирает данные о факторах, ограничивающих рост выпуска обрабатывающей промышленности РФ на федеральном уровне. Наиболее негативные факторы – в период 2010–2019 гг. (рис. 1).

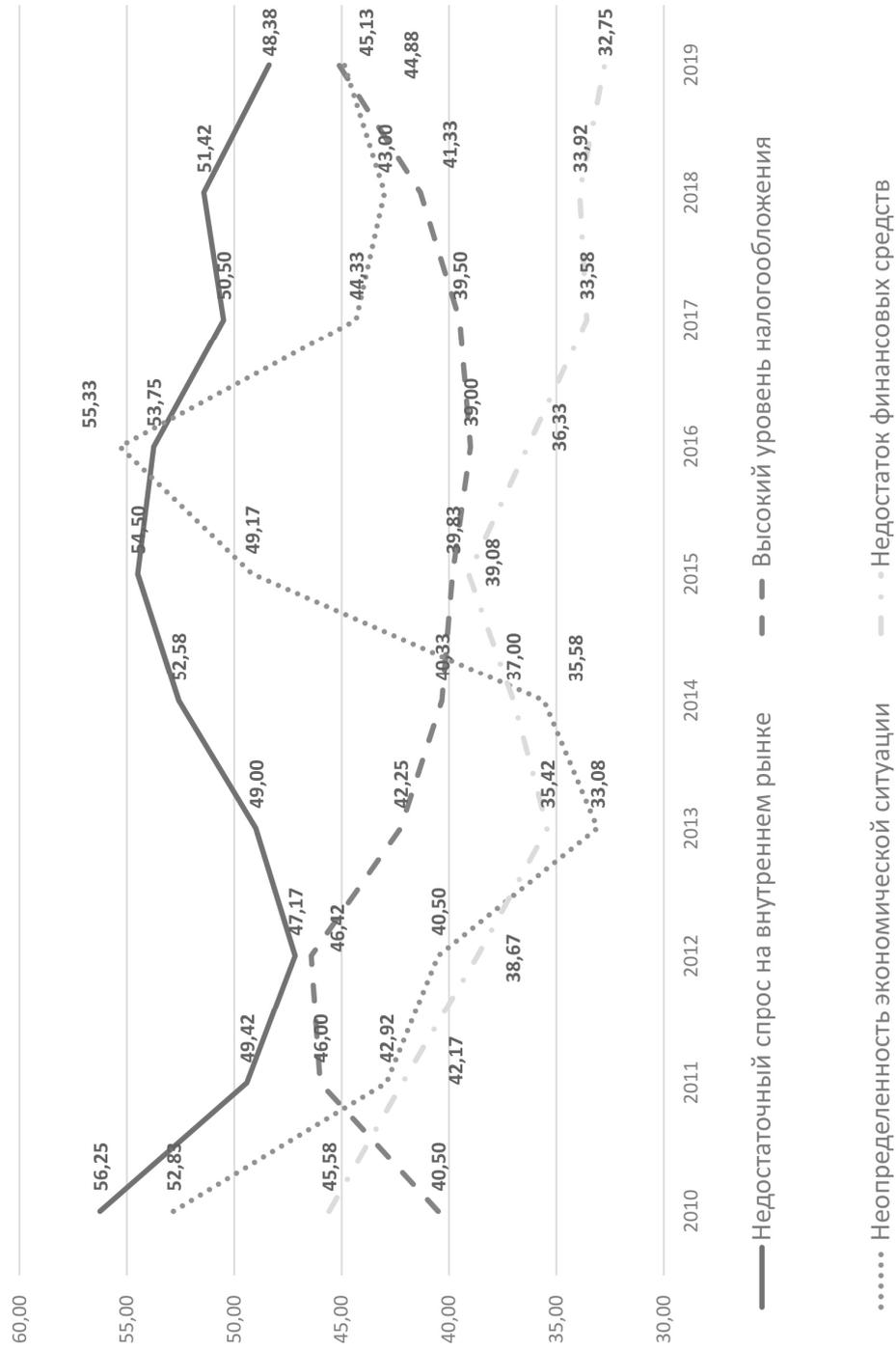


Рис. 1. Факторы, ограничивающие рост выпуска обрабатывающей промышленности Российской Федерации в 2010–2019 гг.
 (источник: расчеты автора на основе данных Росстата)

Четыре основные проблемы обрабатывающей промышленности РФ в 2019 г. в порядке уменьшения значимости:

- 1) недостаточный спрос на внутреннем рынке;
- 2) высокий уровень налогообложения;
- 3) неопределенность экономической ситуации;
- 4) недостаток финансовых средств.

Недостаток спроса внутри страны – это устойчиво наиболее значимый фактор, мешающий развитию промышленности. В связи с тем, что ситуация улучшилась, проблема «нестабильность экономической ситуации» потеряла второе место, спустившись на третье, хотя в 2016 г. был несколько превышен недостаток спроса и она попала на первое место. Недостаток финансовых средств хоть и находится только на четвертом месте, а также уменьшает свое негативное влияние, занимает особое положение среди данных проблем. Он связан с высоким уровнем налогообложения. Фактически высокий уровень налогообложения – это тоже недостаток финансовых средств только с точно выделенной причиной этого недостатка. Объединив эти две проблемы в одну, можно утверждать, что недостаток финансовых средств – главная проблема предприятий. А этот недостаток может быть скомпенсирован различными способами, в том числе выпуском облигаций или привлечением иностранных инвестиций.

Предприятия используют для развития как собственные, так и заемные денежные средства в разной пропорции. Заемный капитал может быть как местный, так и иностранный. Их функционирование имеет различную специфику. На использование данных факторов производства государство способно влиять. При работе с иностранным капиталом необходимо предварительно рассмотреть макроусловия, определяющие особенности работы с ним. На хозяйственные процессы в любой стране мира продолжает влиять глобализация, но на функционирование международных потоков инвестиций воздействуют свои характерные факторы.

Одним из важнейших аспектов глобализации является финансовая глобализация. Она представляет собой финансовую взаимозависимость стран всего мира, возникшую в результате возрастающего объема международных финансовых сделок и мировых потоков капитала с использованием многообразия финансовых инструментов, а также в связи с внедрением современных электронных технологий, средств коммуникации и информатизации [22]. Особенно важное значение имеет влияние научно-технического прогресса в сфере ИТ. Он обеспечил возможность практически одномоментного перемещения любых денежных сумм в любую точку мира, что в разы превосходит по скорости любой физический транспорт, это обеспечивает большую свободу перемещения по миру финансового капитала по сравнению с физическим.

Также отдельные граждане и фирмы могут получить преимущества от лучшего сочетания рисков и прибылей, которое несет с собой финансовая глобализация, в том числе за счет размещения капитала в офшорах. Но это не всегда позитивно для отдельных стран в силу уменьшения налогооблагаемой базы у стран-доноров капитала. Небольшие размеры финансового рынка большинства стран ограничивают эффективность и качество финансовых услуг в банковской сфере, на рынках ценных бумаг и в сфере пенсионного обслуживания. Трансграничное предоставление финансовых услуг может нести для небольших по размеру экономик немалые выгоды. Но это также

может привести к волатильности на их рынках. Финансовая глобализация неразрывно связана с международными инвестициями. Инвестиции в теоретическом плане представляют собой следующее:

1. Это часть дохода за заданный период времени, которая не была потреблена, соответственно, уровень инвестиций при этом определен соотношением между будущим предельным доходом от активов и максимальными издержками производства [23].

2. Это сбережения, которые в перспективе принесут доход с учетом расширения производства [24].

3. Вложения капитала в целях получения выгоды в промышленность, сельское хозяйство, недвижимость в городе, облигации, торговлю, образование и т.п. Инвестиции следует отличать от спекуляций. Целью инвестиций является получение дохода, а целью спекуляций – приращение капитала [25].

Таким образом, инвестиции представляют собой сбережения, которые вкладываются с целью их дальнейшего преумножения. В свою очередь российское законодательство разделяет инвестиции и инвестиционную деятельность:

1. Инвестиции в РФ – это денежные средства, ценные бумаги, иное имущество, в том числе имущественные права, иные права, имеющие денежную оценку, вкладываемые в объекты предпринимательской и (или) иной деятельности в целях получения прибыли и (или) достижения иного полезного эффекта¹. Иными словами, инвестиция – это то, что вкладывается.

2. Инвестиционная деятельность – вложение инвестиций и осуществление практических действий в целях получения прибыли и (или) достижения иного полезного эффекта.²

Также существуют юридические определения для иностранных инвестиций. Международные инвестиционные потоки представлены в следующих основных формах:

1) прямые (дают право контроля или ведут к долгосрочной взаимосвязи инвестора с активом);

2) портфельные (не дают права контроля, часто несут спекулятивный характер);

3) прочие формы – торговые кредиты, банковские займы, финансовые лизинговые сделки, займы от МВФ и прочих международных организаций и т.п.

В свою очередь, в отечественном законодательстве существует два определения, касающиеся международных инвестиций:

1) иностранная инвестиция в РФ – вложение иностранного капитала, осуществляемое иностранным инвестором непосредственно и самостоятельно, в объект предпринимательской деятельности на территории Российской Федерации в виде объектов гражданских прав, принадлежащих иностранному инвестору, ... в том числе денег, ценных бумаг (в иностранной валюте и валюте Российской Федерации), иного имущества, имущественных прав, имеющих денежную оценку исключительных прав на результаты интеллек-

¹ Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений : федер. закон от 25.02.1999 № 39-ФЗ : [ред. от 08.12.2020]. Ст. № 1.

² Там же.

туальной деятельности (интеллектуальную собственность), а также услуг и информации¹;

2) прямая иностранная инвестиция (ПИИ) – приобретение иностранным инвестором не менее 10 процентов доли, долей (вклада) в уставном (складочном) капитале коммерческой организации, созданной или вновь создаваемой на территории Российской Федерации в форме хозяйственного товарищества или общества в соответствии с гражданским законодательством Российской Федерации; вложение капитала в основные фонды филиала иностранного юридического лица, создаваемого на территории Российской Федерации; осуществление на территории Российской Федерации иностранным инвестором как арендодателем финансовой аренды (лизинга) оборудования, указанного в разделах XVI и XVII единой Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Таможенного союза в рамках ЕврАзЭС (далее – Таможенный союз), таможенной стоимостью не менее 1 млн руб.²

Рассмотрев теоретические и юридические аспекты исследуемой области, перейдем к практическому анализу феномена финансовой глобализации.

Глобализация финансовых рынков

До кризиса 2008–2009 гг. существовала устойчивая тенденция ускоренного роста мировой торговли и инвестиций по сравнению со скоростью роста мировой экономики. Мировые финансовые и торговые потоки становились до недавнего времени все интенсивнее, их рост превосходил скорость развития международной экономики в 1990–2019 гг. За этот период мировой ВВП вырос в 3,88 раза (рис. 2).

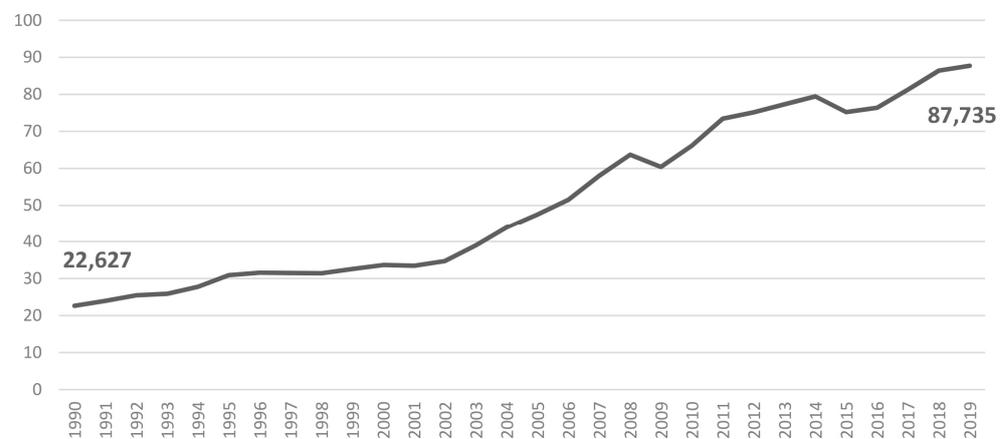


Рис. 2. Мировой валовой внутренний продукт в 1990–2019 гг. (в трлн долл.)
(источник: данные Всемирного банка)

При этом экспорт товаров и услуг в этот же период вырос уже в 5,77 раза (рис. 3).

¹ Об иностранных инвестициях в Российской Федерации : федер. закон № 160-ФЗ от 09.07.1999 : [ред. от 31.05.2018].

² Там же.

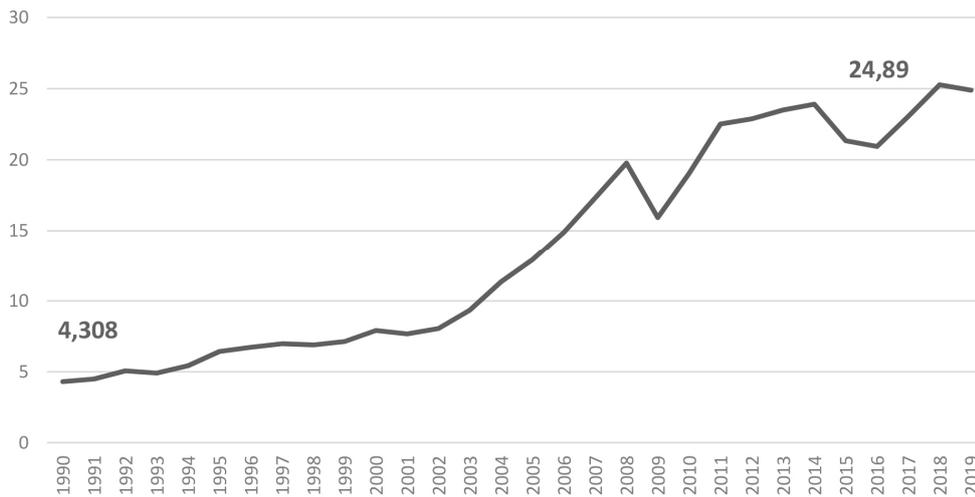


Рис. 3. Мировой экспорт товаров и услуг в 1990–2019 гг. (в трлн долл.)
(источник: данные Всемирного банка)

Размер прямых иностранных инвестиций в этот же период вырос в 6,77 раза (рис. 4).

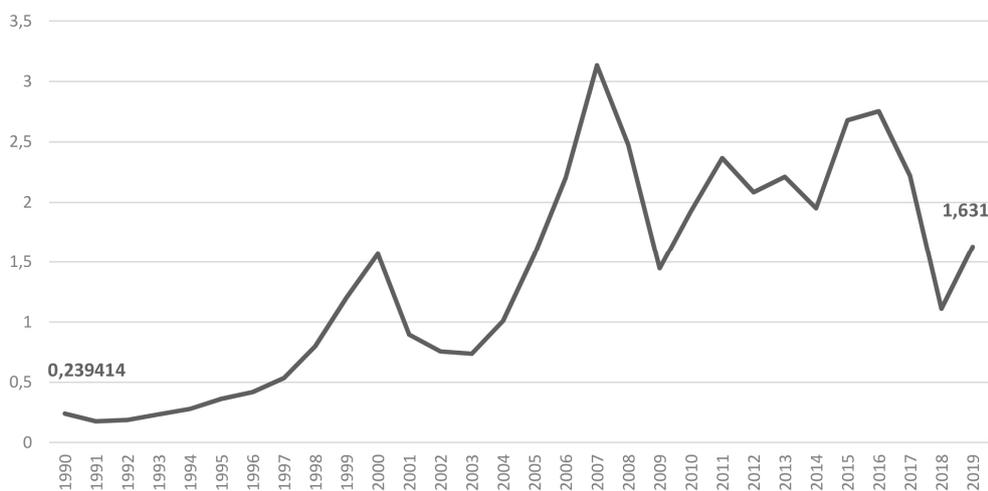


Рис. 4. Привлеченные прямые иностранные инвестиции в 1990–2019 гг. (в трлн долл.)
(источник: данные Всемирного банка)

Хотя тенденция развития финансовой глобализации замедляется, денег в мировом масштабе больше, чем в рамках отдельной экономики, а их перемещение остается простой задачей по техническим и юридическим причинам. Это приводит к естественному желанию национальных властей использовать данный фактор в развитии национальной экономики, особенно в сфере высокотехнологичной промышленности, тем более что недостаток финансовых ресурсов, как было рассмотрено ранее, – одна из ключевых проблем отечественной обрабатывающей промышленности. Потому рассмотрим подробнее их роль в развитии экономики России.

Иностранные инвестиции – их источники и объекты вложения

С учетом объективной необходимости перехода нашей экономики от роста к ее качественному развитию наиболее важными инвестициями являются иностранные инвестиции именно в обрабатывающую промышленность, особенно в высокотехнологичные отрасли (рис. 5).

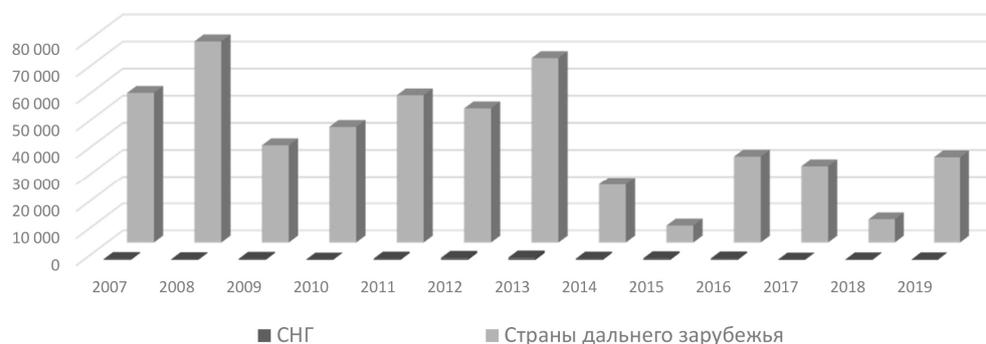


Рис. 5. Прямые инвестиции в Российскую Федерацию по регионам стран-партнеров (участие в капитале, реинвестирование доходов и долговые инструменты, в млн долл.) (источник: расчеты автора на основе данных Центрального банка Российской Федерации)

Хотя абсолютные размеры ПИИ в разные годы менялись, доминирование стран дальнего зарубежья над инвестициями из СНГ остается и по сей день (рис. 6–9). Но у этого доминирования есть особенность. Независимо от изменений ПИИ в 2015–2019 гг. сохранялась значимая ситуация – основное место среди источников ПИИ занимали оффшорные зоны, хотя доминирующие страны-источники инвестиций менялись. Потому не вполне верно считать ПИИ в Россию из стран дальнего зарубежья полностью иностранными, так как, например, Кипр традиционно является местом регистрации крупных российских компаний. И инвестиции оттуда и из подобных стран – это часто инвестиции российских же компаний, капитал, предварительно выведенный в оффшорную зону.

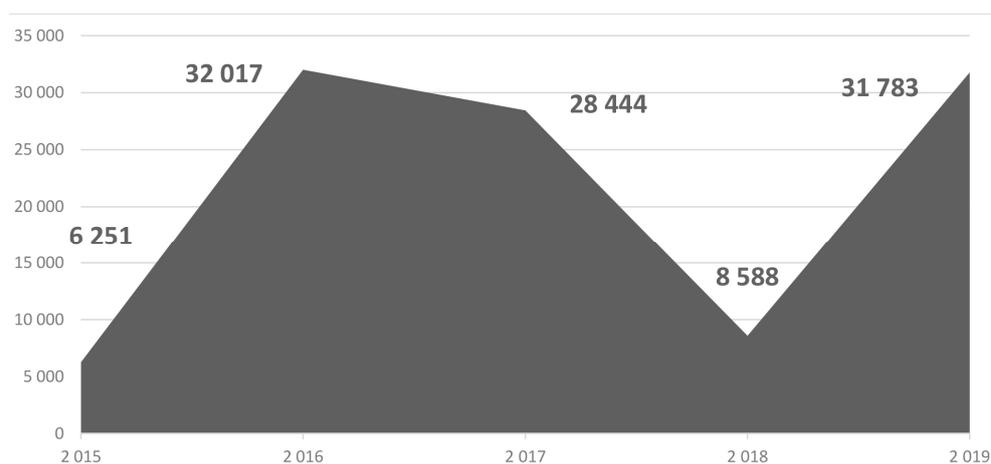


Рис. 6. Прямые иностранные инвестиции из дальнего зарубежья в 2015–2019 гг. (источник: данные Центрального банка Российской Федерации)

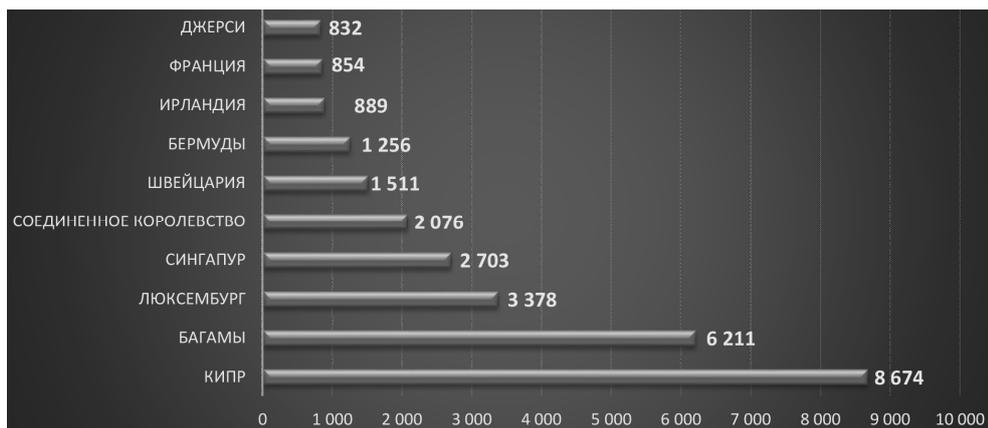


Рис. 7. Прямые иностранные инвестиции из дальнего зарубежья в 2017 г. (источник: данные Центрального банка Российской Федерации)

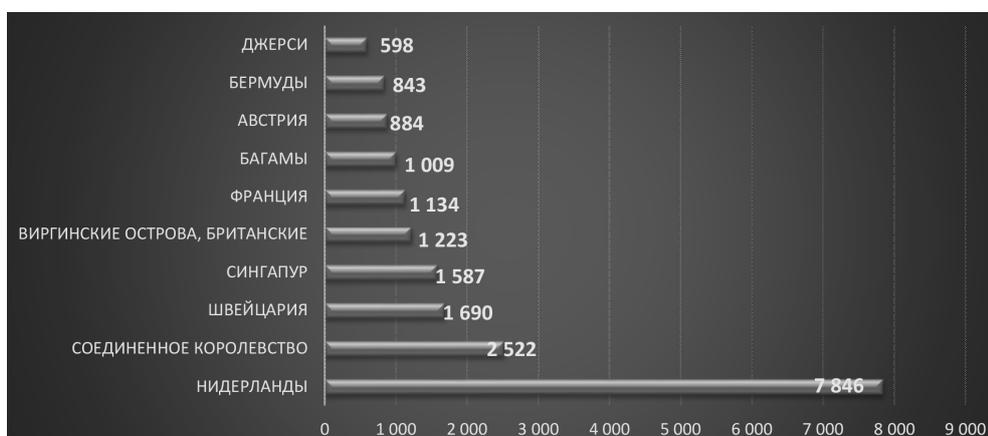


Рис. 8. Прямые иностранные инвестиции из дальнего зарубежья в 2018 г. (источник: данные Центрального банка Российской Федерации)

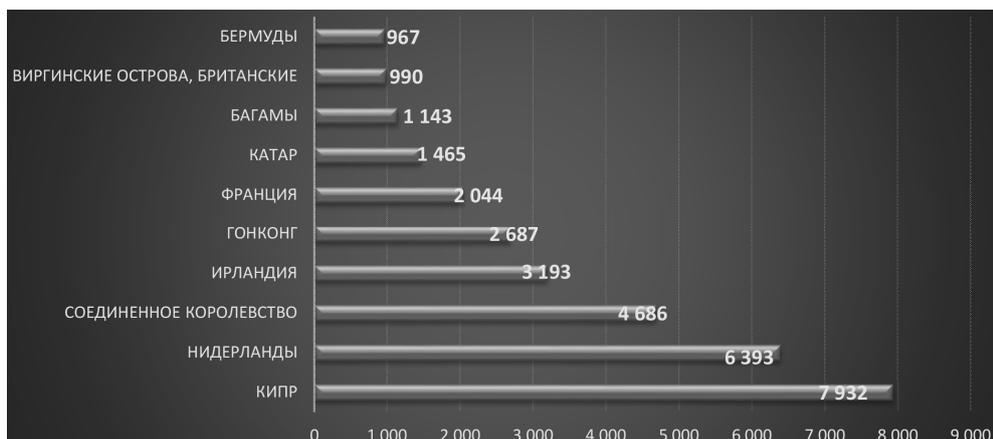


Рис. 9. Прямые иностранные инвестиции из дальнего зарубежья в 2019 г. (источник: данные Центрального банка Российской Федерации)

Но независимо от того, что часть иностранных инвестиций в РФ приходится на оффшоры, более важным становится определение основных отраслей обрабатывающей промышленности, являющихся объектами вложений средств из-за рубежа (рис. 10).

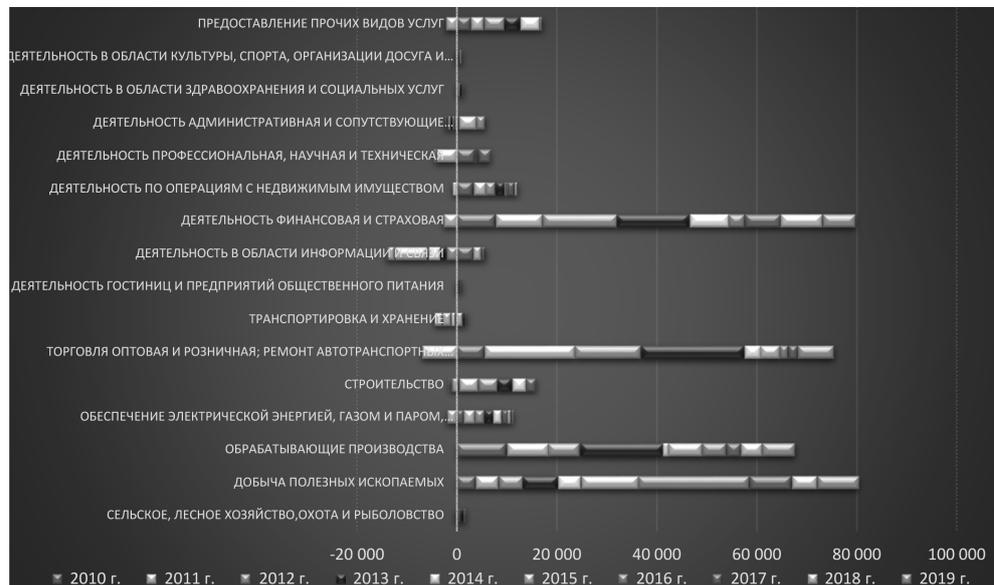


Рис. 10. Сальдо прямых иностранных инвестиций в Россию: операции по видам экономической деятельности в 2010–2019 гг. (источник: данные Центрального банка Российской Федерации)

Отрасли, вызывающие наибольший интерес у иностранных инвесторов (по убыванию):

- 1) добыча полезных ископаемых;
- 2) деятельность финансовая и страховая;
- 3) торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов;
- 4) обрабатывающие производства.

И хотя обрабатывающая промышленность вызывает интерес, данный вид деятельности не находится в приоритете у иностранных инвесторов, так как занимает лишь 4-е место (рис. 11).

Среди отраслей обрабатывающей промышленности в период 2010–2019 гг. доминирующее положение (53 %) занимают производство нефтепродуктов и металлургия. Они являются для РФ традиционными отраслями специализации. Ориентация инвесторов именно на эти отрасли хоть и полезна для них, но не стимулирует процесс качественной трансформации отечественной экономики.

Россия продолжает привлекать ПИИ в свою экономику, хотя за последние годы абсолютный объем инвестиций снизился. Но объекты вложений не могут удовлетворять правительство, которое стремится обеспечить переход национального хозяйства на модель развития за счет инновационной промышленности. Одной из важнейших причин ориентации иностранных инвесторов на традиционные отрасли являются геополитические риски. Боязнь

ухудшения отношений РФ со странами Запада, за которым могут последовать экономические санкции, мотивирует инвестировать в отрасли, предполагающие наибольшую выгоду в краткосрочной перспективе. Например, компании из сектора металлургии на фондовом рынке в РФ (НЛМК, ММК, Северсталь, Норникель и т.д.) традиционно являются одними из наиболее щедро выплачивающих дивиденды, причем ежегодно. А вложения в отрасли с отдачей через многие годы является намного более рискованной затеей из-за возможности потерять вложенное или недополучить доход из-за геополитических проблем.



Рис. 11. Сальдо прямых иностранных инвестиций в Россию в 2010–2019 гг. по отраслям обрабатывающей промышленности (источник: данные Центрального банка Российской Федерации)

С другой стороны, инвестиции граждан и институциональных инвесторов из России могут быть дополнительно использованы в качестве фактора развития экономики. Наши граждане и предприятия намного меньше подвержены риску геополитических санкций при инвестировании на отечественном рынке, чем нужно активно пользоваться. Рядовой отечественный инвестор намного менее склонен уводить капитал за рубеж в случае усугубления геополитических противоречий просто потому, что для него это нетривиальная задача. Тем более, в последние годы сложилась уникальная ситуация взрывного роста отечественного фондового рынка.

Внутренний источник роста – частные инвестиции граждан

Основные торговые площадки в РФ, где обращаются ценные бумаги, – это Московская биржа и Санкт-Петербургская биржа. Первая специализируется на ценных бумагах отечественных эмитентов, вторая – на иностранных.

2019–2020 гг. отличаются кардинальным ростом количества открытых на Московской бирже счетов частных лиц и объемом их операций. За два года количество частных инвесторов выросло больше, чем за предыдущие 30 лет капитализма в России (рис. 12).

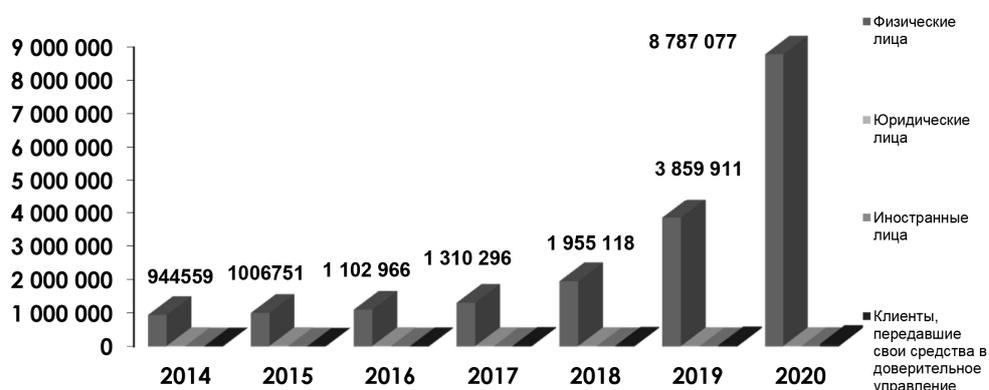


Рис. 12. Количество уникальных клиентов в Системе торгов Московской биржи в 2014–2020 гг. (источник: данные Московской биржи)

Есть три основные причины такого роста. Они имеют фундаментальный характер, следовательно, рост числа счетов может замедлиться или остановиться, но радикальное падение их числа произойти не может, инвесторы пришли на фондовый рынок надолго:

- 1) многолетнее падение процентных ставок по депозитам из-за снижения ключевой ставки ЦБ РФ;
- 2) упрощение доступа на биржу посредством появления и популяризации у населения мобильных приложений для трейдинга и инвестиций;
- 3) налоговые льготы (сокращенные с 2021 г.) по индивидуальным инвестиционным счетам (ИИС) и по НДФЛ с купонного дохода ряда корпоративных облигаций.

Также свою роль сыграл противозидемиологический карантин в 2020 г. Высвободившееся от поездки на работу и обратно и оффлайн-развлечений время население потратило на то, чтобы опробовать менее распространенные ранее услуги – доставку продуктов, стриминговые видео-сервисы, а также инвестирование на фондовой бирже через мобильные приложения. Раньше, даже после появления возможности дистанционного проведения торгов без личного посещения здания биржи, трейдерам приходилось осваивать сложные торговые терминалы, например Quick или MetaStock, за которые часто еще и приходилось платить. А также они были привязаны к персональному компьютеру, что ограничивало возможность торговли в любой момент. Ситуацию исправило появление мобильных приложений. Большая часть частных инвесторов в РФ пользуется именно ими. Они бесплатные, позволяют проводить сделки в любом месте и практически в любое время. Для работы со сложными инструментами, например фьючерсами, все равно требуется терминал, но такие инструменты почти недоступны частным инвесторам в силу сложности, да и большинство ими не интересуется.

Но наиболее важной причиной роста интереса населения к фондовому рынку стало правительство, благодаря введению им ИИС. Индивидуальный

инвестиционный счет – это открываемый клиенту брокерский счет с особым режимом функционирования. Каждый налогоплательщик может иметь только один ИИС. Каждый год возможно пополнение этого счета в пределах 1 000 000 рублей. Внесение на него денежных средств и дальнейшие инвестиции через него позволяют претендовать на один из двух видов инвестиционных налоговых вычетов по НДФЛ:

1. Вычет типа «А» – инвестиционный вычет в сумме денежных средств, внесенных на ИИС. Налоговый вычет по НДФЛ предоставляется в виде 13 % от суммы денежных средств, внесенных в соответствующем налоговом периоде на ИИС, но не более чем от 400 000 руб. за год. Иными словами, налогоплательщик может вернуть до 52 000 руб. уплаченного НДФЛ в год. В случае прекращения договора на ведение ИИС до истечения трех лет с момента открытия возвращенные налогоплательщикам суммы НДФЛ придется вернуть, уплатив также и пени за это.

2. Вычет типа «Б» – инвестиционный вычет в сумме дохода по операциям, учитываемым на ИИС. Налоговый вычет предоставляется по окончании договора на ведение ИИС посредством освобождения от налогообложения всех видов дохода, кроме дивидендов, полученных благодаря инвестициям через ИИС. Этот тип налогового вычета будет недоступен, если хотя бы раз предварительно воспользоваться вычетом на взнос.

Эти вычеты, в силу взаимоисключающего характера в применении, наиболее выгодны разным типам инвесторов. Первый тип вычета выгоден большинству неопытных инвесторов, так как подразумевает возможность возвращать НДФЛ с доходов, не связанных с фондовой биржей. Возможность возвращать до 52 000 руб. в год означает возможность для гражданина с доходом на основном месте работы до 33 000 руб. в месяц до уплаты налога полностью освободить себя от уплаты налогов. Это отличный способ легально уменьшить налоговое бремя на домохозяйство, параллельно получив доход от инвестиций на фондовом рынке, вложив деньги в экономику. Второй тип вычета большинству налогоплательщиков будет малополезен. Чтобы просто сравняться в размере вычета по НДФЛ с первым вычетом, необходимо заработать на фондовой бирже те же 400 000 в год. Для большинства инвесторов это маловыполнимая задача, так как требует либо огромного размера капитала на ИИС, либо использования агрессивной спекулятивной стратегии, для которой нужны специфические профессиональные знания и большой опыт.

К сожалению, с 2021 г. произошли изменения в функционировании ИИС, что толкает инвесторов чаще пользоваться вычетом второго, а не первого типа. Инвестор может совмещать инвестирование через ИИС и через обычный брокерский счет, комбинируя свои операции. При этом, получая вычет за взнос на ИИС по НДФЛ с дохода по основному месту работы, также можно было возвращать уплаченный НДФЛ с операций на обычном брокерском счете. Данный подход позволял увеличить конечный доход инвестора, что стимулировало инвестировать более осторожно, опираться не на спекуляции, а на долгосрочное инвестирование. Но с 2021 г. вернуть уплаченный НДФЛ с дохода по операциям с ценными бумагами на обычном брокерском счете на основании вноса на ИИС больше нельзя. Дополнительной проблемой также является невозможность перехода на использование вычета второго типа теми инвесторами, что уже воспользовались вычетом за взнос, до истечения трех лет с момента открытия ИИС. Этой категории инвесторов

придется смириться с падением доходности своих операций на фондовой бирже как из-за невозможности больше возвращать доход, полученный на брокерском счете, так и из-за невозможности перейти на использование вычета второго типа. Это также может стимулировать данных инвесторов перейти к более агрессивным спекуляциям, чтобы восполнить потерянные доходы. А при отсутствии для этого навыков – такой переход может привести к потере ими вложенных денежных средств и к разочарованию в данном виде финансовых вложений.

Уход с фондовой биржи частных инвесторов нивелирует открывшуюся для корпоративных эмитентов возможность привлекать там от них дополнительное долговое финансирование для реализации своих проектов в реальном секторе экономики. Именно возможность вложения частных инвесторов в облигации является наиболее перспективным синергетическим биржевым механизмом соотнесения заинтересованности инвесторов в доходе, компаний – в финансировании, а экономики – в финансировании инвестиционных проектов.

Облигации – наиболее перспективный и очень распространенный тип ценных бумаг как для частного инвестора, так и для компаний-эмитентов. С точки зрения инвестора, особенно неопытного, облигации – наиболее удобный способ получения регулярного дохода от вложений на фондовой бирже [26]. Эмитент – компания или государство – не имеют права не платить инвестору положенный ему по эмиссионным документам доход (в отличие от других типов ценных бумаг). Это возможно только в случае дефолта эмитента. Государственные облигации традиционно считаются наименее рискованным инструментом для вложений, по безопасности их превосходят только депозиты.

Важно отметить, что облигации имеют преимущество и для компании-эмитента, причем их выпуск для финансирования деятельности может быть даже предпочтительнее привлечения банковского финансирования, хотя доступен такой вариант не всем [27]. Главное преимущество заключается в отсутствии необходимости предоставления залога. Также компания вольна сама определять условия займа денежных средств, тогда как в случае банковского кредитования стоимость заимствования будет определять банк на основании анализа состояния заемщика. Это может позволить привлечь финансирование на потенциально более льготных условиях. Также выпуск облигаций дает возможность обойти специфический риск оппортунистического поведения банка в виде переуступки долга потенциально недружелюбно настроенному к заемщику кредитору.

Акции – другой очень распространенный тип ценных бумаг – не позволяют компаниям получать финансирование на фондовом рынке на регулярной основе. Также и инвесторы не могут ожидать фиксированного дохода при их покупке – не по всем акциям в принципе платятся дивиденды, и даже если их выплата предусмотрена дивидендной политикой, компании имеют право уменьшать или выплачивать дивиденды по своему усмотрению. Также в случае ликвидации компании-эмитента акция владельцы облигаций будут иметь преимущество перед владельцами акций при удовлетворении своих требований [28].

Вместо того, чтобы поддерживать интерес инвесторов к рынку облигаций, государство с 2021 г. также дестимулировало развитие этого рынка.

До 2021 г. из состава налоговой базы исключался купонный и дисконтный доход по обращающимся облигациям российских компаний, номинированным в рублях и эмитированным после 1 января 2017 г., а также купоны по государственным облигациям, облигациям республики Беларусь и субъектов РФ, а также по облигациям, выпущенным по решению представительных органов местного самоуправления. Теперь же эти льготы не только отсутствуют, но, как было упомянуто ранее, этот прирост налоговой базы нельзя компенсировать вычетом по НДФЛ на основании вноса на ИИС.

В настоящее время фондовый рынок переживает период роста интереса к нему со стороны розничных инвесторов. У данного явления есть ряд причин, которые имеют фундаментальный характер, потому частные инвесторы, как минимум, сохранят свое присутствие на рынке, а также смогут его увеличить. Если государство простимулирует инвесторов посредством предоставления соответствующих налоговых льгот приобретать корпоративные облигации, это может послужить драйвером развития отечественной экономики.

Налоговое стимулирование инвестиций в обрабатывающую промышленность через облигации

Для развития высокотехнологичной обрабатывающей промышленности необходимо внедрить меры ее целенаправленной поддержки. Учитывая тот факт, что инвестиции из-за рубежа направлены не на компании из таких отраслей, а также ту особенность, что отдача от вложений в подобные проекты требует ждать много лет, что подразумевает возможность роста геополитического риска за время реализации такого проекта, стоит опираться преимущественно на национальный капитал. В настоящий момент мы переживаем очередную рост геополитической напряженности, потому надеяться на кардинальное изменение направленности вложений иностранных инвесторов не представляется возможным.

Необходимо ввести налоговые льготы для частных инвесторов, уменьшив или отменив НДФЛ при налогообложении дохода, полученного при инвестировании в корпоративные облигации компаний, участвующих в «новой индустриализации». Облигации – наиболее оптимальный вид ценных бумаг из-за их характерных черт и простоты использования массовым частным инвестором. Переформатировав отмененные ранее широкие налоговые льготы в более узком ключе, сузив, но сделав более селективным перечень бумаг, по которым будут предоставляться льготы, возможно достичь ожидаемых целей, не сильно уменьшая при этом доходную часть бюджета. Эти меры поддержки станут относительно дешевым вариантом реализации политики государственно-частного партнерства, так как государственные инвестиции и субсидии дополняют инвестиции граждан, которые поддержит государство. Это приведет к обеспечению интересов всех задействованных акторов, параллельно содействуя новой индустриализации РФ:

- а) компании получают больший объем финансовых средств для финансирования своей деятельности;
- б) инвесторы получают больший уровень доходности при прежних рисках;

в) государство содействует реиндустриализации страны, поддерживая перспективные компании и отрасли, не снижая кардинально объем налоговых поступлений из-за точечности предоставления льгот.

Для того, чтобы финансовые ресурсы пошли в компании, которые необходимо поддерживать в первую очередь, целесообразно использовать следующие критерии отбора эмитентов, по операциям с корпоративными облигациями которых нужно предоставлять налоговые льготы:

1) доля владения резидентов РФ должна превышать 50 % в компании-эмитенте. Публичные компании привлекают капитал со всего мира, что является способом поддержания их деятельности, который нужно приветствовать. Но предоставление льгот, которые являются перераспределением финансовых средств, полученных от налогоплательщиков, требует наложить определенные ограничения;

2) компания-эмитент должна на протяжении последних трех лет наращивать долю в выпуске инновационной продукции;

3) компания-эмитент должна относиться к отрасли высокотехнологичной промышленности, например, выпуск медицинского оборудования, лекарственных средств, оптического оборудования и т.п.

Заключение

Многолетняя проблема экономики Российской Федерации – неудовлетворительная отраслевая структура. Опора на добывающую промышленность исчерпала себя, необходимы меры по стимуляции отраслевой перестройки. Для определения типа мер поддержки необходимо понимание стоящих перед промышленными предприятиями проблем. Многолетней проблемой является недостаток финансовых ресурсов, потому важной задачей является поиск источников финансирования предприятий.

Хотя в последние годы процесс замедлился, мировая экономика продолжает развиваться в парадигме финансовой глобализации. Дешевизна и неограниченный объем финансовых ресурсов в мировом масштабе закономерным образом вызывают желание использовать их для развития национальных экономик. Но тенденция направленности иностранных инвестиций в Россию демонстрирует невозможность их использования в качестве драйвера роста высокотехнологичной промышленности. Особенно большую роль в этом играет фактор геополитических рисков, отталкивающий иностранных инвесторов от вложений в такие отрасли.

В настоящий момент сложилась уникальная ситуация быстрого роста присутствия частных инвесторов на отечественном фондовом рынке. У этого есть фундаментальные причины, поэтому тенденция является устойчивой. Национальный капитал менее подвержен влиянию геополитических рисков, потому на него возможно опереться для обеспечения промышленных предприятий финансовыми ресурсами. Для этого инвесторов, чьей основной задачей является получение дохода, необходимо стимулировать вкладывать в определенные отрасли и компании посредством предоставления налоговых льгот, которые будут увеличивать отдачу от вложений в избранные объекты. Селективный подход к предоставлению льгот, рассмотренный в исследовании, потенциально дешевле и эффективнее, чем практика широкой раздачи налоговых льгот, которая присутствовала ранее.

Список литературы

1. Воробьева Е. И. Российский рынок облигаций: состояние и перспективы // Научный вестник: Финансы, банки, инвестиции. 2017. № 2. С. 90–101.
2. Беломятцева О. С. О развитии рынка инноваций и инвестиций Московской биржи и предоставлении налоговых льгот в данном сегменте // Экономика. Налоги. Право. 2018. № 6. С. 112–120.
3. Беломятцева О. С. Особенности и перспективы предоставления частным инвесторам льготы на владение ценными бумагами инновационного сектора экономики // Казанский экономический вестник. 2018. № 4. С. 72–78.
4. Гражданкина О. А., Шапошникова С. В. Выбор индивидуальных инвестиционных счетов при работе с индивидуальным инвестиционным счетом // Вестник Забайкальского государственного университета. 2017. Т. 23, № 4. С. 84–90.
5. Тропина Ж. Н. Специфика функционирования индивидуальных инвестиционных счетов // Контентус. 2017. № 7 (60). С. 16–22.
6. Городец Н. А. Тенденции и перспективы развития отечественного рынка корпоративных облигаций // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2017. № 1. С. 127–133.
7. Гончаренко Т. В., Подгорная К. Н. Индивидуальный инвестиционный счет: тенденции развития // Научный результат. Экономические исследования. 2020. Т. 6, № 4. С. 63–70.
8. Дахова З. И., Носов С. М. Методика оценки доходности облигаций, котирующихся на рынке ценных бумаг // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2018. № 4. С. 262–269.
9. Ячменникова В. В., Дикарева И. А. Обзор и анализ рынка облигаций Российской Федерации // Аллея науки. 2018. № 5. С. 400–403.
10. Пушкарская М. А., Зиниша О. С. Анализ рынка облигаций в Российской Федерации // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 5. С. 539–542.
11. Разумовская Е. А., Шугаев И. А. Некоторые аспекты налогообложения ценных бумаг // Эксперт: теория и практика. 2020. № 6. С. 80–83.
12. Orłowski L. T. Capital markets integration and economic growth in the European Union // Journal of Policy Modeling. 2020. № 42. P. 893–902.
13. Chien Y., Chen Y. L., Wen Y., Yang C. C. Should capital be taxed? // FRB St. Louis Working Paper. 2020. № 2020-033. P. 1–19.
14. Azzimonti M., Yared P. The optimal public and private provision of safe assets // Journal of Monetary Economics. 2019. Iss. 102. P. 126–144.
15. Nagano M. What promotes/prevents firm bond issuance in emerging economies: Bank-firm relationship of information asymmetry? // International Review of Economics and Finance. 2018. Iss. 56. P. 161–177.
16. Mietzner M., Proelss J., Schweize D. Hidden champions or black sheep? The role of underpricing in the German mini-bond market // Small Business Economics. 2018. Iss. 2/2018. P. 375–395.
17. Kedar nath Mukherjee. Demystifying yield spread on corporate bonds trades // Asia-Pacific Financial Markets. 2019. Iss. 2/2019. P. 253–284.
18. Runger S. Personal taxation and individual stock ownership // The European Journal of Finance. 2021. Vol. 27, № 6. P. 596–611.
19. Rieth M. Capital taxation and government debt policy with public discounting // DIW Berlin Discussion Paper. 2017. № 1697. P. 1–37.
20. Karagiannis S., Thomakos D. The Effects of corporate bonds on employment: early evidence from Greece // Review of Economic Analysis. 2020. № 12. P. 235–253.
21. Li Zh., Tang Y., Wu J., Zhang J., Lv Q. The interest costs of green bonds: credit ratings, corporate social responsibility, and certification // Emerging Markets Finance and Trade. 2020. № 56. P. 2679–2692.

22. Шамшидинова Р. А. Формы проявления финансовой глобализации // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2008. № 4. С. 90–92.
23. Кейнс Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег. М. : Гелиос АРВ, 2002. 352 с.
24. Фридман М. Если бы деньги заговорили... : пер. с англ. М. : Дело, 1998. 160 с.
25. Вулфел Ч. Энциклопедия банковского дела и финансов. М. : Федоров, 2000. 1030 с.
26. Подерня Э. С. Облигации как перспективный инвестиционный инструмент в 2020 году // Оригинальные исследования. 2020. № 1. С. 124–130.
27. Паршин М. А. Место рынка корпоративных облигаций в развитии экономики // Russian Economic Bulletin. 2019. № 5. С. 7–10.
28. Алиев Э. Э. Облигации как одна из форм инвестирования для частного инвестора // Вестник современных исследований. 2019. № 8.1. С. 16–20.

References

1. Vorob'eva E.I. The Russian bond market: state and prospects. *Nauchnyy vestnik: Finansy, banki, investitsii = Scientific Bulletin: Finance, banks, investments*. 2017;(2):90–101. (In Russ.)
2. Belomyttseva O.S. On the development of the innovation and investment market of the Moscow Exchange and the provision of tax benefits in this segment. *Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economy. Taxes. Right*. 2018;(6):112–120. (In Russ.)
3. Belomyttseva O.S. Features and prospects of providing private investors with benefits for owning securities of the innovative sector of the economy. *Kazanskiy ekonomicheskii vestnik = Kazan Economic Bulletin*. 2018;(4):72–78. (In Russ.)
4. Grazhdankina O.A., Shaposhnikova S.V. The choice of individual investment accounts when working with an individual investment account. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Trans-Baikal State University*. 2017;23(4):84–90. (In Russ.)
5. Tropina Zh.N. The specificity of functioning of individual investment accounts. *Kontentus*. 2017;(7):16–22. (In Russ.)
6. Gorodets N.A. Trends and prospects of development of the domestic corporate bond market. *Nauchnyy vestnik: finansy, banki, investitsii = Scientific Bulletin: Finance, banks, and investments*. 2017;(1):127–133. (In Russ.)
7. Goncharenko T.V., Podgornaya K.N. Individual investment account: development trends. *Nauchnyy rezul'tat. Ekonomicheskie issledovaniya = Scientific result. Economic research*. 2020;6(4):63–70. (In Russ.)
8. Dakhova Z.I., Nosov S.M. Methodology for assessing the yield of bonds quoted on the securities market. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava = Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law*. 2018;(4):262–269. (In Russ.)
9. Yachmennikova V.V., Dikareva I.A. Review and analysis of the bond market of the Russian Federation. *Alleya nauki = Alley of Science*. 2018;(5):400–403. (In Russ.)
10. Pushkarskaya M.A., Zinisha O.S. Analysis of the bond market in the Russian Federation. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki = Modern scientific research and development*. 2018;(5):539–542. (In Russ.)
11. Razumovskaya E.A., Shugaev I.A. Some aspects of securities taxation. *Ekspert: teoriya i praktika = Expert: theory and practice*. 2020;(6):80–83. (In Russ.)
12. Orlovski L.T. Capital markets integration and economic growth in the European Union. *Journal of Policy Modeling*. 2020;(42):893–902.
13. Chien Y., Chen Y. L., Wen Y., Yang C. C. Should capital be taxed? *FRB St. Louis Working Paper*. 2020;(2020-033):1–19.

14. Azzimonti M., Yared P. The optimal public and private provision of safe assets. *Journal of Monetary Economics*. 2019;(102):126–144.
15. Nagano M. What promotes/prevents firm bond issuance in emerging economies: Bank-firm relationship of information asymmetry? *International Review of Economics and Finance*. 2018;(56):161–177.
16. Mietzner M., Proelss J., Schweize D. Hidden champions or black sheep? The role of underpricing in the German mini-bond market. *Small Business Economics*. 2018;(2/2018):375–395.
17. Kedar nath Mukherjee. Demystifying yield spread on corporate bonds trades. *Asia-Pacific Financial Markets*. 2019;(2/2019):253–284.
18. Runger S. Personal taxation and individual stock ownership. *The European Journal of Finance*. 2021;27(6):596–611.
19. Rieth M. Capital taxation and government debt policy with public discounting. *DIW Berlin Discussion Paper*. 2017;(1697):1–37.
20. Karagiannis S., Thomakos D. The Effects of corporate bonds on employment: early evidence from Greece. *Review of Economic Analysis*. 2020;(12):235–253.
21. Li Zh., Tang Y., Wu J., Zhang J., Lv Q. The interest costs of green bonds: credit ratings, corporate social responsibility, and certification. *Emerging Markets Finance and Trade*. 2020;(56):2679–2692.
22. Shamshidinova R.A. Forms of manifestation of financial globalization. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*. 2008;(4):90–92. (In Russ.)
23. Keynes Dzh.M. *Obshchaya teoriya zanyatosti, protsenta i deneg = General theory of employment, interest and money*. Moscow: Gelios ARV, 2002:352. (In Russ.)
24. Fridman M. *Esli by den'gi zagovorili...: per. s angl. = If money spoke ...: trans. from English*. Moscow: Delo, 1998:160. (In Russ.)
25. Vulfel Ch. *Entsiklopediya bankovskogo dela i finansov = Encyclopedia of Banking and Finance*. Moscow: Fedorov, 2000:1030. (In Russ.)
26. Podernya E.S. Bonds as a promising investment tool in 2020. *Original'nye issledovaniya = Original research*. 2020;(1):124–130. (In Russ.)
27. Parshin M.A. The place of the corporate bond market in the development of the economy. *Russian Economic Bulletin*. 2019;(5):7–10. (In Russ.)
28. Aliev E.E. Bonds as one of the forms of investment for a private investor. *Vestnik sovremennykh issledovaniy = Bulletin of Modern Research*. 2019;(8.1):16–20. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Марк Валентинович Дементьев
аспирант,
Санкт-Петербургский государственный
университет
(Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Чайковского, 62)
E-mail: Mark_sur@mail.ru

Mark V. Dement'ev
Postgraduate student,
Saint Petersburg State University
(62 Chaykovskogo street,
Saint Petersburg, Russia)

ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ХМЕЛЕВОДСТВА В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

О. Г. Каратаева

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
okarataeva@rgau-msha.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Сложившиеся в мире геополитическая обстановка и специфика регионального развития субъектов России на данный момент требуют корректировки подходов к обеспечению национальной безопасности в части гарантированного снабжения населения качественными не только продуктами, но и лекарственными препаратами. В работе рассматривается мировая проблема нехватки продовольствия, которая существует уже не одно десятилетие. До недавнего времени она охватывала зачастую лишь слаборазвитые страны и в меньшей степени страны третьего мира. Доказывается значимость и актуальность решения проблемы обеспечения продовольственной безопасности регионов России с учетом разработанных критериев для товаров, входящих в состав потребительской корзины, и модернизации отраслей АПК на региональном уровне. *Материалы и методы.* Методологической основой явились общенаучные, частные и экономические методы исследования, методы монографического исследования, абстрактно-логические, статистические. Общенаучным методом в данном случае выступает диалектический метод, а в числе частных – анализ, наблюдение, гипотеза, научная абстракция. В качестве статистического инструментария использовались методы факторного анализа, метод группировок, а также табличные и графические приемы визуализации статистических данных. *Результаты.* Предлагается абсолютная инновационная комплексная стратегия по возрождению и устойчивому развитию отрасли хмелеводства в России в рамках Agriculture 4.0. *Выводы.* В Чувашской Республике восстановление хмелеводства – это один из перспективных способов развития предпринимательства на селе. Возрождение традиционного вида растениеводства позволит повысить уровень жизни сельского населения путем расширения масштабов его занятости и увеличения доходов.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, сельское хозяйство, продовольственная безопасность, пандемия, Covid-19

Для цитирования: Каратаева О. Г. Формирование эффективной системы обеспечения продовольственной безопасности в Российской Федерации на основе модернизации хмелеводства в Чувашской Республике // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 70–78. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-4

FORMATION OF AN EFFECTIVE SYSTEM FOR ENSURING FOOD SECURITY IN THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON THE MODERNIZATION OF HOP GROWING IN THE CHUVASH REPUBLIC

O.G. Karataeva

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
okarataeva@rgau-msha.ru

Abstract. *Background.* The current geopolitical situation in the world and the specifics of the regional development of the subjects of Russia at the moment require adjusting approaches to ensuring national security in terms of guaranteed supply of the population not only with decent quality products, but also with high-quality medicines. The paper considers the global problem of food shortage, which has existed for more than a decade. Until recently, it often covered only underdeveloped countries and, to a lesser extent, third world countries. The paper proves the importance and relevance of solving the problem in ensuring food security of the regions of Russia, taking into account the developed criteria for goods that are part of the consumer basket, and the modernization of agricultural industries at the regional level. *Materials and methods.* The methodological basis was the general scientific, private and economic methods of research, monographic research, abstract-logical, statistical. The general scientific method in this case is the dialectical method, and among the particular ones: analysis, observation, hypothesis, scientific abstraction. The methods of factor analysis, the method of grouping, as well as tabular and graphical methods of visualization of statistical data were used as statistical tools. *Results.* The author proposes an absolute innovative comprehensive strategy for the revival and sustainable development of the hop growing industry in Russia within the framework of Agriculture 4.0. *Conclusions.* In the Chuvash Republic, the restoration of hop growing is one of the promising ways to develop entrepreneurship in rural areas. The revival of the traditional type of crop production will improve the standard of living of the rural population by expanding the scale of its employment and increasing the income of agricultural producers.

Keywords: agro-industrial complex, Food Security Doctrine of the Russian Federation, agriculture, food security, pandemic, Covid-19

For citation: Karataeva O.G. Formation of an effective system for ensuring food security in the Russian Federation based on the modernization of hop growing in the Chuvash Republic. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;2:70–78. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-4

Введение

По данным немецкой благотворительной организации Welthungerhilfe на 2020 г., число голодающих стремится к 1 млрд и на сегодня составляет 822 млн человек или 11 % населения планеты. Многие страны всерьез задумались о поиске новых эффективных инструментов по обеспечению продовольственной безопасности своих государств¹. Проблема обеспечения качественным продовольствием признана на мировом уровне и закреплена в

¹ Благотворительная организация Welthungerhilfe. URL: <https://finance.rambler.ru/other/44468083-chislo-golodayuschih-na-planete-prevysit-milliard-chelovek/> (дата обращения: 08.06.2021).

Декларации тысячелетия Организации Объединенных Наций в сентябре 2000 г. Одной из стратегических задач Декларации является искоренение крайней нищеты и голода, которые на тот момент наблюдались в основном в странах Африки¹. В настоящее время (спустя 20 лет) коронавирусная пандемия, объявленная в 2020 г., только усугубила ситуацию. Периодический рост заболеваемости Covid-19 в мире привел к кризису мирового здравоохранения.

Исторически сложилось, что агропромышленный комплекс России развивается особым образом, который отличается от мирового развития сельского хозяйства.

В связи с этим Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации² должна реализовываться не только на основе фундаментальных исследований в области науки о питании, но и с учетом тенденций развития современного агропромышленного комплекса.

Растениеводство является основной структурообразующей отраслью сельского хозяйства, влияющей на продовольственную (продуктовую) безопасность регионов и страны в целом.

Научная значимость и актуальность решения проблемы заключается в обеспечении продовольственной безопасности России с учетом разработанных критериев для товаров, входящих в состав потребительской корзины, развития макроэкономических прогнозов, расчета емкости сегментов национального рынка, реальных доходов населения, прогноза демографических показателей в регионах и экспортных возможностей и развития традиционного сельского хозяйства в регионах. Модернизация отрасли растениеводства в регионах позволит не только сформировать инновационную систему обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации, но и восстановить традиционное сельское хозяйство в регионах.

Методы исследования

Теоретическим и практическим вопросам определения критериев и влияния различных факторов на уровне продовольственной безопасности Российской Федерации посвящены работы многих авторов: А. А. Афиногенова, А. И. Алтухова, Г. В. Бондарева, И. Н. Бузалова, А. В. Гордеева, Р. Р. Гумерова, С. В. Киселева, Н. Я. Коваленко, В. А. Кундиус, Э. Н. Крылатых, В. А. Мальцева, В. В. Милосердова, Р. И. Назаренко, С. О. Орсика, О. И. Пантелеева, Л. С. Ревенко, Е. В. Серова, В. Я. Узун, И. Г. Ушачева, Б. Е. Фрумкина, Ю. С. Хромова, Н. И. Шагайды, М. Л. Яшина [1].

Вопросы повышения экономической эффективности растениеводства представлены в работах Н. С. Власова, В. Т. Водяникова, В. А. Добрынина, Ю. А. Конкина, Н. М. Морозова, К. П. Оболенского, Е. С. Оглобина, В. А. Свободина; вопросы кооперации – в работах А. В. Чайнова, И. Д. Кондратьева, А. И. Чупрова, Е. В. Худяковой. Вопросами интенсификации хме-

¹ Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций : [принята резолюцией 55/2 Генеральной Ассамблеи от 08.09.2000]. URL: <https://mintrud.gov.ru/docs/4> (дата обращения: 08.06.2021).

² Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации до 2030 года : [указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации»]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 08.06.2021).

леводства в разные годы занимались И. П. Куровский и чувашские ученые – А. Р. Крылова, А. Р. Рупошев, Н. А. Александров, М. И. Крылова, Д. И. Кураков, Г. А. Максимов, А. С. Сергеев, А. Е. Макушев [2].

Возделывание и товарное производство хмеля и хмелепродуктов, биологическое и товароведческое сортоведение хмеля, особенности размножения культуры, технологии ее возделывания и переработки, средства механизации, методы защиты растений от вредителей и болезней хмеля, развитие традиционных областей России, а также новых регионов возделывания хмеля исследовал Н. А. Александров [3].

В монографии «Инженерно-технологические резервы в интенсификации возделывания хмеля в Чувашской Республике» рассмотрены технологии и машины для производства хмелепродукции, разработан комплекс агрегатов для интенсивного возделывания хмеля, дана комплексная оценка организационно-экономическим, технологическим и инвестиционным предпосылкам развития хмелеводства в Чувашской Республике. В работе представлены практические рекомендации по повышению эффективности производства хмеля на основе наукоемких технологических инноваций, обоснованы закономерности изменения почвенных условий, технологические операции при выращивании хмеля с применением сельскохозяйственных машин-трансформеров.

Особое внимание уделяется в монографии состоянию хмелеводства и обоснованию технологии выращивания хмеля, позволяющей полностью механизировать все технологические операции, конструированию хмелемашин на основе принципов трансформизма и биологизации хмелеводства [4].

Анализом организационно-экономического механизма формирования инновационной среды (понятийный аппарат и нормативно-правовая база), изучением инфраструктуры инновационной среды АПК (анализом потенциала научно-образовательной сферы, вовлечения инноваций в народнохозяйственный оборот), состояния элементов инновационной среды, системы предпринимательства, образования, науки и технико-технологических разработок с позиций вовлечения инновационных технологий в АПК занимались ученые Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Росинформагротех» Т. Е. Марченко, В. Н. Кузьмин, А. П. Королькова, С. И. Сыпок и ученые Федерального научного центра аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийского научно-исследовательского института экономики сельского хозяйства Д. А. Чепик, Н. Е. Рыженкова [5].

Предпосылки трансформации АПК и глобальные тренды озвучены в докладе, подготовленном Институтом аграрных исследований НИУ ВШЭ совместно с Национальной ассоциацией трансфера технологий и Фондом «Сколково» для пленарного заседания Апрельской конференции НИУ ВШЭ по инновационному развитию АПК России. В докладе рассматриваются ключевые вызовы и перспективные направления развития российского АПК, предпосылки, факторы роста и барьеры его глобальной конкурентоспособности [6].

Методологической основой явились общенаучные, частные и экономические методы исследования, методы монографического исследования, абстрактно-логические, статистические. Общенаучным методом в данном случае выступает диалектический метод, а в числе частных – анализ, наблю-

дение, гипотеза, научная абстракция. В качестве статистического инструментария использовались методы факторного анализа, метод группировок, а также табличные и графические приемы визуализации статистических данных. Для обработки информации применялись пакеты прикладных программ MS Excel, STATISTIKA, Eviews, STATA. В работе использовались абстрактно-логический, расчетно-конструктивный, аналитический и другие методы исследования. При обработке исходной информации – экономико-статистический и ретроспективный и сравнительный анализ экспертных оценок, корреляционный, регрессионный, социологических исследований. При обосновании результатов исследований будет использован системный анализ, кластерный и контент-анализ, экономико-математическое и имитационное моделирование, прогнозирование, прогнозный сценарий.

Результаты

Возрождение традиционного сельского хозяйства в растениеводстве позволит не только повысить уровень жизни сельского населения, но и восстановить отрасли растениеводства, влияющие на обеспечение продовольственной безопасности России. Хмелеводство является одной из таких отраслей. Возделывание и производство хмеля представляет особую значимость, так как данная культура имеет широкий спектр использования – пищевая промышленность, пивоваренное производство, медицина, химическая промышленность.

Годовая потребность хмелесырья в России составляет около 30 тыс. т.

Имеющиеся в стране, а в частности в Чувашском регионе, посевные площади хмеля на 2020 г. составили 386 га, валовой сбор 185,1 тыс. т. Недостающее количество хмелесырья закупается за границей, на что тратятся валютные средства. Стоимость одного килограмма сухих шишек составляет 8–10 евро.

Модернизация отраслей растениеводства, а в частности хмелеводства, является одним из инструментов биотехнологического прорыва в сельском хозяйстве, радикального технологического преобразования в агропромышленном комплексе экономики страны и роста конкурентоспособности продукции растениеводства (в частности хмелеводства).

Возрождение отрасли хмелеводства в России позволит решить следующие задачи:

- удовлетворить отрасли, зависящие от хмелесырья;
- снизить долю импорта хмелесырья, что приведет к росту отечественного растениеводства;
- вовлечь в производственный процесс заброшенные земли сельскохозяйственного назначения;
- снизить рыночную цену на сырьевую продукцию за счет отсутствия курсовой разницы;
- создать новые рабочие места;
- восстановить традиционное сельскохозяйственное производство в регионе;
- поддержать сельскую экономику и устойчивое развитие сельских территорий.

Предлагаемая инновационная комплексная стратегия по возрождению и устойчивому развитию отрасли хмелеводства в России в рамках Agriculture 4.0 предполагает разработку подробного организационно-экономического механизма взаимодействия субъектов хмелеводческого рынка во главе с государством. С учетом актуальности проблемы и поставленных задач перед региональным АПК по возрождению традиционного сельского хозяйства предусматривается создание малого инновационного предприятия по производству хмелесырья, координатором которого будет выступать образовательный центр «Форсайт-образование» – структурное подразделение Института экономики и управления АПК ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева [7].

В 2000-х гг. интерес государства к возделыванию хмеля был сведен к минимуму, в результате чего в 2010 г. произошла практически полная ликвидация единственного в России отраслевого института хмелеводства, который был преобразован в обычный отдел республиканского НИИ сельского хозяйства. С началом санкционной политики 2014 г. абсолютно все сферы агропромышленного комплекса были признаны приоритетными, играющими главную роль в сохранении продовольственной безопасности страны. Успешное ведение хмелеводства – это, прежде всего, возделывание традиционных сортов хмеля и внедрение малозатратных комплексных технологий при возделывании, уборке, транспортировке, глубокой переработке и реализации хмелесырья. Создание малого инновационного предприятия с государственной составляющей (образовательный центр «Форсайт-образование») позволит структурировать и наладить тесные связи между сельхозтоваропроизводителями, бизнесом и государством. Инженерные инновационные проекты практически всегда имеют высокую экономическую эффективность и технологическую значимость [8].

Одним из заинтересованных сегментов данного проекта, безусловно, станут пивоваренная, пищевая и медицинская промышленности, сырье для которых будет доступнее и дешевле. В свою очередь, у аграриев появятся новые рабочие места. Интересы государства сводятся к устойчивому развитию сельских территорий и увеличению площади обрабатываемых земель. Так как плодоносить хмель начинает спустя три года после посадки, ожидаемые результаты в первый год реализации проекта будут наблюдаться благодаря поддержке уже функционирующих хозяйств, а также проведению инвентаризации и систематизации имеющихся производственных мощностей отрасли.

Заключение

Проведенный анализ и обследование рынка производства хмелесырья позволят сделать выводы, что формирование эффективной системы обеспечения продовольственной безопасности в РФ на основе модернизации хмелеводства в Чувашской Республике необходимо разделить на четыре этапа:

1-й этап: провести анализ развития хмелеводства в решении вопросов продовольственной безопасности на материалах Российской Федерации. Для этого необходимо проанализировать теоретические основы (факторы, условия) формирования продовольственной безопасности на основе инновационного развития отраслей и подкомплексов АПК.

2-й этап: определить концептуальные теоретико-методологические аспекты основы формирования продовольственной безопасности в условиях

инновационного развития хмелеводства. В рамках исследования определить методологические основы формирования продовольственной безопасности Российской Федерации в условиях инновационного развития хмелеводства. Сформулировать принципы и подходы формирования региональных программ инновационного развития отраслей и подкомплексов АПК. Разработать методику комплексной оценки уровня продовольственной безопасности Российской Федерации с учетом интегральных показателей оценки социально-экономического развития региона на примере Чувашской Республики.

3-й этап: обобщить мировые тенденции развития хмелеводства, оценить уровень инновационного развития отрасли Чувашской Республики. Дать технико-экономическую оценку развития отрасли в микроразнообразиях и выявить проблему сокращения объемов производства.

4-й этап: разработать методику комплексной оценки уровня развития традиционного сельского хозяйства в Чувашской Республике. Предлагаемая методика основана:

- на зональном развитии подкомплекса с учетом природно-климатических особенностей Чувашской Республики;
- комплексном подходе в применении технико-технологических инноваций в хмелеводстве региона;
- сценарном прогнозе инновационного развития подкомплекса;
- оценке изменения уровня продовольственной безопасности.

Совершенствовать организационно-экономический механизм развития традиционного сельского хозяйства с учетом многофункциональности, в основе которого лежит согласованное взаимодействие органов государственной власти, бизнеса, науки.

В статье сформулированы и систематизированы контекстуальные технико-методологические положения по формированию эффективной системы обеспечения продовольственной безопасности в РФ на основе модернизации хмелеводства в Чувашской Республике.

Сформированы основные направления инновационного развития регионального АПК в рамках Agriculture 4.0 и Индустрия 6.0.

Установлена значимость восстановления традиционного сельского хозяйства в Чувашии, в частности хмелеводства с учетом потребления хмелесырья по отраслям и развития сельских территорий.

В Чувашской Республике восстановление хмелеводства – это один из перспективных способов развития предпринимательства на селе. Возрождение традиционного вида растениеводства позволит повысить уровень жизни сельского населения путем расширения масштабов его занятости и увеличения доходов сельскохозяйственных товаропроизводителей. В данной сфере деятельности себя могут реализовать субъекты малого агробизнеса: сельскохозяйственные кооперативы, крестьянские фермерские хозяйства, начинающие фермеры [4].

Создание малого инновационного предприятия по производству хмелесырья, координатором которого будет выступать образовательный центр «Форсайт-образование», позволит повысить уровень образования кадров в отрасли, увеличить экономическую эффективность производства товарного хмелесырья за счет вовлечения имеющихся природно-климатических ресурсов, что даст возможность обеспечить продовольственную и экономическую безопасность страны на многие годы вперед [4].

Список литературы

1. Титов М. А., Бирюкова А. А., Сосунова Н. Б. [и др.]. Продовольственная безопасность, самообеспеченность России по критериям товаров из продовольственной потребительской корзины на ближайшие годы. М. : Росинформагротех, 2019. 256 с.
2. Каратаева О. Г. Повышение эффективности производства и переработки хмеля (на материалах Чувашской Республики) : дис. ... канд. эконом. наук. М. : Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина, 2011. 172 с.
3. Александров Н. А., Рупошев А. Р. Агробиологические основы возделывания и производства хмеля и хмелепродуктов в Российской Федерации / под ред. Н. А. Александрова. М. : Новое Время, 2018. 648 с.
4. Пушкаренко Н. Н., Смирнов П. А., Коротков А. В. [и др.]. Инженерно-технологические резервы в интенсификации возделывания хмеля в Чувашской Республике : монография. Чебоксары : Чуваш. гос. сельхоз. акад., 2018. 357 с.
5. Организационно-экономический механизм формирования инновационной среды в АПК : аналит. обзор. М. : Росинформагротех, 2020. 112 с.
6. Орлова Н. В., Серова Е. С., Николаев Д. В. [и др.]. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4.0 : докл. к XXI Агр. междунар. научн. конф. по проблемам развития экономики и общества (Москва, 2020 г.) / под ред. Н. В. Орловой. М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. 128 с.
7. Karataeva O. G., Chutcheva J. V., Gladyshev Y. M. Organizational and economic mechanism of interaction between hops producers and consumers. Lecture notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 205. P. 525–529.
8. Sergeeva N. V., Arinichev V. N., Shevkun N. A. [et al.]. Economic evaluation of innovative engineering solutions in animal husbandry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – AGRITECH-IV-2020. IOP Publishing, 2021. Vol. 677 (2). P. 022036. doi: 10.1088/1755-1315/677/2/022036.

References

1. Titov M.A., Biryukova A.A., Sosunova N.B. [et al.]. *Prodovol'stvennaya bezopasnost', samoobespechennost' Rossii po kriteriyam tovarov iz prodovol'stvennoy potrebitel'skoy korziny na blizhayschie gody = Food security, self-sufficiency of Russia according to the criteria of goods from the food consumer basket for the coming years*. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019:256. (In Russ.)
2. Karataeva O.G. Increasing the efficiency of production and processing of hops (based on materials of the Chuvash Republic). PhD dissertation. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V. P. Goryachkina, 2011:172. (In Russ.)
3. Aleksandrov N.A., Ruposhev A.R. *Agrobiologicheskie osnovy vozdelevaniya i proizvodstva khmelya i khmeleproduktov v Rossiyskoy Federatsii = Agrobiological bases of cultivation and production of hops and hop products in the Russian Federation*. Moscow: Novoe Vremya, 2018:648. (In Russ.)
4. Pushkarenko N.N., Smirnov P.A., Korotkov A.V. [et al.]. *Inzhenerno-tekhnologicheskie rezervy v intensivatsii vozdelevaniya khmelya v Chuvashskoy Respublike: monografiya = Engineering and technology gicheskies reserves in the intensification of hop cultivation in the Chuvash Republic: monograph*. Cheboksary: Chuvash. gos. sel'khoz. akad., 2018:357. (In Russ.)
5. *Organizatsionno-ekonomicheskiy mekhanizm formirovaniya innovatsionnoy sredy v APK: analit. Obzor = Organizational and economic mechanism for the formation of an innovative environment in the agro-industrial complex: analyte. overview*. Moscow: Rosinformagrotekh, 2020:112. (In Russ.)
6. Orlova N.V., Serova E.S., Nikolaev D.V. [et al.]. *Innovatsionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa v Rossii. Agriculture 4.0: dokl. k XXI Agr. mezhdunar. nauchn. konf.*

po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva (Moskva, 2020 g.) = Innovative development of the agro-industrial complex in Russia. Agriculture 4.0: reports. by XXI Apr. international scientific. conf. on the problems of economic and social development (Moscow, 2020). Moscow: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki, 2020:128. (In Russ.)

7. Karataeva O.G., Chutcheva J.V., Gladyshev Y.M. Organizational and economic mechanism of interaction between hops producers and consumers. *Lecture notes in Networks and Systems*. 2021;205:525–529.
8. Sergeyeva N.V., Arinichev V.N., Shevkun N.A. [et al.]. Economic evaluation of innovative engineering solutions in animal husbandry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – AGRITECH-IV-2020*. IOP Publishing, 2021;677(2):022036. doi: 10.1088/1755-1315/677/2/022036.

Информация об авторах / Information about the authors

Оксана Григорьевна Каратаева

кандидат экономических наук, доцент
кафедры организации производства,
Российский государственный
аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева
(Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)
E-mail: okarataeva@rgau-msha.ru

Oksana G. Karataeva

Candidate of economical sciences,
associate professor of the sub-department
of production organization,
Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy
(49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

РАЗДЕЛ 2 МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

SECTION 2 MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

УДК 616-05.001.575

doi:10.21685/2227-8486-2021-2-5

МОДЕЛЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ С РЕГУЛЯЦИЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

С. В. Фролов¹, А. А. Коробов², Д. Ш. Газизова³, А. Ю. Потлов⁴

^{1,2,4} Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева Минздрава России, Москва, Россия

¹ sergej.frolov@gmail.com, ² korobov1991@mail.ru, ³ dgazizova@yandex.ru, ⁴ zerner@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Проведен анализ существующих моделей сердечно-сосудистой системы с контурами регуляции, которые используются для исследовательских целей и диагностики заболеваний в медицине. Предложена новая динамическая модель сердечно-сосудистой системы с пульсирующим сердцем, учитывающая процессы регуляции. *Материалы и методы.* Модель состоит из управляемой и неуправляемой частей. В качестве неуправляемой части выступает блок сердечно-сосудистой системы, который состоит из сердца, сосудов и звеньев, передающих сигнал до объекта управления, и представляется в виде последовательности упругих камер и элементов сопротивления. Управляемая часть имеет вид иерархической структуры регуляции и состоит из верхнего и нижнего уровней регуляции. В качестве модели регуляции предложена модель градиентного управления с использованием алгоритмов нейронных сетей. *Результаты.* В модели рассмотрена регуляция кровотока в венах нижней части тела, давления в центральной артериальной камере, кровотока в артериях верхней части тела, давления в капиллярах верхней части тела за счет изменения ненапряженного объема вен нижней части тела, сопротивления артерий нижней части тела, числа сердечных сокращений, сопротивления артерий верхней части тела. *Выводы.* Благодаря простоте модели и наглядности полученных результатов модель можно будет использовать в палатах интенсивной терапии.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, численная модель, саморегуляция, нейронная сеть, пульсирующее сердце

Для цитирования: Фролов С. В., Коробов А. А., Газизова Д. Ш., Потлов А. Ю. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 79–94. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-5

© Фролов С. В., Коробов А. А., Газизова Д. Ш., Потлов А. Ю., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

CARDIOVASCULAR MODEL WITH REGULATION USING A NEURAL NETWORK

S.V. Frolov¹, A.A. Korobov², D.Sh. Gazizova³, A.Yu. Potlov⁴

^{1,2,4} Tambov State Technical University, Tambov, Russia

³ A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery
of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

¹ sergej.frolov@gmail.com, ² korobov1991@mail.ru, ³ dgazizova@yandex.ru, ⁴ zerner@yandex.ru

Abstract. *Background.* The results of the analysis of reference numerical models of the cardiovascular system with a control mode were presented. Numerical models which are used for biomedical research purposes and diagnostics of cardiovascular diseases were taken into account. A new highly efficient dynamic numerical model of the cardiovascular system with a pulsating heart is proposed. *Materials and methods.* The numerical model includes a controllable and uncontrollable part. A heart, vessels and elements that transmit a signal to the control object are represented by uncontrollable part of the cardiovascular model and are simulated as a sequence of elastic chambers and resistance elements. The controllable part is presented in the form of a hierarchical control structure and consists of the upper and lower levels. A gradient-based self-control numerical model based on neural network algorithms is proposed as major component of control mode. *Results.* The proposed model makes it possible to simulate control procedure with a high degree of reliability, in particular, venous pressure control in the low part of body, pressure control in the central arterial chamber, blood flow control in the upper part of body, capillary pressure control in the upper part of body. A change in resistance in the arteries, a change in the number of heartbeats, a change in resistance in the upper part of body and a change in the unstressed volume are used as control response. *Conclusions.* Due to the simplicity of the model and the clarity of the results obtained, the model can be used in intensive care units.

Keywords: cardiovascular system, numerical model, self-control system, neural network, pulsating heart

For citation: Frolov S.V., Korobov A.A., Gazizova D.Sh., Potlov A.Yu. Cardiovascular model with regulation using a neural network. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;2:79–94. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-5

Заболевания сердечно-сосудистой системы являются одной из главных причин смертности населения в России и мире. Этим обуславливается применение новейших технологий в диагностике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний.

Обзор разработки и применения в клинике математических моделей сердечно-сосудистой системы

С семидесятых годов прошлого века одним из трендов кардиологии стало применение математических моделей и методов для диагностики и лечения сердца и сердечно-сосудистой системы. У нас в стране это направление особенно успешно развивалось школами Н. М. Амосова, В. И. Бураковского, В. И. Шумакова, В. А. Лищука [1–16].

Такой подход стал осуществим благодаря развитию кардиологии на стыке математики, медицины и техники [1–4]. Возможности этого направления позволили перейти к сравнимым количественным оценкам, выявить им-

манентные причины осложнений [13, 17], разработать методы поддержки диагностических решений [13, 17] и управления лечением больных под наркозом во время и после операций на сердце и сосудах [5, 6, 11]. Была разработана, апробирована в экспериментах и внедрена в клинику технология индивидуальной терапии, лучшей для каждого пациента персонально [5, 6, 8]. В основе технологии лежали модели гемодинамики, отображающие пульсирующее сердце (левый и правый желудочки, предсердия и сосудистое русло), саморегуляцию сердца, сосудов и объема циркулирующей крови, а также гуморальный фон (естественный и создаваемый введением допамина, адреналина, других лечебных средств, переливанием крови и жидкостей). В результате удалось добиться значимого снижения осложнений, летальности, повышения качества терапии, устранить недостатки [10–12, 14, 18–21].

Для полноценного внедрения математических моделей в кардиологию нужно было перейти от моделей гемодинамики к моделям, отражающим не только функцию сердечно-сосудистой системы, но и ее регуляцию. Главным элементом при использовании таких моделей является то, что математическое описание должно отражать цели и критерии управления, которое осуществляет центральная нервная система. Целью управления сердечно-сосудистой системой является обеспечение метаболизма – снабжения тканей, органов и самой сердечно-сосудистой системы кислородом, питанием, выводом углекислого газа и других отходов жизнедеятельности. Долгое время, несмотря на усилия многих научных коллективов, такую модель, пригодную для клинического применения, построить не удавалось. Прорыв произошел в результате дополнения классической схемы многофункциональной и сильно-связанной системы управления принципом уравнивания ошибок саморегуляции [3, 4, 7, 9, 16, 22–24]. В результате математические модели стали успешно применяться как для больных под наркозом («загруженных»), так и больных в сознании [15, 25–28].

За рубежом развитие моделей сердечно-сосудистой системы шло в несколько ином направлении. Широко использовались электрические и физико-технические аналоги. Рассмотрим в связи с этим наиболее известные модели кровообращения.

В исследовании [29] описывается модель с сосредоточенными параметрами Windkessel, которая является основой для целого семейства нульмерных моделей. Несмотря на простоту таких моделей и отсутствие описания регуляторных механизмов, их пытаются использовать для оценки различных гемодинамических параметров [30].

Множество моделей построено на основе гидравлических или электрических аналогий [31–33]. Целый класс моделей был создан в рамках прогнозирования состояния кровообращения при применении вспомогательных устройств для кровообращения [34–35].

Модель [36] состоит из 13 подсистем, включая левый и правый желудочки, верхние конечности и мозговое кровообращение, почечное кровообращение, внутреннее кровообращение, нижние конечности, полую вену и аорту. Каждая подсистема описывается как электрическая цепь с сосредоточенными параметрами на основе модели Windkessel. Параметры сердечно-сосудистой системы представлены через аналогию с электрическим сопротивлением, емкостью и индуктивностью.

Создана модель [37] с сосредоточенными параметрами, которая потенциально полезна для моделирования врожденных пороков сердца в реальном времени. Модель состоит из двух компонентов – Windkessel части, моделирующей сердечно-сосудистую систему, и модели регуляции, представляющей собой камеру с изменяющейся эластичностью, свойства которой подробно описаны в работах [38–40].

В области моделирования процессов регуляции сердечно-сосудистой системы разработана модель [41] для решения задач имитационного моделирования параметров вегетативной регуляции частоты сердечных сокращений и среднего артериального давления. Авторы модели сделали вывод, что работа сердца и сосудов управляется различными механизмами, не зависящими друг от друга: сердце регулируется через выброс крови и сердечные сокращения, а сосуды – через механизмы нервной системы.

В работе [42] предлагается модель кровообращения, направленная на оценку вегетативных регуляторных механизмов. Модель сердечно-сосудистой системы человека с петлей вегетативной регуляции описывает ритм сердца, регуляцию функции сердца и сосудов вегетативной нервной системой, барорефлекс и формирование артериального давления [43]. В работе [44] предлагается модель регуляции на основе электромеханической аналогии.

Разработан программный симулятор [45] кровообращения, позволяющий подробно изучить гемодинамические принципы функционирования сердечно-сосудистой системы. Разработанная модель проводит прогнозирование состояния больного при влиянии эффектов хирургического лечения. Работа [46] демонстрирует сценарий использования модели с применением разработанного симулятора для оптимизации выбора стратегии лечебного воздействия при остром коронарном синдроме.

В Лаборатории численного/гибридного моделирования сердечно-сосудистой системы Института клинической физиологии создан программный симулятор сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека с учетом регуляции [47]. Он имеет модульную структуру и описывает периферическое, системное и легочное кровообращение. Модель с сосредоточенными параметрами, лежащая в основе программного симулятора, позволяет промоделировать различные состояния системы кровообращения на основе закона Старлинга и изменяющейся во времени эластичности сосудов.

В модели [48] описывается сердце как пульсирующий насос. Активность желудочков моделируется через переменную эластичность. Модель описывает крупные артериальные сосуды, периферические артериолы, а также включает инерционные элементы в артериях. Сердечно-сосудистая система состоит из большого круга кровообращения, системных артерий, внутреннего периферического и венозного кровообращения, легочных артериального, периферического и венозного кровообращения. Эластичность меняется в течение сердечного цикла как следствие сократительной активности желудочка.

Известна нульмерная 16-камерная гемодинамическая модель с пульсирующим сердцем. Каждая камера отражает один из элементов системы кровообращения. Модель ориентирована на отделения интенсивной терапии [49].

Одной из самых полных и проработанных является модель кровообращения В. А. Лищука [13]. В отличие от классических представлений о сердечно-сосудистой системе, где модель разбивают на неуправляемую часть (объект регулирования) и регуляцию, в модели В. А. Лищука разработана

многосвязная саморегуляция функциональных систем организма, состоящая из автономных подсистем саморегуляции.

Несмотря на многообразие рассматриваемых моделей, все они требуют совершенствования для эффективного использования в клинической практике. Во многих рассматриваемых моделях отсутствует отображение регуляции, описываются только статические режимы и процессы кровообращения.

Математическая модель регуляции кровообращения

Основной функцией сердечно-сосудистой системы является снабжение кровью тканей и органов организма человека. Потребность организма в объеме крови, поступающей в органы и ткани, постоянно меняется в соответствии с его функциями, под действием различных помех, возмущений, внешних и внутренних воздействий, мешающих основной функции сердечно-сосудистой системы – обеспечению адекватного метаболизма.

Будем рассматривать сердечно-сосудистую систему (сердце, сосуды, объем циркулирующей крови) с позиции теории управления – как объект управления.

Систему управления, состоящую из управляющего объекта (отдела нервной системы) и объекта управления (сердечно-сосудистой системы), будем называть системой регуляции.

Основным типом регуляции в организме человека является нервно-гуморальная регуляция, которая представляет собой систему взаимосвязанных отношений нервных и гуморальных механизмов регуляции.

Несмотря на различия в биологических аспектах способов связи управляющего объекта с объектом управления при нервном и гуморальном механизме регуляции, общность построения контуров регуляции достигается благодаря их функциональному единству – обеспечению нужд регуляции.

Для организма человека характерно наличие замкнутых контуров регуляции. Взаимодействие элементов системы регуляции осуществляется по каналам прямой и обратной связи.

Предлагается математическая модель сердечно-сосудистой системы, описывающая процессы регуляции и имеющая пульсирующее сердце, обобщенная схема которой представлена на рис. 1.

Будем рассматривать сердечно-сосудистую систему, состоящую из управляемой и неуправляемой части. В качестве неуправляемой части представлен блок сердечно-сосудистой системы, состоящий из сердца, сосудов и звеньев, передающих сигнал в объект управления. Эффекторные звенья отображают естественное запаздывание при воздействии на сердце и сосуды, вызванное механизмом гуморального воздействия.

Согласно предлагаемой гипотезе управляемая часть представлена в виде иерархической структуры регуляции и состоит из верхнего и нижнего уровней регуляции. Для моделирования регуляции удобно описывать систему динамической моделью, фиксирующей состояние на каждом k -м шаге динамического процесса. Сердечно-сосудистый центр вырабатывает сигналы $u(k)$, которые поступают на элементы эндокринной системы, которые можно моделировать аperiodическими звеньями $W(s) = e^{-\tau s} / (Ts + 1)$, где τ , T – характеристики элементов эндокринной системы. Динамическое звено $W(s)$ имитирует образование медиаторов, например адреналина и норадреналина.

На верхний уровень регуляции поступает информация о состоянии организма $z(k)$ и текущих сигналах $y(k)$, характеризующих состояние сердечно-сосудистой системы. Верхний уровень регуляции находится в продолговатом мозге и отправляет задающие воздействия $y_3(k)$ на нижний уровень регуляции, или сердечно-сосудистый центр, расположенный в гипоталамусе. На сердечно-сосудистый центр также поступают ошибки регулирования $\epsilon(k)$, вычисляемые как разница между задающими воздействиями $y_3(k)$ и текущими сигналами y , поступающими с блока сердечно-сосудистой системы.

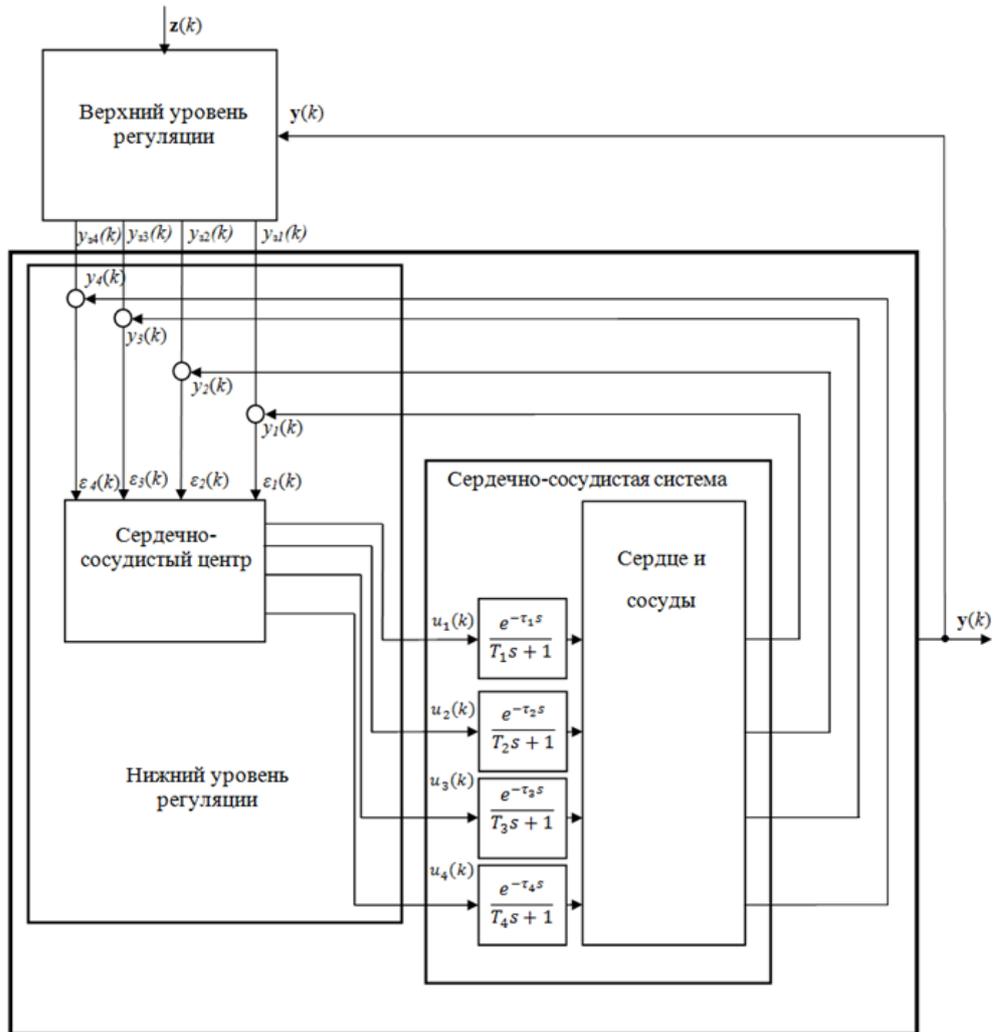


Рис.1. Обобщенная блок-схема модели кровообращения

Для построения блока «Сердечно-сосудистый центр» применяются нейронные сети прямого распространения – многослойный перцептрон (Multi-Layer Perceptron (MLP)).

В работах [50, 51] показано, что для повышения эффективности аппроксимации зависимостей альтернативой увеличения количества внутренних слоев сети MLP является рост числа нейронов в одном внутреннем слое.

По этой причине для решения поставленных задач достаточно использовать нейронную сеть с единственным внутренним слоем (рис. 2).

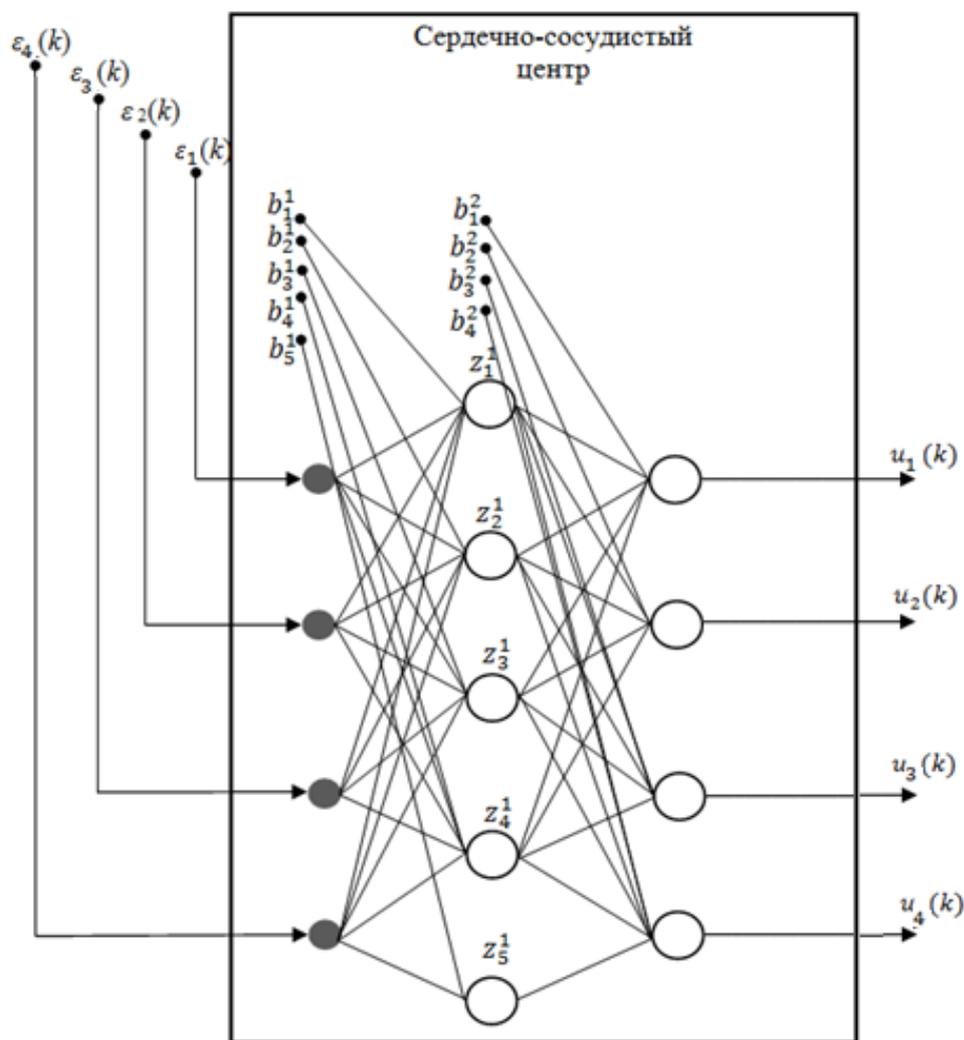


Рис. 2. Сердечно-сосудистый центр

Внутренняя структура блока «Сердечно-сосудистый центр» и алгоритм управления подробно описаны в работе [51].

Блок «Сердце и сосуды», при описании которого используется модель [49], показан на рис. 3.

Модель сердечно-сосудистой системы с пульсирующим сердцем [49] представляется в виде последовательности упругих камер и элементов сопротивления.

Для всех участков сердечно-сосудистой системы связь между объемами крови $\mathbf{V}(t)$ в камерах и кровотоками $\mathbf{q}(t)$ записывается в векторной форме:

$$\mathbf{V}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{q}(t),$$

где \mathbf{A} – многомерная матрица, описывающая связь между камерами.

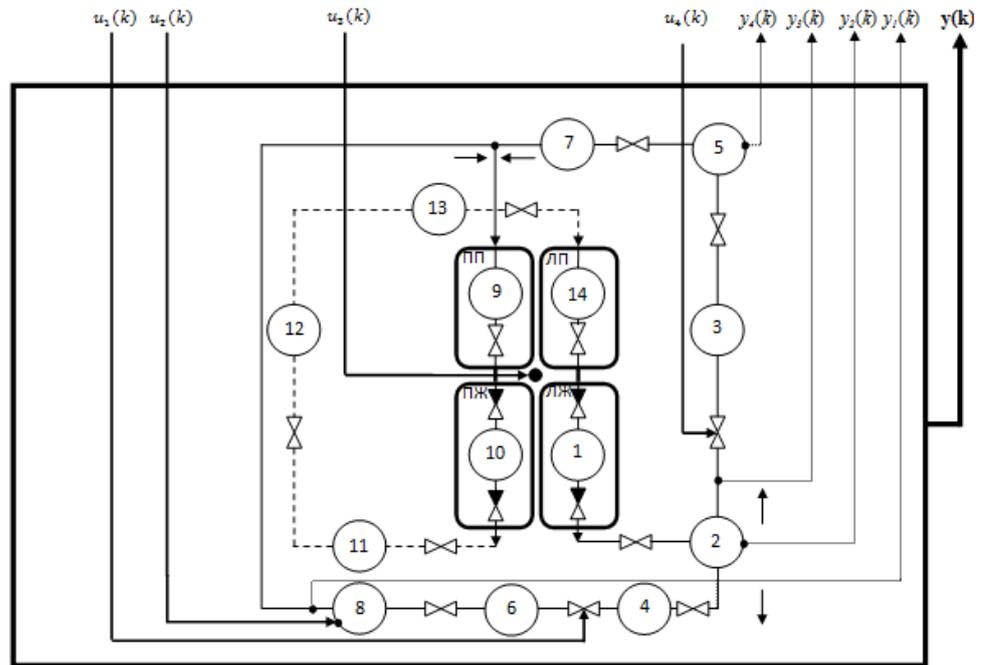


Рис. 3. Блок «Сердце и сосуды»:

1 – левый желудочек; 2 – центральная артерия; 3 – артерии верхней части тела; 4 – артерии нижней части тела; 5 – капилляры верхней части тела; 6 – капилляры нижней части тела; 7 – вены рук и головы; 8 – вены нижней части тела; 9 – правое предсердие; 10 – правый желудочек; 11 – проксимальная легочно-артериальная камера; 12 – дистальная легочно-артериальная камера; 13 – легочные вены; 14 – левое предсердие

При моделировании кровотока учитываются гидравлическое сопротивление \mathbf{R} и инерционные свойства \mathbf{L} крови, и согласно закону Пуазейля связь кровотока $\mathbf{q}(t)$ и давления $\mathbf{P}(t)$ между участками сердечно-сосудистой системы записывается в виде соотношения

$$\mathbf{L} \cdot \mathbf{q}(t) + \mathbf{R} \cdot \mathbf{q}(t) = \mathbf{B} \cdot \mathbf{P}(t),$$

где \mathbf{L} и \mathbf{R} – диагональные матрицы, \mathbf{B} – матрица, описывающая связь между потоками.

Сопротивления сосудистых участков – микрососудов большого круга кровообращения, артериального и легочно-артериального русел – описываются коэффициентами $R_2(t), \dots, R_9(t), \dots, R_{11}(t), \dots, R_{14}(t)$ [49].

Давление $P(t)$ и объем $V(t)$ в камере связаны:

$$P_i(t) = \frac{1}{C_i(t)} [V_i(t) - U_i(t)], i \in 2, \dots, 9; 11, \dots, 14,$$

где U – ненапряженный объем, C – коэффициент жесткости сосудов [49].

В модели отражается работа клапанов сердца [49]. Сердце моделируется четырьмя камерами – двумя предсердиями и двумя желудочками. Желудочки представлены в виде сферических камер с мышечными стенками (рис. 4). Здесь CE – сократительные упругие элементы и SE – эластичные упругие эле-

менты, которые погружены в эластичную упругую среду PE. Математическое описание работы сердца согласуется с исправленным законом Старлинга [13].

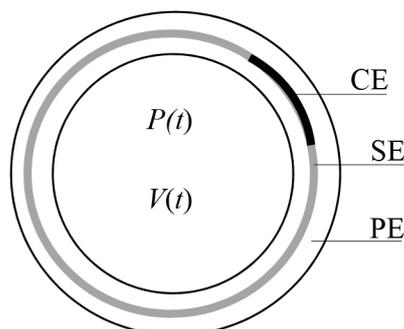


Рис. 4. Модель желудочка сердца

В представленной модели используются соотношения, полученные в работе [49] для пульсирующего сердца, которые связывают давление, объем и поток в полости желудочка сердца. Расслабления и сокращения миокарда также описаны в работе [49]. Циклы работы сердца представлены последовательностью периодов сердечных сокращений $T = T(n)$.

В модели рассмотрена регуляция нескольких функциональных систем в следующих элементах сердечно-сосудистой системы: регуляция венозного кровотока в нижней части тела $y_1(t)$, давления в центральной артериальной камере $y_2(t)$, кровотока в артериях верхней части тела $y_3(t)$, давления в капиллярах верхней части тела $y_4(t)$.

Регуляция параметров $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$ происходит за счет изменения ненапряженного объема вен нижней части тела $u_1(t)$, сопротивления артерий нижней части тела $u_2(t)$, изменения числа сердечных сокращений $u_3(t)$, изменения сопротивления артерий верхней части тела $u_4(t)$.

Моделирование процессов регуляции проводится на основе моделей [49, 51].

Заключение

Перспективным направлением в диагностике будет создание математических моделей, позволяющих проводить оценку состояния и патологических процессов сердечно-сосудистой системы. Благодаря этому появится возможность без ущерба пациенту спрогнозировать состояние системы кровообращения в результате лечебных воздействий и манипуляций.

Дальнейшим развитием нульмерных моделей сердечно-сосудистой системы является включение в описание процессов многоуровневой регуляции на основе нейронной сети, которое увеличивает возможности использования математических методов в системах поддержки принятия врачебных решений при лечении кардиологических больных.

Благодаря простоте модели и наглядности полученных результатов ее можно будет использовать в палатах интенсивной терапии. Это возможно в связи с быстродействием в вычислении гемодинамических параметров, что отвечает требованиям скорости работы систем поддержки принятия врачебных решений.

Для использования контуров регуляции необходимо в явном виде сформулировать требования к формированию вектора задающих воздействий u_3 , что является предметом наших дальнейших исследований.

Список литературы

1. Лищук В. А. Построение алгоритма функционирования сердца // Автоматика. 1967. № 3. С. 60–76.
2. Амосов Н. М., Лиссова О. И., Палец Б. Л., Береговский Б. А. Регуляция кровообращения. Экспериментальные и математические исследования. Киев : Наукова думка, 1977. 157 с.
3. Амосов Н. М., Лищук В. А. Пацкина С. А. Саморегуляция сердца. Киев : Наукова думка, 1969. 157 с.
4. Лищук В. А. Формализация системы стабилизации артериального давления // ДАН СССР. 1972. Т. 207, № 6. С. 1497–1500.
5. Бураковский В. И., Лищук В. А. Индивидуальная терапия при острой сердечно-сосудистой патологии // Биологическая и медицинская кибернетика : материалы второй Всесоюзной конференции / АН СССР. М., 1974. Ч. 2. Физиологическая кибернетика. С. 197–202.
6. Бураковский В. И., Лищук В. А., Подгорный В. Ф., Соколов М. В. Принципы индивидуальной терапии на основе электронно-вычислительной техники // Вестник АМН СССР. 1974. № 6. С. 31–40.
7. Лищук В. А., Красавин В. А., Леденев В. И. [и др.]. Теоретический анализ вегетативных взаимоотношений // Состояние и регуляция вегетативных функций в здоровом организме человека и животных : сб. тез. и докл. Владимир : Отделение физиологии АН СССР, 1975. Ч. 1. С. 72–74.
8. Бураковский В. И., Лищук В. Л., Соколов М. В. Анализ функции и состояния сердечно-сосудистой системы в эксперименте с помощью математической модели // Вестник АМН СССР. 1976. № 10. С. 57–68.
9. Lishchouk V. A., Shalubkova O. P. The role of capacitance vessels in regulation of systemic hemodynamics // Int. Symp. on the Regulation of Capacitance Vessels, Leningrad, 1977. Budapest : Hungarian Academy of Science, 1977. С. 65–92.
10. Бураковский В. Я., Лищук В. А. Анализ гемодинамической нагрузки миокарда после операций на открытом сердце // Грудная хирургия. 1977. № 4. С. 77–92.
11. Лищук В. А. Опыт применения математических моделей в лечении больных после операций на сердце // Вестник АМН СССР. 1978. № 11. С. 33–49.
12. Применение математических моделей в клинике сердечно-сосудистой хирургии : сб. ст. / под ред. В. И. Бураковского. М. : Машиностроение, 1980. 186 с.
13. Лищук В. А. Математическая теория кровообращения. М. : Медицина, 1991. 256 с.
14. Газизова Д. Ш., Лищук В. А., Рыбка М. М. Ярустовский М. Б. Мониторинг, сбор данных и качество лечения в отделениях кардиореанимации НЦССХ им. А. Н. Бакулева // Критические состояния в сердечно-сосудистой хирургии : совместный симп.: НЦССХ им. А. Н. Бакулева (РФ), госпиталь Дж. Хопкинса (США) (Москва, 21–22 ноября 2014 г.). Москва : НЦССХ им. А. Н. Бакулева, 2014. С. 20–26.
15. Газизова Д. Ш., Лищук В. А., Лобачева Г. В. [и др.]. Интеллектуальная платформа для кардиологии // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ’ 2020 : тр. XIV Междунар. науч. конф. Владимир ; Суздаль : ВЛГУ, 2020. Кн. 1. Доклады. С. 278–282.
16. Лищук В. А. Формализация принципа перераспределения кровотока // Доклады Академии наук СССР. 1973. № 210. С. 741–744.
17. Лищук В. А. Специфика применения математических моделей в лечении больных после операции на сердце // Применение математических моделей в клинике сердечно-сосудистой хирургии. М. : Машиностроение, 1980. С. 155–170.

18. Бураковский В. И., Лищук В. А. Результаты индивидуальной диагностики и терапии больных острыми расстройствами кровообращения (на основе математических моделей) : препринт. Киев : АН УССР, 1985. 53 с.
19. Лищук В. А., Бокерия Л. А. Математические модели и методы в интенсивной терапии: сорокалетний опыт. К 50-летию НЦССХ им А. Н. Бакулева. Часть 1. 1966–1986 гг. // Клиническая физиология кровообращения. 2006. № 1. С. 5–16.
20. Лищук В. А., Бокерия Л. А. Математические модели и методы в интенсивной терапии: сорокалетний опыт. К 50-летию НЦССХ им А. Н. Бакулева. Часть 2. 1986–1996 гг. // Клиническая физиология кровообращения. 2006. № 2. С. 22–33.
21. Лищук В. А., Бокерия Л. А. Математические модели и методы в интенсивной терапии; сорокалетний опыт. К 50-летию НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН. Часть 3. 1996–2006 гг. // Клиническая физиология кровообращения. 2006. № 4. С. 12–25.
22. Бокерия Л. А., Лищук В. А., Газизова Д. Ш. [и др.]. Математическая модель регуляции сердечно-сосудистой системы, ориентированная на интенсивную терапию в кардиохирургии // Клиническая физиология кровообращения. 2007. № 3. С. 5–19.
23. Бокерия Л. А., Лищук В. А. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы – от управления функциями к согласованию возможностей (часть 1. Обзор) // Клиническая физиология кровообращения. 2008. № 2. С. 53–68.
24. Бокерия Л. А., Лищук В. А. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы – от управления функциями к согласованию возможностей (часть 2. Математическая модель) // Клиническая физиология кровообращения. 2008. № 3. С. 53–68.
25. Бокерия Л. А., Лищук В. А. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы – от управления функциями к согласованию возможностей (часть 3. Имитация) // Клиническая физиология кровообращения. 2008. № 4. С. 5–19.
26. Бокерия Л. А., Лищук В. А., Газизова Д. Ш. [и др.]. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы – от управления функциями к согласованию возможностей (часть 4. Анализ клинического материала) // Клиническая физиология кровообращения. 2013. № 1. С. 24–34.
27. Бокерия Л. А., Лищук В. А., Газизова Д. Ш. [и др.]. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы – от управления функциями к согласованию возможностей (часть 5. Роль регуляции) // Клиническая физиология кровообращения. 2013. № 1. С. 34–44.
28. Бокерия Л. А., Лищук В. А., Газизова Д. Ш. [и др.]. Концепция регуляции сердечно-сосудистой системы – от управления функциями к согласованию возможностей (часть 6. Роль нагрузки на левый и правый желудочки сердца) // Клиническая физиология кровообращения. 2015. № 1. С. 19–30.
29. Shi Y., Lawford P., Hose R. Review of Zero-D and 1-D Models of Blood Flow in the Cardiovascular System // BioMed. Eng. OnLine. 2011. Vol. 10. P. 1–38. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-10-33>
30. Her K., Kim J. Y., Lim K. M., Choi S. W. Windkessel model of hemodynamic state supported by a pulsatile ventricular assist device in premature ventricle contraction // BioMed. Eng. OnLine. 2018. Vol. 17. doi:<https://doi.org/10.1186/s12938-018-0440-5>
31. Ribarič S., Kordas M. Teaching cardiovascular physiology with equivalent electronic circuits in a practically oriented teaching module // Adv Physiol Educ. 2011. Vol. 35. P. 149–160. doi:10.1152/advan.00072.2010
32. Fernandez de Canete J., Saz-Orozco P. del, Moreno-Boza D, Duran-Venegas E. Object-oriented modeling and simulation of the closed loop cardiovascular system by using SIMSCAPE // Comput Biol Med. 2013. Vol. 43. P. 323–333. doi:10.1016/j.compbiomed.2013.01.007
33. Ribarič S., Kordaš M. Simulation of the Frank-Starling Law of the Heart // Comput Math Methods Med. 2012. Vol. 267834. doi:10.1155/2012/267834

34. Lu K., Clark J. W. jr, Ghorbel F. H. [et al.]. A human cardiopulmonary system model applied to the analysis of the valsalva maneuver // *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2001. Vol. 281. P. H2661–H2679.
35. Werner J., Böhringer D., Hexamer M. Simulation and prediction of cardiotherapeutical phenomena from a pulsatile model coupled to the guyton circulatory model // *IEEE Trans Biomed Eng*. 2002. Vol. 49. P. 430–439.
36. Liang F., Liu H. A closed-loop lumped parameter computational model for human cardiovascular system // *JSME Int J C*. 2005. Vol. 48. P. 484–493.
37. Shimizu S., Une D., Kawada T. [et al.]. Lumped parameter model for hemodynamic simulation of congenital heart diseases // *J Physiol Sci*. 2018. Vol. 68. P. 103–111. doi:10.1007/s12576-017-0585-1
38. Hay I., Rich J., Ferber P. [et al.]. Role of impaired myocardial relaxation in the production of elevated left ventricular filling pressure // *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2005. Vol. 288. P. H1203–H1208.
39. Suga H., Sagawa K., Shoukas A. A. Load independence of the instantaneous pressure–volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio // *Circ Res*. 1973. Vol. 32. P. 314–322.
40. Shishido T., Hayashi K., Shigemi K. [et al.]. Single-beat estimation of end-systolic elastance using bilinearly approximated time-varying elastance curve // *Circulation*. 2000. Vol. 102. P. 1983–1989.
41. Kiselev A. R., Borovkova E. I., Shvartz V. A. [et al.]. Low-frequency variability in photoplethysmographic waveform and heart rate during on-pump cardiac surgery with or without cardioplegia // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 2118. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58196-z>
42. Ursino M., Magosso E. Role of short-term cardiovascular regulation in heart period variability: a modeling study // *American J. of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2003. Vol. 284. P. 1479. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00850.2002>
43. Karavaev A. S., Ishbulatov Y. M., Ponomarenko V. I. [et al.]. Model of human cardiovascular system with a loop of autonomic regulation of the mean arterial pressure // *J. of the American Society of Hypertension*. 2016. Vol. 10. P. 235. <https://doi.org/10.1016/j.jash.2015.12.014>
44. Borik S., Cap I. Modelling of cardiovascular system regulation. *Lékař a technika // Clinician and Technology*. 2013. Vol. 43. P. 18. <https://doi.org/10.14311/CTJ.2013.4.%x>
45. Doshi D., Burkhoff D. Cardiovascular simulation of heart failure pathophysiology and therapeutics // *J. of Cardiac Failure*. 2016. Vol. 22. P. 303. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2015.12.012>
46. Wolsk E., Kaye D., Komtebedde J. [et al.]. Central and peripheral determinants of exercise capacity in heart failure patients with preserved ejection fraction // *JACC: Heart Failure*. 2019. Vol. 7. P. 321. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2019.01.006>
47. Cardiovascular and pulmonary artificial organs: educational training simulators / ed. by C. De Lazzari, M. Pirckhalava. Rome : Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2017.
48. Ursino M. Interaction between carotid baroregulation and the pulsating heart: a mathematical model // *Am J Physiol*. 1998. Vol. 275. P. H1733–47. doi: 10.1152/ajpheart.1998.275.5.H1733. PMID: 9815081.
49. Frolov S. V., Sindeev S. V., Lischouk V. A. [et al.] A lumped parameter model of cardiovascular system with pulsating heart for diagnostic studies // *J. of Mechanics in Medicine and Biology*. 2017. Vol. 17. <https://doi.org/10.1142/S0219519417500567>
50. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators // *Neural Networks*. 1989. Vol. 2, № 5. P. 359–366.
51. Фролов С. В., Потлов А. Ю., Коробов А. А., Савинова К. С. Градиентный метод нейросетевого управления многосвязными нелинейными нестационарными стохастическими системами // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2021. № 5. С. 41–48.

References

1. Lishchuk V.A. Construction of an algorithm for the functioning of the heart. *Avtomatika = Automation*. 1967;(3):60–76. (In Russ.)
2. Amosov N.M, Lissova O.I., Palets B.L., Beregovskiy B.A. *Regulyatsiya krovoobrashcheniya. Eksperimental'nye i matematicheskie issledovaniya = Regulation of blood circulation. Experimental and mathematical research*. Kiev: Naukova dumka, 1977:157.
3. Amosov N.M., Lishchuk V.A. Patskina S.A. *Samoregulyatsiya serdtsa = Self-regulation of the heart*. Kiev: Naukova dumka, 1969:157.
4. Lishchuk V.A. Formalization of the blood pressure stabilization system. *DAN SSSR = DAN SSSR*. 1972;207(6):1497–1500.
5. Burakovskiy V.I., Lishchuk V.A. Individual therapy for acute cardiovascular pathology. *Biologicheskaya i meditsinskaya kibernetika: materialy vtoroy Vsesoyuznoy konferentsii AN SSSR = Biological and medical cybernetics: materials of the second All-Union conference of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, 1974;2:197–202. (In Russ.)
6. Burakovskiy V.I., Lishchuk V.A., Podgornyy V.F., Sokolov M.V. Principles of individual therapy based on electronic computing technology. *Vestnik AMN SSSR = Bulletin of the USSR Academy of Medical Sciences*. 1974;(6):31–40. (In Russ.)
7. Lishchuk V.A., Krasavin V.A., Ledenev V. [et al.]. Theoretical analysis of vegetative relationships. *Sostoyanie i regulyatsiya vegetativnykh funktsiy v zdorovom organizme cheloveka i zivotnykh: sb. tez. i dokl. = State and regulation of vegetative functions in a healthy human body and animals: collection of articles. thesis. and reports*. Vladimir: Otdelenie fiziologii AN SSSR, 1975;1:72–74. (In Russ.)
8. Burakovskiy V.I., Lishchuk V.L., Sokolov M.V. Analysis of the function and state of the cardiovascular system in the experiment using a mathematical model. *Vestnik AMN SSSR = Bulletin of the USSR Academy of Medical Sciences*. 1976;(10):57–68. (In Russ.)
9. Lishchouk V.A., Shalubkova O.P. The role of capacitance vessels in regulation of systemic hemodynamics. *Int. Symp. on the Regulation of Capacitance Vessels, Leningrad, 1977*. Budapest: Hungarian Academy of Science, 1977:65–92.
10. Burakovskiy V.Ya., Lishchuk V.A. Analysis of the hemodynamic load of the myocardium after open heart surgery. *Grudnaya khirurgiya = Breast surgery*. 1977;(4):77–92. (In Russ.)
11. Lishchuk V.A. Experience in the use of mathematical models in the treatment of patients after heart surgery. *Vestnik AMN SSSR = Bulletin of the USSR Academy of Medical Sciences*. 1978;(11):33–49. (In Russ.)
12. Burakovskiy V.I. (ed.). *Primenenie matematicheskikh modeley v klinike serdechno-sosudistoy khirurgii: sb. st. = Application of mathematical models in the clinic of cardiovascular surgery: collection of articles*. Moscow: Mashinostroenie, 1980:186. (In Russ.)
13. Lishchuk V.A. *Matematicheskaya teoriya krovoobrashcheniya = Mathematical theory of blood circulation*. Moscow: Meditsina, 1991:256. (In Russ.)
14. Gazizova D.Sh., Lishchuk V.A., Rybka M.M. Yarustovskiy M.B. Monitoring, data collection and quality of treatment in the departments of cardiac resuscitation of the A.N. Bakulev NCSSH. *Kriticheskie sostoyaniya v serdechno-sosudistoy khirurgii: sovmestnyy simp.: NTsSSKh im. A.N. Bakuleva (RF), gosspital' Dzh. Khopkinsa (SShA) (Moskva, 21–22 noyabrya 2014 g.) = Critical conditions in cardiovascular surgery: joint symposium: NTSSSH im. A.N. Bakuleva (RF), J. Hopkins Hospital (USA) (Moscow, November 21–22, 2014)*. Moscow: NTsSSKh im. A.N. Bakuleva, 2014:20–26. (In Russ.)
15. Gazizova D.Sh., Lishchuk V.A., Lobacheva G.V. [et al.]. Intelligent platform for cardiology. *Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii – FREME' 2020: tr. XIV*

Mezhdunar. nauch. konf. = Physics and radio electronics in medicine and ecology – FREME '2020: tr. XIV Int. scientific. conf. Vladimir; Suzdal: VLGU, 2020;1:278–282. (In Russ.)

16. Lishchuk V.A. Formalization of the principle of redistribution of blood flow. *Doklady Akademii nauk SSSR = Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. 1973;(210):741–744. (In Russ.)
17. Lishchuk V.A. Specificity of the use of mathematical models in the treatment of patients after heart surgery. *Primenenie matematicheskikh modeley v klinike serdechno-sosudistoy khirurgii = Application of mathematical models in the clinic of cardiovascular surgery*. Moscow: Mashinostroenie, 1980:155–170. (In Russ.)
18. Burakovskiy V.I., Lishchuk V.A. *Rezultaty individual'noy diagnostiki i terapii bol'nykh ostrymi rasstroystvami krovoobrashcheniya (na osnove matematicheskikh modeley): preprint = Results of individual diagnosis and therapy of patients with acute circulatory disorders (based on mathematical models): preprint*. Kiev: AN USSR, 1985:53.
19. Lishchuk V.A., Bokeriya L.A. Mathematical models and methods in intensive care: forty years of experience. To the 50th anniversary of the A.N.Bakulev Scientific Center for Artists and Artists. Part 1. 1966–1986. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2006;(1):5–16. (In Russ.)
20. Lishchuk V.A., Bokeriya L.A. Mathematical models and methods in intensive care: forty years of experience. On the occasion of the 50th anniversary of the A.N.Bakulev Scientific Center for Artists and Artists. Part 2. 1986–1996. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2006;(2):22–33. (In Russ.)
21. Lishchuk V.A., Bokeriya L.A. Mathematical models and methods in intensive care: forty years of experience. To the 50th anniversary of the N.N. A. N. Bakuleva RAMS. Part 3. 1996–2006. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2006;(4):12–25. (In Russ.)
22. Bokeriya L.A., Lishchuk V.A., Gazizova D.Sh. [et al.]. Mathematical model of regulation of the cardiovascular system, focused on intensive therapy in cardiac surgery. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2007;(3):5–19. (In Russ.)
23. Bokeriya L.A., Lishchuk V.A. The concept of regulation of the cardiovascular system – from control of functions to coordination of capabilities (part 1. Review). *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2008;(2):53–68. (In Russ.)
24. Bokeriya L.A., Lishchuk V.A. The concept of regulation of the cardiovascular system – from control of functions to coordination of capabilities (part 2. Mathematical model). *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2008;(3):53–68. (In Russ.)
25. Bokeriya L.A., Lishchuk V.A. The concept of regulation of the cardiovascular system – from control of functions to coordination of capabilities (part 3. Imitation). *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2008;(4):5–19. (In Russ.)
26. Bokeriya L.A., Lishchuk V.A., Gazizova D.Sh. [et al.]. The concept of regulation of the cardiovascular system – from control of functions to coordination of capabilities (part 4. Analysis of clinical material). *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2013;(1):24–34. (In Russ.)
27. Bokeriya L.A., Lishchuk V.A., Gazizova D.Sh. [et al.]. The concept of regulation of the cardiovascular system – from control of functions to coordination of capabilities (part 5. The role of regulation). *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2013;(1):34–44. (In Russ.)
28. Bokeriya L.A., Lishchuk V.A., Gazizova D.Sh. [et al.]. The concept of regulation of the cardiovascular system – from control of functions to coordination of capabilities

- (part 6. The role of load on the left and right ventricles of the heart). *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical physiology of blood circulation*. 2015;(1):19–30. (In Russ.)
29. Shi Y., Lawford P., Hose R. Review of Zero-D and 1-D Models of Blood Flow in the Cardiovascular System. *BioMed. Eng. OnLine*. 2011;10:1–38. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-10-33>
 30. Her K., Kim J. Y., Lim K. M., Choi S. W. Windkessel model of hemodynamic state supported by a pulsatile ventricular assist device in premature ventricle contraction. *BioMed. Eng. OnLine*. 2018;17. <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0440-5>
 31. Ribaric S, Kordas M. Teaching cardiovascular physiology with equivalent electronic circuits in a practically oriented teaching module. *Adv Physiol Educ*. 2011;35:149–160. doi:10.1152/advan.00072.2010
 32. Fernandez de Canete J., Saz-Orozco P. del, Moreno-Boza D, Duran-Venegas E. Object-oriented modeling and simulation of the closed loop cardiovascular system by using SIMSCAPE. *Comput Biol Med*. 2013;43:323–333. doi:10.1016/j.combiomed.2013.01.007
 33. Ribarič S., Kordaš M. Simulation of the Frank-Starling Law of the Heart. *Comput Math Methods Med*. 2012;267834. doi:10.1155/2012/267834
 34. Lu K., Clark J.W. jr, Ghorbel F.H. [et al.]. A human cardiopulmonary system model applied to the analysis of the valsalva maneuver. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2001;281:H2661–H2679.
 35. Werner J., Böhringer D., Hexamer M. Simulation and prediction of cardiotherapeutical phenomena from a pulsatile model coupled to the guyton circulatory model. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2002;49:430–439.
 36. Liang F., Liu H. A closed-loop lumped parameter computational model for human cardiovascular system. *JSME Int J C*. 2005;48:484–493.
 37. Shimizu S., Une D., Kawada T. [et al.]. Lumped parameter model for hemodynamic simulation of congenital heart diseases. *J Physiol Sci*. 2018;68:103–111. doi:10.1007/s12576-017-0585-1
 38. Hay I., Rich J., Ferber P. [et al.]. Role of impaired myocardial relaxation in the production of elevated left ventricular filling pressure. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2005;288:H1203–H1208.
 39. Suga H., Sagawa K., Shoukas A. A. Load independence of the instantaneous pressure–volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circ Res*. 1973;32:314–322.
 40. Shishido T., Hayashi K., Shigemi K. [et al.]. Single-beat estimation of end-systolic elastance using bilinearly approximated time-varying elastance curve. *Circulation*. 2000;102:1983–1989.
 41. Kiselev A.R., Borovkova E.I., Shvartz V.A. [et al.]. Low-frequency variability in photoplethysmographic waveform and heart rate during on-pump cardiac surgery with or without cardioplegia. *Scientific Reports*. 2020;10:2118. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58196-z>
 42. Ursino M., Magosso E. Role of short-term cardiovascular regulation in heart period variability: a modeling study. *American J. of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2003;284:1479. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00850.2002>
 43. Karavaev A.S., Ishbulatov Y.M., Ponomarenko V.I. [et al.]. Model of human cardiovascular system with a loop of autonomic regulation of the mean arterial pressure. *J. of the American Society of Hypertension*. 2016;10:235. <https://doi.org/10.1016/j.jash.2015.12.014>
 44. Borik S., Cap I. Modelling of cardiovascular system regulation. *Lékař a technika. Clinician and Technology*. 2013;43:18. <https://doi.org/10.14311/CTJ.2013.4.%x>
 45. Doshi D., Burkhoff D. Cardiovascular simulation of heart failure pathophysiology and therapeutics. *J. of Cardiac Failure*. 2016;22:303. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2015.12.012>

46. Wolsk E., Kaye D., Komtebedde J. [et al.]. Central and peripheral determinants of exercise capacity in heart failure patients with preserved ejection fraction. *JACC: Heart Failure*. 2019;7:321. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2019.01.006>
47. De Lazzari C., Pirckhalava M. (ed.). *Cardiovascular and pulmonary artificial organs: educational training simulators*. Rome: Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2017.
48. Ursino M. Interaction between carotid baroregulation and the pulsating heart: a mathematical model. *Am J Physiol*. 1998;275:H1733-47. doi: 10.1152/ajpheart.1998.275.5.H1733. PMID: 9815081.
49. Frolov S.V., Sindeev S.V., Lischouk V.A. [et al.] A lumped parameter model of cardiovascular system with pulsating heart for diagnostic studies. *J. of Mechanics in Medicine and Biology*. 2017;17. <https://doi.org/10.1142/S0219519417500567>
50. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*. 1989;2(5):359–366.
51. Frolov S.V., Potlov A.Yu., Korobov A.A., Savinova K.S. Gradient method of neural network control of multiply connected nonlinear nonstationary stochastic systems. *Pribery i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika = Devices and systems. Management, control, diagnostics*. 2021;(5):41–48. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Владимирович Фролов

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
биомедицинской техники,
Тамбовский государственный
технический университет
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: sergej.frolov@gmail.com

Sergei V. Frolov

Doctor of technical sciences, professor,
head of the sub-department
of biomedical engineering,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

Артем Андреевич Коробов

инженер кафедры
биомедицинской техники,
Тамбовский государственный
технический университет
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: korobov1991@mail.ru

Artem A. Korobov

Engineer of the sub-department
of biomedical engineering,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

Динара Шавкатовна Газизова

доктор медицинских наук,
главный научный сотрудник
Национального медицинского
исследовательского центра
сердечно-сосудистой хирургии
имени А. Н. Бакулева Минздрава РФ
(Россия, г. Москва,
Рублевское шоссе, 135, с. 1)
E-mail: dgazizova@yandex.ru

Dinara Sh. Gazizova

Doctor of medical sciences,
chief researcher of A.N. Bakulev
National Medical Research Center
of Cardiovascular Surgery
of the Ministry of Health
of the Russian Federation
(1 bld., 135 Rublevskoe highway,
Moscow, Russia)

Антон Юрьевич Потлов

кандидат технических наук, доцент
кафедры биомедицинской техники,
Тамбовский государственный
технический университет,
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: zerner@yandex.ru

Anton Yu. Potlov

Candidate of technical sciences,
associate professor of the sub-department
of biomedical engineering,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ВРАЧЕБНОГО РЕШЕНИЯ ПРИ ЭНДОСКОПИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ ЖЕЛУДКА

А. А. Лебедев¹, В. В. Хрящев², С. В. Кашин³,
А. С. Среднякова⁴, Е. М. Казина⁵

^{1,2,4,5} Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, Ярославль, Россия
³ Ярославская областная клиническая онкологическая больница, Ярославль, Россия
¹ lebedevdes@gmail.com, ² v.khryashchev@uniyar.ac.ru, ³ s_kashin@mail.ru,
⁴ a.srednyakova2@uniyar.ac.ru, ⁵ e.kazina2@uniyar.ac.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Исследуется возможность применения нейронных сетей глубокого обучения для анализа эндоскопических видеоизображений желудочно-кишечного тракта в режиме реального времени. Эндоскопические изображения являются сложными для автоматического анализа из-за разнообразия текстур исследуемой поверхности, широкого диапазона масштабов обрабатываемых изображений (используется оптическое увеличение до 115 крат), наличия бликов, применения узкоспектральных режимов. *Материалы и методы.* Собрана и размечена совместно с врачами Ярославской областной клинической онкологической больницы база изображений, извлеченных из 54 видеозаписей эндоскопических исследований, итоговый размер которой составил 5942 кадра. Для сбора базы использовались эндоскопические аппараты OLYMPUS со следующими режимами работы: осмотр в белом свете и в узком спектре света, исследования без увеличения и с 65-кратным увеличением. Разрешение видеоизображений составляло 626×532 пикселей. *Результаты.* Разработаны и исследованы нейросетевые алгоритмы детектирования патологий на эндоскопических изображениях желудка. Значение метрики mAP составило 0,771 для алгоритма на основе сверточной нейронной сети SSD и 0,808 для алгоритма на основе сети RetinaNet. Проведено тестирование разработанных алгоритмов для различных классов эндоскопических изображений желудочно-кишечного тракта: «рак», «не рак», «иная патология». *Выводы.* Результаты тестирования подтверждают реализуемость и актуальность разработки систем поддержки принятия врачебных решений с использованием методов искусственного интеллекта в эндоскопической практике.

Ключевые слова: глубокое обучение, сверточные нейронные сети, анализ эндоскопических изображений, системы поддержки принятия решения в эндоскопии

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90153.

Для цитирования: Лебедев А. А., Хрящев В. В., Кашин С. В. [и др.]. Применение методов глубокого обучения для поддержки врачебного решения при эндоскопическом исследовании желудка // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 95–106. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-6

APPLICATION OF DEEP LEARNING METHODS TO SUPPORT MEDICAL DECISION IN ENDOSCOPIC EXAMINATION OF THE STOMACH

A.A. Lebedev¹, V.V. Khryashchev², S.V. Kashin³,
A.S. Srednyakova⁴, E.M. Kazina⁵

^{1,2,4,5} P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

³ Yaroslavl Regional Clinical Oncological Hospital, Yaroslavl, Russia

¹ lebedevdes@gmail.com, ² v.khryashchev@uniyar.ac.ru, ³ s_kashin@mail.ru,

⁴ a.srednyakova2@uniyar.ac.ru, ⁵ e.kazina2@uniyar.ac.ru

Abstract. *Background.* The possibility of using deep learning methods and convolutional neural networks for the analysis of gastrointestinal tract endoscopic video images in real time is being investigated. Endoscopic images are difficult for automatic analysis due to the variety of textures of the surface, the wide range of scales of the processed images (optical magnification up to 115 times is used), the presence of glare, and the use of narrow-spectrum regimes. *Materials and methods.* The images database extracted from 54 videos of endoscopic examinations was collected and marked together with the doctors of the Yaroslavl Regional Clinical Oncological Hospital, its total size of which was 5942 frames. To collect the base, OLYMPUS endoscopic devices were used with the following operating modes: examination in white light and in a narrow light spectrum, studies without magnification and with 65x magnification. The video resolution was 626×532 pixels. *Results.* Neural network algorithms for detecting pathologies on endoscopic images of the stomach have been developed and investigated. The mAP metric value was 0.771 for the SSD convolutional neural network algorithm and 0.808 for the RetinaNet algorithm. The developed algorithms were tested for different classes of endoscopic images of the gastrointestinal tract: "cancer", "not cancer", "other pathology". *Conclusions.* The test results confirm the feasibility and relevance of the development of medical decision support systems using artificial intelligence methods in endoscopic practice.

Keywords: deep learning, convolutional neural networks, endoscopy image analysis, endoscopy decision support systems

Acknowledgments: the research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 19-37-90153.

For citation: Lebedev A.A., Khryashchev V.V., Kashin S.V. [et al.]. Application of deep learning methods to support medical decision in endoscopic examination of the stomach. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;2:95–106. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-6

Введение

Согласно оценкам Всемирной организации здравоохранения к середине XIX в. заболевания органов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) будут занимать одно из ведущих мест в структуре заболеваемости, что во многом обусловлено экологией и образом жизни современного человека. Помимо принятия превентивных мер важную роль в борьбе с болезнями ЖКТ играет их ранняя диагностика, осуществляемая, в частности, путем проведения эндоскопического исследования [1]. Анализ получаемых при

этом визуальных данных весьма трудоемкий: он требует наличия высокого уровня подготовки врача, проводящего исследование, и его максимальной концентрации. В связи с этим актуальной научно-технической задачей является создание систем поддержки принятия врачебного решения в области эндоскопии, позволяющих осуществить частичную автоматизацию процесса диагностики. Разработка подобных систем позволит повысить точность диагностики, уменьшить влияние человеческого фактора на качество исследований, снизить стоимость и временные затраты на их проведение [2, 3].

Входной информацией для систем поддержки принятия решения в эндоскопии являются видеоизображения, получаемые с видеогастроскопа. Согласно данным исследований, приводимым в научно-технической литературе, одним из наиболее эффективных подходов к анализу изображений на сегодняшний день является использование сверточных нейронных сетей (СНС) [4–7]. Данный подход относится к области глубокого обучения и обеспечивает автоматическое формирование признаков в процессе обучения модели, что способствует достижению лучших результатов в задачах детектирования и классификации объектов на эндоскопических изображениях [2, 8, 9].

Эндоскопические изображения являются сложными для автоматического анализа из-за разнообразия текстур исследуемой поверхности, ее существенной неоднородности, широкого диапазона масштабов обрабатываемых изображений (используется оптическое увеличение до 115 крат), применения красителей в процессе исследования слизистой, а также ввиду использования узкоспектральной эндоскопии. Кроме того, существуют дополнительные факторы, усложняющие анализ изображений, – множество видеок кадров бывают размытыми из-за резкого движения эндоскопа, присутствуют блики на слизистой, из-за использования чересстрочной развертки наблюдается интерлейсинг, надписи, выводимые на изображение эндоскопом, могут перекрывать собой искомый объект интереса [10, 11]. Кроме вышеперечисленных факторов значительное влияние на процесс создания систем поддержки принятия решений в эндоскопии оказывает трудоемкость создания экспертно размеченных больших баз изображений, необходимых для обучения и тестирования современных нейросетевых алгоритмов.

Данная работа представляет собой продолжение исследований коллектива авторов, представляющих Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова и Ярославскую областную клиническую онкологическую больницу. В отличие от предыдущих работ [7–9, 12], где использовалась база высококачественных статических изображений патологических областей из историй болезни пациентов в режиме с оптическим увеличением, в рамках представленного исследования была создана принципиально новая база эндоскопических изображений. В ней изображения были собраны непосредственно из видеоданных эндоскопических исследований. При этом использовались как изображения, полученные в режиме без оптического увеличения, так и кадры патологий с 65-кратным увеличением. Процесс сбора данной базы эндоскопических изображений описан в следующем разделе. Далее представлены результаты обучения и тестирования разработанных нейросетевых алгоритмов на собранной базе изображений, оцененные с использованием ряда метрик оценки качества.

Сбор базы эндоскопических изображений желудка для обучения нейронных сетей

Для обучения и тестирования нейросетевых алгоритмов была собрана база эндоскопических изображений слизистой оболочки желудка. Для ее создания использовались 54 видеозаписи исследований, проведенных в эндоскопическом отделении Ярославской областной клинической онкологической больницы. При этом персональные данные о пациенте и враче, проводящем исследование, удалялись.

Для сбора базы использовались эндоскопические аппараты OLYMPUS EXERA III GIF-Q180 и OLYMPUS EXERA III GIF-HQ190 со следующими режимами работы: осмотр в белом свете и в узком спектре света (NBI – Narrow Band Imaging); исследования без увеличения и с 65-кратным увеличением. Разрешение видеоизображений составляло 626×532 пикселей.

Из фрагментов видеоданных, получаемых с эндоскопа, выбирался каждый пятый кадр, в каждом из которых врач-эксперт выделял обрамляющей рамкой патологии одного из трех классов, рассматриваемых в данном исследовании, – ранний рак (902 кадра), рак (297 кадров), иная патология, включающая в себя изображения следующих видов патологий: кишечная метаплазия, аденома, полип, эрозия, язва, гиперплазия, ксантома (1772 кадра). Таким образом, в результате извлечения кадров из видеопоследовательностей эндоскопических исследований желудка, была получена база изображений размером 2971 кадр.

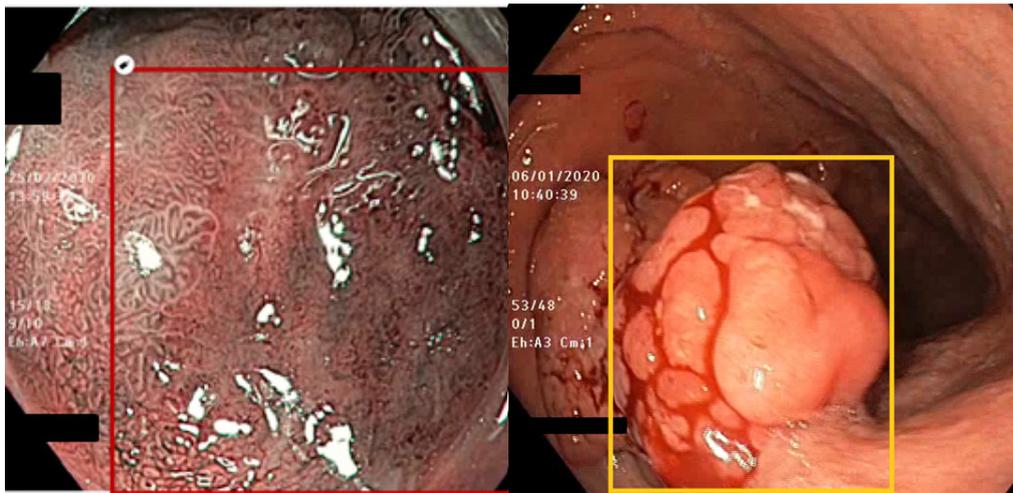
Изображения в базе распределялись между обучающей и тестовой выборками так, чтобы в обеих выборках присутствовали кадры с двух эндоскопических аппаратов в отношении примерно 1:1. Размер обучающей выборки составил 2797 изображений, размер тестовой выборки – 174 изображения. При этом в обучающей и тестовой выборках содержались изображения, принадлежащие различным пациентам.

В данном исследовании были проведены предварительные работы по устранению чересстрочной развертки для эндоскопических изображений путем деинтерлейсинга. Эта процедура позволила увеличить вдвое собранную базу изображений, при этом ее итоговый размер составил 5942 изображения.

Примеры экспертно размеченных объектов из собранной базы эндоскопических изображений приведены на рис. 1.

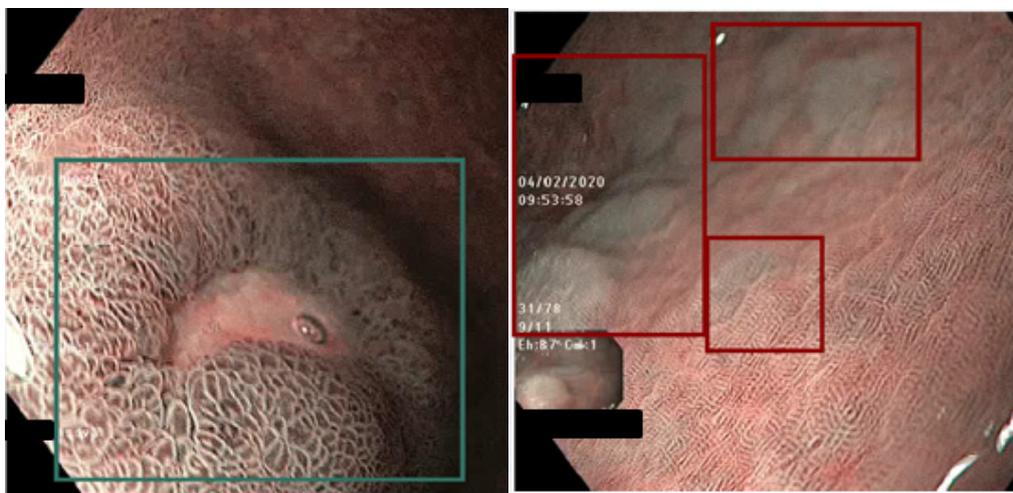
Разработка алгоритмов детектирования патологий на основе сверточных нейронных сетей

Предварительно обученный алгоритм детектирования осуществляет захват видеопотока с эндоскопической системы и извлечение из него кадров, их последующий анализ и отображение результатов в визуальной форме на дополнительном мониторе врача-эндоскописта (рис. 2). В качестве основы для разработки алгоритмов детектирования были выбраны СНС – подход из области глубокого обучения, показывающий высокие результаты в задачах анализа изображений [7, 9, 13–15].



a)

б)



в)

г)

Рис. 1. Примеры патологий из собранной базы эндоскопических изображений желудка: *a* – ранний рак желудка; *б* – рак желудка; *в* – эрозия желудка; *г* – кишечная метаплазия

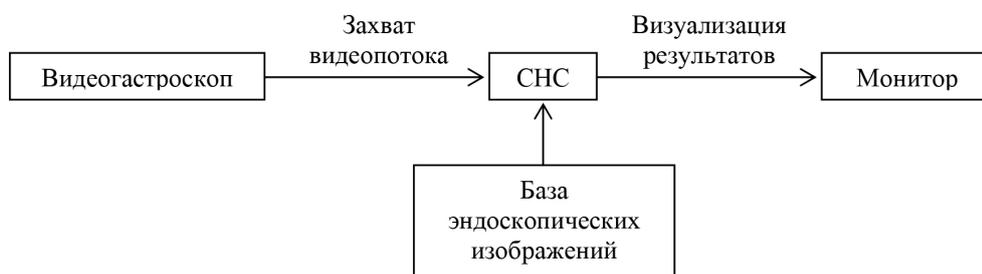


Рис. 2. Общая схема процесса детектирования патологий на эндоскопических изображениях с использованием сверточных нейронных сетей

На сегодняшний день одной из наиболее быстрых и эффективных архитектур, используемых для детектирования объектов, является СНС архитектуры SSD [16]. Ее схема приведена на рис. 3. Данная архитектура представляет собой СНС прямого распространения, которая генерирует набор обрамляющих рамок фиксированных размеров, а также баллы за наличие объекта в рамке, после чего эти данные подаются на вход алгоритма подавления не-максимумов для окончательного обнаружения объекта в кадре.

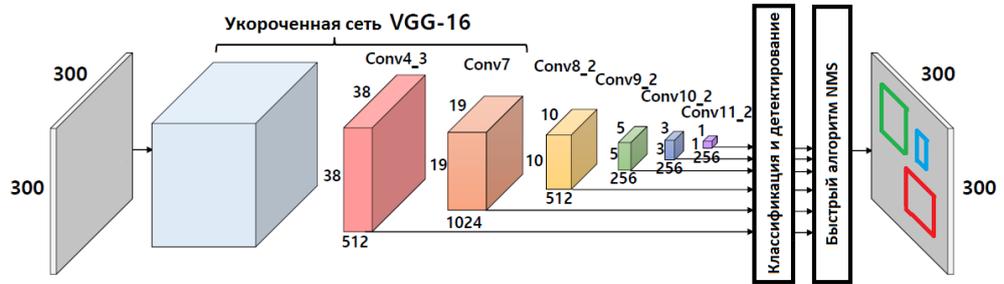


Рис. 3. Архитектура сверточной нейронной сети SSD на основе VGG-16

Ряд начальных слоев сети SSD, так называемая базовая сеть, представляет собой стандартную архитектуру сети VGG16 [17], предназначенной для анализа изображений высокого качества (при этом отсекаются слои классификации). Далее к базовой сети добавляется вспомогательная структура, состоящая из слоев классификации и детектирования.

Другой эффективной и популярной нейросетевой архитектурой для детектирования объектов на изображениях является сеть RetinaNet [18]. Ее архитектура представляет собой единую унифицированную сеть, состоящую из магистральной сети и двух специализированных подсетей (рис. 4). В основе магистрали лежит процедура пирамиды признаков (Feature Pyramid Network – FPN) [18], работающая совместно с одной из известных сверточных нейросетей (например, ResNet50). Такая процедура позволяет выделить из исходного изображения пирамиду признаков в разных масштабах, на которых могут быть обнаружены как большие, так и мелкие объекты, что практически значимо для анализа эндоскопического исследования в разных оптических масштабах.

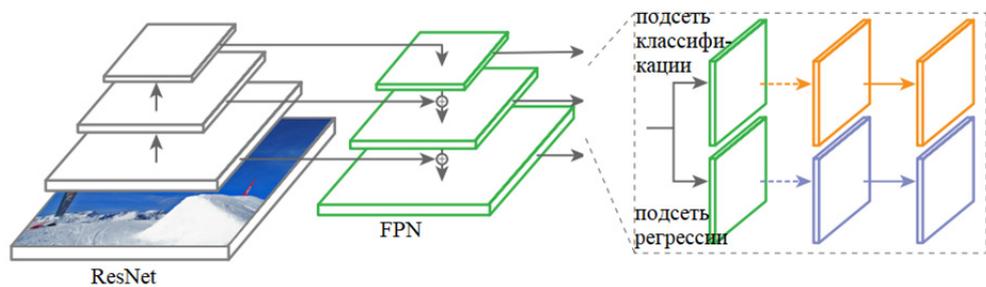


Рис. 4. Архитектура сверточной нейронной сети RetinaNet

При использовании сети RetinaNet все изображение покрывается густой сетью рамок-кандидатов. Первая подсеть классификации выдает предсказания о присутствии объекта в каждой из генерируемых рамок. Эта подсеть представляет собой небольшую полносвязную сеть, присоединенную к каждому уровню сети пирамиды признаков. Вторая подсеть регрессии используется для получения вектора координат рамок-кандидатов, содержащих объекты на изображении. Ее архитектура схожа с архитектурой подсети классификации.

Обучение и тестирование нейросетевых алгоритмов

Рассмотрим результаты обучения и тестирования нейросетевых алгоритмов на основе архитектур SSD и RetinaNet. Для оценки качества работы предложенных алгоритмов использовались следующие стандартные метрики [4–6]:

1) Precision (P) (точность): значение данной метрики рассчитывалось по следующей формуле:

$$P = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (1)$$

где TP – истинно-положительные решения модели; FP – ложно-положительные ответы; FN – ложно-отрицательные решения;

2) Recall (R) (полнота или чувствительность):

$$R = \frac{TP}{TP + FN}; \quad (2)$$

3) F1-мера: данная метрика вычисляется как среднее гармоническое полноты и точности согласно следующему соотношению:

$$F1 = 2 \frac{PR}{P + R}; \quad (3)$$

4) AP (Average Precision): значение данной метрики вычислялось как усреднение значений точности при разных значениях порога:

$$AP = \frac{\sum_{r=1}^N P_r}{N}, \quad (4)$$

где P_r – значение точности (Precision) при фиксированном значении порога r ; N – множество значений порога;

5) mAP (mean Average Precision): данная метрика является одной из ключевых для анализа качества работы детекторов объектов и представляет собой усреднение значений AP по всем классам:

$$mAP = \frac{\sum_{i=1}^K AP_i}{K}, \quad (5)$$

где K – число классов.

Кроме того, в исследовании рассматривались значения функции потерь (loss-функции) в качестве параметра, характеризующего качество обучения алгоритма.

Для проведения исследования качества работы алгоритмов детектирования использовались следующие параметры запуска: в качестве оптимизатора использовался алгоритм Adam [6] (параметры: $\beta_1 = 0,9$, $\beta_2 = 0,999$, $\epsilon = 10^{-8}$). Обучение нейронной сети происходило на суперкомпьютере NVIDIA DGX-1, размер батча составлял 8 изображений. В исследовании использовалась следующая стратегия изменения скорости обучения: базовая (начальная) скорость обучения выбиралась равной 10^{-4} , затем с 80 по 100 эпоху скорость обучения должна принимать значение 10^{-5} , а с 100 по 120 эпоху – значение, равное 10^{-6} . Обучение алгоритма останавливалось заранее, если значение метрики mAP на валидационной выборке не увеличивалось в течение пяти эпох.

Кривые зависимости функции потерь от числа эпох обучения для рассматриваемых нейросетевых архитектур приведены на рис. 5. Как видно из данных зависимостей, нейронные сети успешно обучились, при этом удалось достичь малых значений их функций потерь.

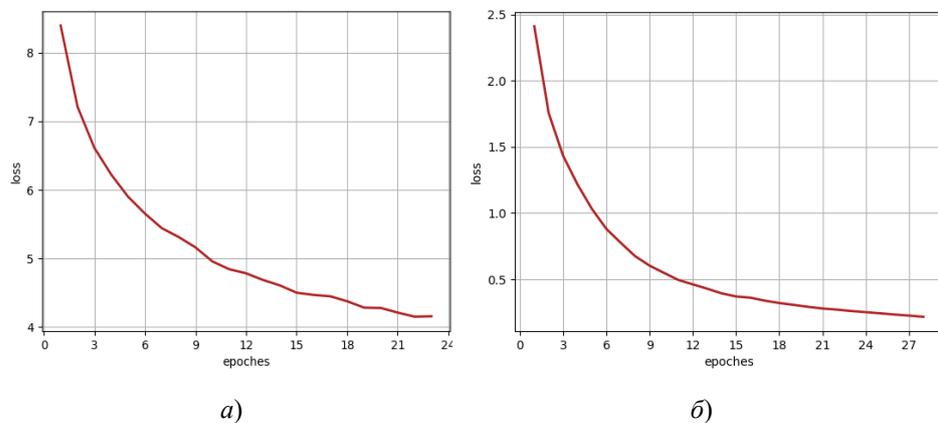


Рис. 5. Зависимость значений функции потерь, вычисленных на обучающей выборке, от числа эпох обучения:
a – для сети SSD; *б* – для сети RetinaNet

Результаты тестирования для алгоритмов на базе эндоскопических изображений на основе сетей SSD и RetinaNet представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты тестирования алгоритмов детектирования

Сеть	F1	mAP	Точность	Полнота	Число эпох обучения
SSD	0,711	0,644	0,706	0,632	18
RetinaNet	0,567	0,791	0,660	0,496	25

Из приведенных результатов видно, что сеть RetinaNet значительно превосходит алгоритм SSD с базовой частью VGG16-300 согласно значению метрики mAP (на 0,147). Однако согласно всем остальным метрикам (F1, точность, полнота) наблюдается преимущество сети SSD с базовой частью VGG16-300.

Значения метрики AP, вычисленные для разработанных алгоритмов детектирования для различных классов, присутствующих в тестовой базе изображений, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты анализа качества работы разработанных алгоритмов детектирования для различных классов

Сеть	AP («рак»)	AP («ранний рак»)	AP («иная патология»)
SSD	0,642	0,937	0,453
RetinaNet	0,873	0,976	0,524

Как видно из приведенных результатов, сеть RetinaNet превосходит согласно значениям метрики AP подход на основе сети SSD для всех классов, рассматриваемых в данном исследовании.

Заключение

Основные результаты, полученные в данной работе, можно сформулировать следующим образом:

- была собрана и размечена совместно с Ярославской областной клинической онкологической больницей база изображений, извлеченных из 54 видеозаписей эндоскопических исследований, итоговый размер которой составил 5942 кадра;
- были разработаны алгоритмы детектирования патологий на эндоскопических изображениях на основе сверточных нейронных сетей, при этом значение метрики mAP составило 0,771 для алгоритма на основе сверточной нейронной сети SSD и 0,808 для алгоритма на основе сети RetinaNet;
- практические результаты тестирования разработанных нейросетевых алгоритмов подтвердили реализуемость и актуальность разработки систем поддержки принятия врачебного решения с использованием методов искусственного интеллекта в эндоскопической практике.

Список литературы

1. Куваев Р. О., Никонов Е. Л., Кашин С. В. [и др.]. Контроль качества эндоскопических исследований, перспективы автоматизированного анализа эндоскопических изображений // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2013. № 2. С. 51–56.
2. Obukhova N., Motyko A. Image analysis in clinical decision support system. Computer vision in control systems. Springer, 2017. P. 261–299.
3. Münzer B., Schoeffmann K., Böszörményi L. Content-based processing and analysis of endoscopic images and videos: a survey // Multimedia Tools and Applications. 2018. Vol. 77. P. 1323–1362.
4. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М. : ДМК Пресс, 2017. 652 с.
5. Бринк Х., Ричардс Д., Феверолф М. Машинное обучение. СПб : Питер, 2017. 336 с.
6. Николенко С. И., Кадулин А. А., Архангельская Е. О. Глубокое обучение. СПб. : Питер, 2018. 480 с.
7. Lebedev A., Khryashchev V., Stefanidi A. [et al.]. Convolutional neural network for early detection of gastric cancer by endoscopic video analysis // Proc. SPIE 11433,

- Twelfth International Conference on Machine Vision (ICMV 2019). <https://doi.org/10.1117/12.2559446>
8. Khryashchev V., Stepanova O., Lebedev A. [et al.]. Deep learning for gastric pathology detection in endoscopic images // ACM International Conference Proceeding Series, 3rd International Conference on Graphics and Signal Processing, ICGSP 2019. Hong Kong, 2019. P. 90–94.
 9. Лебедев А. А., Хрящев В. В., Степанова О. А. Распознавание патологий желудка по видеоизображениям эндоскопического исследования // Новые информационные технологии и системы : сб. науч. ст. по материалам XVII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. С. 200–203.
 10. Коваленко Д. А., Гнатюк В. С. Ассоциация сцен в эндоскопических видео // GraphiCon 2017: Обработка и анализ биомедицинских изображений. Пермь, 2017. С. 269–274.
 11. Liedlgruber M., Uhl A. Computer-Aided Decision Support Systems for Endoscopy in the Gastrointestinal Tract: A Review // IEEE Reviews in Biomedical Engineering. 2011. Vol. 4. P. 73–88.
 12. Хрящев В. В., Ганин А. Н., Лебедев А. А. [и др.]. Разработка и анализ алгоритма детектирования патологий на эндоскопических изображениях желудка на основе сверточной нейронной сети // Цифровая обработка сигналов. 2018. № 3. С. 70–75.
 13. Sharma K., Thakur N. A review and an approach for object detection in images // International Journal of Computational Vision and Robotics. 2017. Vol. 7, № 1/2. P. 196–237.
 14. Zhang D., Zhang H., Li H. [et al.]. RR-FCN: Rotational region-based fully convolutional networks for object detection // Engineering Applications of Neural Networks. Springer International Publishing, 2018. P. 58–70.
 15. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2016. Vol. 39, iss. 6. P. 91–99.
 16. Liu W., Anguelov D., Erhan D. [et al.]. SSD: Single Shot Multibox Detector. URL: <https://arxiv.org/abs/1512.02325>.
 17. Fully convolutional reduced VGGNet. URL: <https://gist.github.com/weiliu89/2ed6e13bfd5b57cf81d6>
 18. Lin T. Y., Goyal P., Girshick R. Focal loss for dense object detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2020. Vol. 42, iss. 2. P. 318–327.

References

1. Kuvaev R.O., Nikonov E.L., Kashin S.V. [et al.]. Quality control of endoscopic studies, prospects for automated analysis of endoscopic images. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik = Kremlin Medicine. Clinical Bulletin*. 2013;(2):51–56. (In Russ.)
2. Obukhova N., Motyko A. *Image analysis in clinical decision support system. Computer Vision in Control Systems*. Springer, 2017:261–299.
3. Münzer B., Schoeffmann K., Böszörmenyi L. Content-based processing and analysis of endoscopic images and videos: a survey. *Multimedia Tools and Applications*. 2018;77:1323–1362.
4. Gudfellou Ya., Bendzhio I., Kurvill' A. *Glubokoe obuchenie = Deep learning*. Moscow: DMK Press, 2017:652. (In Russ.)
5. Brink Kh., Richards D., Feverolf M. *Mashinnoe obuchenie = Machine learning*. Saint-Petersburg: Piter, 2017:336. (In Russ.)
6. Nikolenko S.I., Kadurin A.A., Arkhangel'skaya E.O. *Glubokoe obuchenie = Deep learning*. Saint-Petersburg: Piter, 2018:480. (In Russ.)
7. Lebedev A., Khryashchev V., Stefanidi A. [et al.]. Convolutional neural network for early detection of gastric cancer by endoscopic video analysis. *Proc. SPIE 11433*,

Twelfth International Conference on Machine Vision (ICMV 2019).
<https://doi.org/10.1117/12.2559446>

8. Khryashchev V., Stepanova O., Lebedev A. [et al.]. Deep learning for gastric pathology detection in endoscopic images. *ACM International Conference Proceeding Series, 3rd International Conference on Graphics and Signal Processing, ICGSP 2019*. Hong Kong, 2019:90–94.
9. Lebedev A.A., Khryashchev V.V., Stepanova O.A. Recognition of stomach pathologies by video images of endoscopic examination. *Novye informatsionnye tekhnologii i sistemy: sb. nauch. st. po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = New information technologies and systems: collection of articles. scientific. Art. based on the materials of the XVII Intern. scientific and technical conf.* Penza: Izd-vo PGU, 2020:200–203. (In Russ.)
10. Kovalenko D.A., Gnatyuk V.C. Association of scenes in endoscopic video. *GraphiCon 2017: Obrabotka i analiz biomeditsinskih izobrazheniy = GraphiCon 2017: Processing and analysis of biomedical images*. Perm, 2017:269–274. (In Russ.)
11. Liedlgruber M., Uhl A. Computer-Aided Decision Support Systems for Endoscopy in the Gastrointestinal Tract: A Review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*. 2011;4:73–88.
12. Khryashchev V.V., Ganin A.N., Lebedev A.A. [et al.]. Development and analysis of an algorithm for detecting pathologies on endoscopic images of the stomach based on a convolutional neural network. *Tsifrovaya obrabotka signalov = Digital Signal Processing*. 2018;(3):70–75. (In Russ.)
13. Sharma K., Thakur N. A review and an approach for object detection in images. *International Journal of Computational Vision and Robotics*. 2017;7(1/2):196–237.
14. Zhang D., Zhang H., Li H. [et al.]. RR-FCN: Rotational region-based fully convolutional networks for object detection. *Engineering Applications of Neural Networks*. Springer International Publishing, 2018:58–70.
15. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2016;39(6):91–99.
16. Liu W., Anguelov D., Erhan D. [et al.]. *SSD: Single Shot Multibox Detector*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1512.02325>.
17. *Fully convolutional reduced VGGNet*. Available at: <https://gist.github.com/weiliu89/2ed6e13bfd5b57cf81d6>
18. Lin T.Y., Goyal P., Girshick R. Focal loss for dense object detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2020;42(2):318–327.

Информация об авторах / Information about the authors

Антон Александрович Лебедев

аспирант,
Ярославский государственный
университет имени П. Г. Демидова
(Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 14)
E-mail: lebedevdes@gmail.com

Anton A. Lebedev

Postgraduate student,
P. G. Demidov Yaroslavl State University
(14 Sovetskaya street, Yaroslavl, Russia)

Владимир Вячеславович Хрящев

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры инфокоммуникаций
и радиофизики,
Ярославский государственный
университет имени П. Г. Демидова
(Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 14)
E-mail: v.khryashchev@uniyar.ac.ru

Vladimir V. Khryashchev

Candidate of technical sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of infocommunications and radiophysics,
P. G. Demidov Yaroslavl State University
(14 Sovetskaya street, Yaroslavl, Russia)

Сергей Владимирович Кашин
кандидат медицинских наук,
заведующий отделением эндоскопии,
Ярославская областная клиническая
онкологическая больница
(Россия, г. Ярославль, пр-кт Октября, 67)
E-mail: s_kashin@mail.ru

Анастасия Сергеевна Среднякова
младший научный сотрудник
Центра искусственного интеллекта
и цифровой экономики,
Ярославский государственный
университет им. П. Г. Демидова
(Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 14)
E-mail: a.srednyakova2@uniyar.ac.ru

Евгения Максимовна Казина
младший научный сотрудник
Центра искусственного интеллекта
и цифровой экономики,
Ярославский государственный
университет им. П. Г. Демидова
(Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 14)
E-mail: e.kazina2@uniyar.ac.ru

Sergey V. Kashin
Candidate of medical sciences,
head of the endoscopy department,
Yaroslavl Regional Clinical
Oncological Hospital
(67 Oktyabrya avenue, Yaroslavl, Russia)

Anastasiya S. Srednyakova
Junior research fellow
of the Center of Artificial Intelligence
and Digital Economy,
P. G. Demidov Yaroslavl State University
(14 Sovetskaya street, Yaroslavl, Russia)

Evgeniya M. Kazina
Junior research fellow
of the Center of Artificial Intelligence
and Digital Economy,
P. G. Demidov Yaroslavl State University
(14 Sovetskaya street, Yaroslavl, Russia)

ДИАГНОСТИКА ПНЕВМОНИИ ПО РЕНТГЕНОВСКИМ СНИМКАМ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. А. Арбузова

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
hactr19991802@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Поднимается проблема диагностики заболеваний, для решения которой предлагается использовать методы машинного обучения, а именно разработать нейронную сеть для диагностики пневмонии по рентгеновским снимкам. *Материалы и методы.* Для распознавания пневмонии на рентгеновских снимках применялась сверточная нейронная сеть. Разработка программы диагностики пневмонии проводилась на языке Python. В программе использовались функции из трех библиотек: matplotlib, keras_metrics и Keras. В данной работе была применена аугментация данных и метод регуляризации dropout для преодоления эффекта переобучения нейронной сети. *Результаты.* Обучение нейронной сети проводилось в течение 20 эпох и время ее обучения составило 35 мин. В результате тестирования модели сверточной нейронной сети, в выходном слое которой для активации нейронов использовалась сигмоидальная функция активации, а в качестве метода оптимизации – алгоритм RMSProp, были получены наилучшие значения показателей точности и полноты: precision – 89 %, accuracy – 82 % и recall – 93 %. *Выводы.* При тестировании нейронная сеть показала точность распознавания пневмонии, равную 89 %. И этот результат превышает значения показателя precision, которые были получены в известных работах.

Ключевые слова: нейронные сети, сверточные нейронные сети, глубокое обучение, машинное обучение, диагностика пневмонии, распознавание изображений

Для цитирования: Арбузова А. А. Диагностика пневмонии по рентгеновским снимкам с помощью сверточных нейронных сетей // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 107–114. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-7

DIAGNOSIS OF PNEUMONIA BY X-RAY IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

A.A. Arbuzova

Penza State University, Penza, Russia
hactr19991802@mail.ru

Abstract. *Background.* This paper raises the problem of diseases diagnostics. In order to solve the problem it is proposed to use machine learning methods, namely, to develop a neural network for diagnosing pneumonia from X-rays. *Materials and methods.* Methods. A convolutional neural network was used to recognize pneumonia in X-ray images. The development of a program for diagnosing pneumonia was carried out in Python. The program uses functions from three libraries: matplotlib, keras_metrics, and Keras. In this paper, we used data augmentation and the dropout regularization method to overcome the ef-

fect of neural network overfitting. *Results*. The neural network was trained for 20 epochs and its training time was 35 minutes. As a result of testing the convolutional neural network model in the output layer of which the sigmoidal activation function was used to activate neurons, the best values of accuracy and completeness indicators were obtained as an optimization method: precision – 89 %, accuracy – 82 % and recall – 93 %. *Conclusions*. When tested, the neural network showed 89 % accuracy in recognizing pneumonia. And this result exceeds the values of the precision index which were obtained in well-known works.

Keywords: neural networks, convolutional neural networks, deep learning, machine learning, diagnosis of pneumonia, image recognition

For citation: Arbuzova A.A. Diagnosis of pneumonia by X-ray images using convolutional neural networks. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;2:107–114. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-7

Введение

В связи с информатизацией общества в современном мире очень активно развивается сфера информационных технологий. IT-технологии применяются во всех областях жизнедеятельности человека. Особенно сейчас популярны искусственный интеллект и машинное обучение. Они являются инструментом для решения огромного количества задач. Например, методы искусственного интеллекта и машинного обучения можно применять для диагностики заболеваний [1–2]. В настоящее время создается очень много медицинских систем на основе машинного обучения, в том числе и в России, которые позволят облегчить работу врачей. Например, в России разработана система Celsus [3], которая позволяет производить поиск патологий по рентгеновским снимкам или по снимкам – результатам компьютерной томографии. На данный момент в России создано около 30 систем [3], где используются методы искусственного интеллекта, с помощью которых можно диагностировать заболевания. Применение этих систем в медицине может существенно ускорить диагностику заболеваний у пациентов. Из-за распространения COVID-19 возросла загруженность врачей. Сейчас каждая минута на счету, поэтому очень важно быстро проводить диагностику пациентов, в чем может помочь использование методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Важнейшим современным инструментом машинного обучения, применяемого в медицинской диагностике, являются нейронные сети.

Пневмония всегда была очень опасным заболеванием, но после появления вируса COVID-19 проблема ее выявления перешла на новый уровень. Ведь если данное заболевание запустить и оно обнаружится на поздней стадии, то последствия для здоровья человека или даже его жизни могут быть непредсказуемыми. Для выявления пневмонии применяют томограф, рентген, спирограф, бронхоскоп и другие инструменты. Но рентген является самым доступным из них, рентгенография – быстрый способ выявления у пациентов легочных заболеваний. Признаки легочных заболеваний не всегда легко обнаружить и из-за этого анализ одного рентгеновского снимка может занять много времени. Кроме того, из-за COVID-19 сейчас увеличился поток пациентов, вследствие чего возросла загруженность врачей, теперь им нужно анализировать огромное количество результатов различных исследований,

чтобы быстро поставить правильный диагноз заболевшему. Это требует больших временных затрат и может привести к ошибкам, поэтому с целью решения этих проблем можно использовать для диагностики пациентов нейронные сети. Для диагностики заболеваний по медицинским изображениям лучшим инструментом являются сверточные нейронные сети [1–2].

Главными проблемами применения нейронных сетей являются повышение точности и обобщающей способности сетей, т.е. способности показывать высокие результаты не только на данных, на которых обучалась сеть, но и на новых данных. Целью исследования является разработка сверточной нейронной сети для диагностики пневмонии по рентгеновским снимкам, обладающей высокой точностью и обобщающей способностью.

В основном архитектура сверточных нейронных сетей включает в себя слои трех основных видов [4–6]: сверточные слои, слои субдискретизации (пуллинга) и полносвязные слои. Но иногда сверточные нейронные сети могут состоять из слоев четырех видов, к уже перечисленным видам добавляются слои прореживания. Сверточные слои работают с тензорами. Тензоры в сверточных сетях – это трехмерные массивы матриц чисел. Рентгеновское изображение на входе сети (входная карта) имеет размеры 150×150 пикселей. Пиксель описывается целым числом от 0 до 255. Входные значения пикселей нормализуются в диапазон от 0 до 1. Сверточный слой представляет собой набор ядер (фильтров). Ядра являются небольшими матрицами весовых коэффициентов, настраиваемых в процессе обучения сети. Ядро с заданным шагом обходит соответствующую карту предыдущего сверточного слоя, поэлементно умножая и суммируя элементы карты и ядра. Результат записывается в карту текущего слоя. Количество карт признаков слоя называется глубиной слоя. За сверточным слоем располагается слой субдискретизации (пуллинга). Чаще всего применяется MaxPooling. Для этого карта признаков разделяется на ячейки размером ядра субдискретизирующего слоя (обычно, 2×2), из каждой ячейки выбирается максимальное значение. К полученным картам применяется функция активации нейронной сети, как правило ReLU. В процессе преобразования количество карт признаков увеличивается, а их размер уменьшается. В результате формируется вектор признаков, который обрабатывается полносвязными слоями, решающими задачу классификации.

В процессе обучения нейронная сеть может переобучиться. Это означает, что сеть хорошо распознает примеры из обучающей выборки, но плохо определяет примеры, на которых она не обучалась (сеть теряет обобщающую способность). В сверточных сетях для преодоления переобучения применяют разновидность регуляризации – прореживание сети (dropout). При использовании dropout при обучении сети связи между слоями удаляются с некоторой заданной вероятностью удаления, обычно 0,5. При обученной сети связи не удаляются, но соответствующие выходы умножаются на единицу минус вероятность удаления.

Материал и методика

В данной работе для обучения, тестирования и проверки сверточной нейронной сети использовалась база рентгеновских снимков *Chest X-Ray Images (Pneumonia)*. Данная база данных размещена на сайте Kaggle [7]. Рентгеновские снимки в базе *Chest X-Ray Images (Pneumonia)* представлены в виде изображений разного размера в формате JPEG, поэтому, чтобы привести

эти снимки к одному размеру, использовался метод `flow_from_directory`. Медицинские изображения из этой базы данных разделены на три набора. Обучающий набор данных используется для настройки нейронной сети, тестовое множество нужно для того, чтобы оценить качество обучения модели нейронной сети, а проверочная выборка – для обнаружения эффекта переобучения (табл. 1).

Таблица 1

Структура базы рентгеновских снимков

Название набора	Количество снимков NORMAL	Количество снимков PNEUMONIA	Всего
Обучающий	1340	3875	5215
Тестовый	234	390	624
Контрольный	8	8	16
Всего	1582	4273	5855

Пример рентгеновских снимков из базы *Chest X-Ray Images (Pneumonia)* приведен на рис. 1.

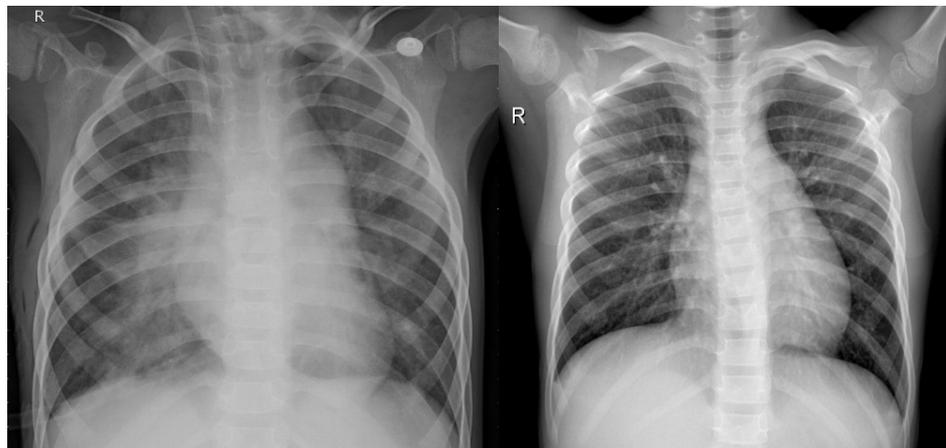


Рис. 1. Пример изображений из обучающего набора

С целью разработки программы для выявления пневмонии на рентгеновских снимках использовался язык программирования Python, нейросетевая библиотека Keras версии 2.3.1 [8], а также библиотеки `matplotlib` и `keras_metrics`. Функции из библиотеки Keras применялись для создания сверточной нейронной сети. Из библиотеки `keras_metrics` использовались такие метрики, как `binary_precision` и `binary_recall`. Функция `binary_recall` служит для вычисления процента положительных примеров, правильно определенных классификатором, а метрика `binary_precision` – для вычисления точности предсказания положительного исхода. Библиотека `matplotlib` использовалась для вывода графиков точности и потерь.

Сверточная нейронная сеть состоит из одиннадцати слоев, это значение было выбрано исходя из результатов проведенной серии экспериментов. Структура модели этой нейронной сети представлена в табл. 2.

Структура сверточной нейронной сети

Номер слоя	Тип слоя нейронной сети	Параметры слоя нейронной сети
1	Сверточный слой	1. Функция активации – ReLU. 2. Глубина выходных карт признаков – 32. 3. Размер ядра – 3×3
2	Субдискретизирующий слой	1. Операция – MaxPooling. 2. Размер ядра – 2×2
3	Сверточный слой	1. Функция активации – ReLU. 2. Глубина выходных карт признаков – 64. 3. Размер ядра свертки – 3×3
4	Субдискретизирующий слой	1. Операция – MaxPooling. 2. Размер ядра – 2×2
5	Сверточный слой	1. Функция активации – ReLU. 2. Глубина выходных карт признаков – 128. 3. Размер ядра свертки – 3×3
6	Субдискретизирующий слой	1. Операция – MaxPooling. 2. Размер ядра – 2×2
7	Сверточный слой	1. Функция активации – ReLU. 2. Глубина выходных карт признаков – 128. 3. Размер ядра свертки – 3×3
8	Субдискретизирующий слой	1. Операция – MaxPooling. 2. Размер ядра – 2×2
9	Слой dropout	Вероятность отключения нейрона предыдущего слоя – 0,5
10	Полносвязный слой	1. Функция активации – ReLU. 2. Количество нейронов в слое – 512
11	Полносвязный слой	1. Функция активации – sigmoid. 2. Количество нейронов в слое – 1

В одиннадцатом (выходном) слое в качестве функции активации нейрона применяется сигмоидальная функция активации (антисимметричная логистическая функция):

$$f(s) = \frac{1 - e^{-s}}{1 + e^{-s}}.$$

Функция активации для выходного слоя была подобрана экспериментально.

В качестве функции потерь применяется функция бинарной перекрестной энтропии (binary_crossentropy) [8]:

$$H_p(q) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \log(p(y_i)) + (1 - y_i) \log(1 - p(y_i)).$$

Эта функция была выбрана, так как она лучше, чем другие функции потерь, подходит для решения задач бинарной классификации. А в данной работе как раз решается такая задача (нужно определить, болен пациент или здоров).

Для настройки сверточной нейронной сети был выбран алгоритм оптимизации первого порядка, основанный на применении коэффициента ослабления Root Mean Square Propagation (RMSProp) [8]:

$$s^{(k+1)} = \beta s^{(k)} + (1 - \beta) g(w^{(k)}) \otimes g(w^{(k)}),$$

$$w^{(k+1)} = w^{(k)} - \eta g(w^{(k)}) ./ \sqrt{s^{(k+1)} + \varepsilon},$$

где β – коэффициент ослабления; \otimes – поэлементное умножение; $w^{(k)}$ – вектор градиента; η – подбираемый коэффициент; ε используется для того, чтобы избежать деления на ноль, обычно $\varepsilon \approx 10^{-10}$; $./$ – поэлементное деление.

При тестировании сверточной нейронной сети были построены графики точности и потерь (рис. 2), на которых видно, при росте точности распознавания растут ошибки на проверочном множестве. Это говорит о том, что нейронная сеть переобучилась.

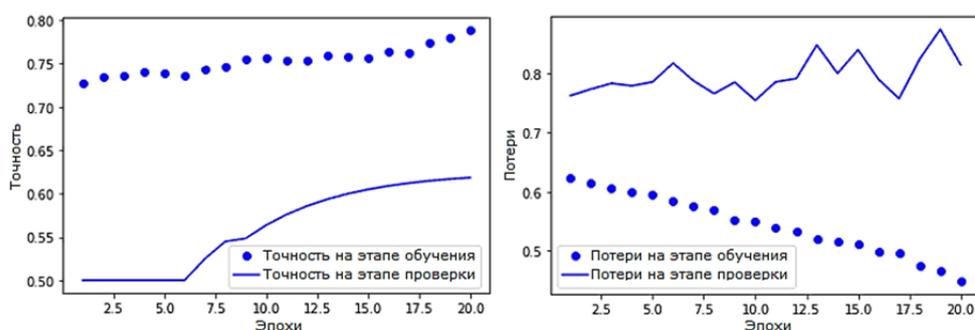


Рис. 2. Графики точности и потерь

Для того, чтобы преодолеть эффект переобучения нейронной сети, было увеличено количество входных данных и применен метод регуляризации dropout [8]. Увеличение количества исходных изображений было проведено благодаря применению аугментации данных [9]. Аугментация данных – это метод, который использует различные преобразования для увеличения размера выборки. В случае с изображениями в качестве таких преобразований применяются поворот, сдвиг, сжатие и растяжение вдоль осей, масштабирование и другие преобразования. В данной работе использовались эти четыре преобразования. А для проведения этих преобразований применялась функция ImageDataGenerator.

Результаты

Тестирование разработанной программы проводилось на компьютере с характеристиками: объем оперативной памяти – 8 Гб, процессор – Quad-Core Processor A10-5757M APU with Radeon HD, частота процессора – 2,5 ГГц.

При тестировании сверточной нейронной сети были рассчитаны три показателя: precision, accuracy и recall. Показатель precision (точность) позволяет увидеть, сколько процентов рентгеновских снимков из тестовой выборки, которые были отнесены к классу PNEUMONIA, действительно ему принадлежат. Показатель accuracy (точность) определяется как число правильно классифицированных снимков, отнесенное к их общему числу. С помощью третьего показателя (полноты) можно определить процент людей, которые больны пневмонией и которые были распознаны правильно.

Было проведено четыре эксперимента по подбору оптимальной функции активации для выходного слоя нейронной сети и для выбора алгоритма оптимизации. Результаты этих экспериментов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты экспериментов

Параметры		Результаты эксперимента			
Функция активации	Метод оптимизации	Время обучения нейронной сети, мин	Accuracy	Precision	Recall
1. Softmax	Adam (adaptive moment estimation)	40	62,35	62,4	69,4
2. Sigmoid	Adam	42	82,12	89,7	82,35
3. Sigmoid	RMSProp	35	82,03	89,9	93,6
4. Softmax	RMSProp	40	62,6	62,7	62,5

Исходя из результатов этих экспериментов был сделан вывод, что в качестве функции активации выходного слоя сверточной нейронной сети лучше использовать функцию sigmoid, а в качестве метода оптимизации – алгоритм RMSProp. Лучшие значения показателей точности, полученные в результате обучения нейронной сети с выбранными параметрами, равны: precision – 89 %, accuracy – 82 % и recall – 93 %, т.е. диагнозы 89 % людей из тестовой выборки были определены правильно и данный результат превышает показатели, которые были получены в работах [7, 10].

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана программа диагностики пневмонии при помощи рентгеновских снимков. Был проведен ряд экспериментов по подбору параметров (количество слоев, функция активации выходного слоя сети и алгоритм оптимизации) для обучения нейронной сети. Обучение сверточной нейронной сети проводилось на расширенном, с помощью аугментации данных, обучающем наборе рентгеновских снимков. Время обучения этой сети составило 35 мин. А количество эпох, в течение которых нейронная сеть обучалась, равно 20. Наилучшие результаты распознавания нейронная сеть показала при проведении третьего эксперимента. В результате тестирования третьей модели была получена точность распознавания пневмонии – 89 %. И этот результат превышает показатели, полученные в известных работах.

Список литературы

1. Cleophas T. J., Zwinderman A. H. Machine learning in medicine: a complete overview. Springer, 2015. 516 p.
2. Artificial intelligence and machine learning for COVID-19 / ed. by F. Al-Turjman. Springer International Publishing, 2021. 266 p.
3. Гусев А. Обзор Российских систем искусственного интеллекта для здравоохранения. URL: https://webiomed.ai/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-iskusstvennogo-intellekta-dlia-zdravookhraneniia/?utm_source=direct&utm_medium=email&utm_campaign=webiomed (дата обращения: 16.04.2021).
4. Аггарвал Ч. Нейронные сети и глубокое обучение. СПб. : Диалектика, 2020. 752 с.
5. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. СПб. : Диалектика, 2020. 1040 с.

6. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвиль А. Глубокое обучение. М. : ДМК Пресс, 2018. 652 с.
7. Chest X-Ray Images (Pneumonia). URL: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> (дата обращения: 13.02.2021).
8. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. СПб. : Питер, 2018. 400 с.
9. Это нужно знать: Ключевые рекомендации по глубокому обучению (Часть 1). URL: datareivw.info/article/eto-nuzno-znat-klyuchevyie-rekomendatsii-po-glubokomu-obucheniyu-chast-1/ (дата обращения: 07.02.2021).
10. Varshni D., Thakral K., Agarwal L. [et al.]. Pneumonia detection using CNN based feature extraction // 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8869364> (дата обращения: 30.05.2020).

References

1. Cleophas T.J., Zwinderman A.H. *Machine learning in medicine: a complete overview*. Springer, 2015:516.
2. Al-Turjman F. (ed.). *Artificial intelligence and machine learning for COVID-19*. Springer International Publishing, 2021:266.
3. Gusev A. *Obzor Rossiyskikh sistem iskusstvennogo intellekta dlya zdravookhraneniya = Review of Russian artificial intelligence systems for health care*. (In Russ.). Available at: https://webiomed.ai/blog/obzor-rossiyskikh-sistem-iskusstvennogo-intellekta-dlia-zdravookhraneniia/?utm_source=direct&utm_medium=email&utm_campaign=webiomed (accessed 16.04.2021).
4. Aggarwal Ch. *Neyronnye seti i glubokoe obuchenie = Neural networks and deep learning*. Saint-Petersburg: Dialektika, 2020:752. (In Russ.)
5. Zheron O. *Prikladnoe mashinnoe obuchenie s pomoshch'yu Scikit-Learn, Keras i TensorFlow: kontseptsii, instrumenty i tekhniki dlya sozdaniya intellektual'nykh sistem = Applied Machine Learning with Scikit-Learn, Keras and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques for Building Intelligent Systems*. Saint-Petersburg: Dialektika, 2020:1040. (In Russ.)
6. Gudfellou Ya., Bendzhio I., Kurvil' A. *Glubokoe obuchenie = Deep learning*. Moscow: DМК Press, 2018:652. (In Russ.)
7. *Chest X-Ray Images (Pneumonia)*. Available at: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> (accessed 13.02.2021).
8. Sholle F. *Glubokoe obuchenie na Python = Deep Learning in Python*. Saint-Petersburg: Piter, 2018:400. (In Russ.)
9. *Eto nuzhno znat': Klyuchevye rekomendatsii po glubokomu obucheniyu (Chast' 1) = You Need to Know: Key Recommendations for Deep Learning (Part 1)*. (In Russ.). Available at: datareivw.info/article/eto-nuzno-znat-klyuchevyie-rekomendatsii-po-glubokomu-obucheniyu-chast-1/ (accessed 07.02.2021).
10. Varshni D., Thakral K., Agarwal L. [et al.]. Pneumonia detection using CNN based feature extraction. *2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8869364> (accessed 30.05.2020).

Информация об авторах / Information about the authors

Анастасия Андреевна Арбузова
 магистрант,
 Пензенский государственный университет
 (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
 E-mail: hactr19991802@mail.ru

Anastasia A. Arbuzova
 Master degree student,
 Penza State University
 (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОРГОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

О. К. Головнин¹, А. А. Игонина²

^{1,2} Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева, Самара, Россия
¹ golovnin@bk.ru, ² igonina1999@inbox.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Одним из ключевых вопросов, определяющих эффективность деятельности малых торговых предприятий шаговой доступности, является выбор пространственного расположения, поскольку наличие потенциальных клиентов во многом определяется проходимость рассматриваемой территории. Цель работы – оптимизация схемы размещения торговых объектов шаговой доступности с учетом особенностей местности и способов подхода пешеходов к торговым объектам. *Материалы и методы.* Предложен подход для оптимизации схемы расположения торговых объектов, позволяющий учесть особенности местности при подсчете числа потенциальных клиентов торгового объекта. Предложена математико-картографическая модель, учитывающая пространственные характеристики торговых объектов и характеристики спроса и предложения на товары. На основе математико-картографической модели решается задача оптимизации расположения торговых объектов, при этом в качестве основы оптимизационного алгоритма могут выступать как методы градиентного спуска, так и эволюционные генетические алгоритмы; для их эффективного применения осуществляется отражение управляемых параметров в булево пространство. *Результаты.* Разработана компьютерная программа, реализующая предложенную математико-картографическую модель и алгоритмы. Проведена экспериментальная апробация предлагаемых решений на синтетических данных. *Выводы.* Результаты исследования показали возможность применения предлагаемого подхода для эффективного решения оптимизационной задачи при количестве управляемых переменных (возможных мест размещения) до 100.

Ключевые слова: торговый объект, торговая сеть, электронная карта, геоинформационная система (ГИС)

Для цитирования: Головнин О. К., Игонина А. А. Оптимизация схемы размещения торговых объектов на основе математико-картографической модели // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 115–129. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-8

LOCATION OPTIMIZATION FOR CONVENIENCE SHOPS BASED ON MATHEMATICAL CARTOGRAPHIC MODEL

O.K. Golovnin, A.A. Igonina

^{1,2} Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev, Samara, Russia
¹ golovnin@bk.ru, ² igonina1999@inbox.ru

Abstract. Background. One of the key issues that determine the effectiveness of the activities of convenience shops is the choice of location since the presence of potential customers is largely determined by the passability of the territory under consideration. The purpose of the work is to optimize the layout of convenience shops, taking into account the characteristics of the terrain and the ways of pedestrians to convenience shops. *Materials and methods.* The paper proposes an approach to optimize the layout of shops, which takes into account the features of the area when calculating the number of potential customers of a shop. A mathematical cartographic model is proposed that takes into account the spatial characteristics of shops and the characteristics of supply and demand for goods. On the basis of a mathematical cartographic model, the optimization of the location of shops is solved, while both gradient descent methods and evolutionary genetic algorithms can act as the basis of the optimization algorithm, for which the controlled parameters are reflected into the Boolean space. *Results.* A computer program has been developed that implements the proposed mathematical cartographic model and algorithms. Experimental testing of the proposed solutions on synthetic data has been carried out. *Conclusions.* The results of experimental testing showed the possibility of using the proposed approach when solving optimization problem with the number of controlled variables (possible locations for convenience shops) up to 100.

Keywords: retail facility, retail network, electronic map, geographic information system (GIS)

For citation: Golovnin O.K., Igonina A.A. Location optimization for convenience shops based on mathematical cartographic model. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;2:115–129. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-8

Введение

В экономике развитых стран немаловажную роль играют малые предприятия розничной торговли шаговой доступности, формирующие предложения товаров и услуг для удовлетворения сезонного или нерегулярного спроса. Одним из ключевых вопросов, определяющих эффективность деятельности малых предприятий шаговой доступности, является выбор пространственного расположения, поскольку наличие потенциальных клиентов во многом определяется проходимость рассматриваемой территории и привлекательностью для потребителей [1, 2].

Проблема выбора пространственного расположения торговых объектов традиционно решается с использованием экономико-математических моделей, для поддержки которых вводится пространственная информация [3, 4]. В последнее время обозначился переход к применению геоинформационных систем (ГИС) в качестве основы для решения задач такого класса [5, 6], однако оптимизация получаемой сложной системы не может быть выполнена детерминированными методами, поскольку они не обеспечивают нахождение решения необходимой степени точности в заданных временных ограничениях. Таким образом, для оптимизации пространственного расположения торговых объектов требуется применять такие методы, которые обеспечат приемлемую точность в заданных ограничениях, например, эволюционные методы глобальной оптимизации, методы искусственных нейронных сетей, усовершенствованные градиентные методы [7–9].

В настоящей работе решается задача оптимизации схемы размещения торговых объектов шаговой доступности на основе математико-картографической модели, учитывающей пространственные особенности местности

и способы подхода пешеходов к торговым объектам. При решении задачи осуществляется отображение управляемых параметров задачи в булево пространство, что обеспечивает возможность эффективного применения методов глобальной оптимизации.

Решение оптимизационной задачи основано на построении модели исследуемого объекта согласно триаде А. А. Самарского: «модель – алгоритм – программа». Постановку задачи оптимизации, и в частности построение модели, проведем в соответствии с указанной парадигмой.

Математико-картографическая модель

Определим границы объекта оптимизации. Для этого отделим объект оптимизации от внешней среды. В качестве объектов размещения рассматриваются стационарные и нестационарные торговые объекты шаговой доступности, размещаемые на электронной карте в выбранном районе Z . Основные виды рассматриваемых торговых объектов в соответствии с категориями продаваемых товаров перечислены на рис. 1.

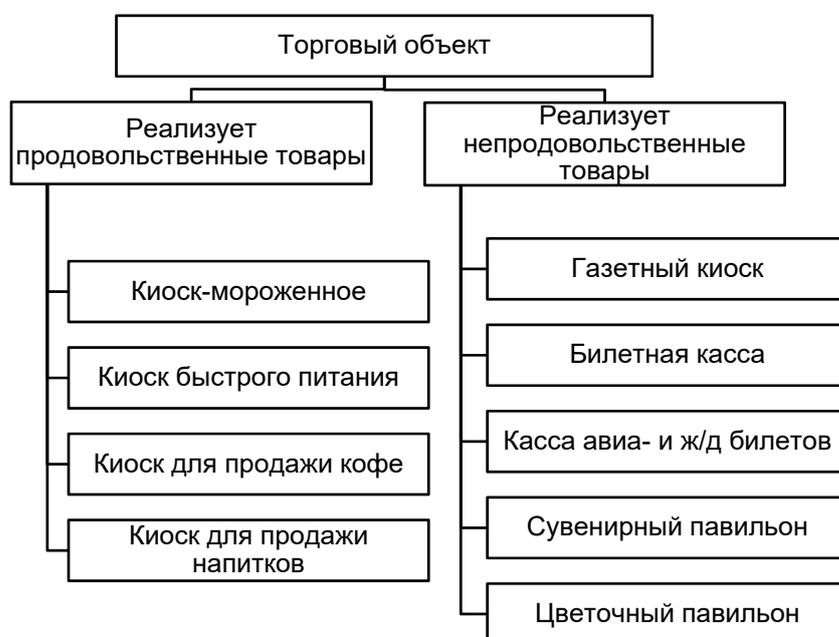


Рис. 1. Рассматриваемые торговые объекты

Построим модель системы. Под *источником спроса* s' в формализме ГИС будем понимать точечные картографические объекты, порождающие пешеходный поток (как входящий, так и исходящий). Множество всех источников спроса обозначим S' .

Источник спроса s'_i характеризуется следующим набором параметров:

- координаты (широта, долгота) на электронной карте:
 $\text{coord}_{s'_i} = (l_i, l_g)$;

- класс источника спроса в рамках топологической векторной модели данных ГИС: $\text{class}_{s'_i} \in \{1\text{– здание, } 2\text{– ООТ, } \dots\}$, где ООТ – остановка общественного транспорта;
- вид (соответствует видам торговых объектов): $\text{kind}_{s'_i} \in \{1\text{– киоск, } 2\text{– павильон, } \dots\}$;
- пешеходный поток $q_{s'_i}$, определяющий количество пешеходов, находящихся в непосредственной близости от источника спроса s'_i в определенный момент времени t_i . Пешеходный поток представляется в виде множества оценок значений потока $q \in Q$ или функции $Q_{s'_i}(t_i)$;
- пешеходная доступность в виде полигонального картографического объекта (зоны): $r_{s'_i}$;
- спрос $d_{s'_i}$ на конкретный товар p_i , предполагаемый для продажи в торговом предприятии: $p_i \in P_{s'_i}$, где $P_{s'_i} \subset P$ – множество всех товаров для источника s'_i . Спрос на конкретный товар в определенный момент времени определяется функцией $D_{s'_i}(p_i, t_i)$ или множеством оценок спроса $d \in D$.

Выделим следующие классы источников спроса $\text{class}_{s'_i}$:

- здания, в том числе жилые дома, учебные организации и детские сады, офисные и торговые центры с учетом количества жителей, обучающихся и сотрудников соответственно;
- остановки общественного транспорта с учетом пассажирооборота и расписания движения общественного транспорта;
- парковки личного транспорта (как выделенные, так и вдоль улиц и автодорог) с оценкой количества мест;
- вокзалы (железнодорожные, автовокзалы, аэропорты) с учетом сведений о пассажиропотоке и расписании рейсов;
- достопримечательности, культурно-просветительные и развлекательные учреждения, зоны отдыха с учетом расположения входов/выходов.

Класс источника спроса влияет на выбор способа идентификации параметров модели спроса, а именно пешеходного потока $q_{s'_i}$ и пешеходной доступности $r_{s'_i}$.

Помимо источников спроса необходимо учитывать **источники предложения** – существующие торговые объекты и размещаемые торговые объекты. Введем обозначение источника предложения $s'' \in S''$. Также источником предложения будут являться размещаемые торговые объекты $x \in X \subset S''$.

У источника предложения s'' имеется ряд свойств, определяющих его:

- координаты (широта, долгота) на электронной карте: $\text{coord}_{s''} = (l_t, l_g)$, т.е. источники предложения являются точечными пространственными объектами в рамках представления ГИС;
- отрасль народного хозяйства: $\text{field}_{s''} \in \{1\text{– общественное питание, } 2\text{– билетная касса, } \dots\}$;

- вид (соответствует видам торговых объектов): $\text{kind}_{s_i} \in \{1 - \text{киоск}, 2 - \text{павильон}, \dots\}$;
- пешеходная доступность: r_{s_i} ;
- время работы: $T_{s_i} = \{t_i \mid t_i \in T\}$;
- перечень товаров: $P_{s_i} \subset P$.

Введем **модель электронной карты**, на которой дислоцируются источники спроса $s' \in S'$, источники предложения $s'' \in S''$ и размещаемые торговые объекты $x \in X$. Перейдем от глобальной системы координат WGS-84 к локальной плоской декартовой системе. Каждой точке, определяемой широтой lt и долготой lg , поставим в соответствие ее координаты в заданной области исследования Z , при этом вводя равномерную координатную сетку с шагом Δl (рис. 2):

$$(lt, lg) \rightarrow z(lt_j, lg_i), \quad (1)$$

где $z(lt_j, lg_i)$ – точка в местной системе координат, соответствующая точке в глобальной системе координат с широтой lt и долготой lg .

Такой переход позволяет представить координаты в дискретном виде, регулируя шаг дискретизации Δl , а следовательно, дает возможность изменять количество потенциальных точек дислокации торгового объекта.

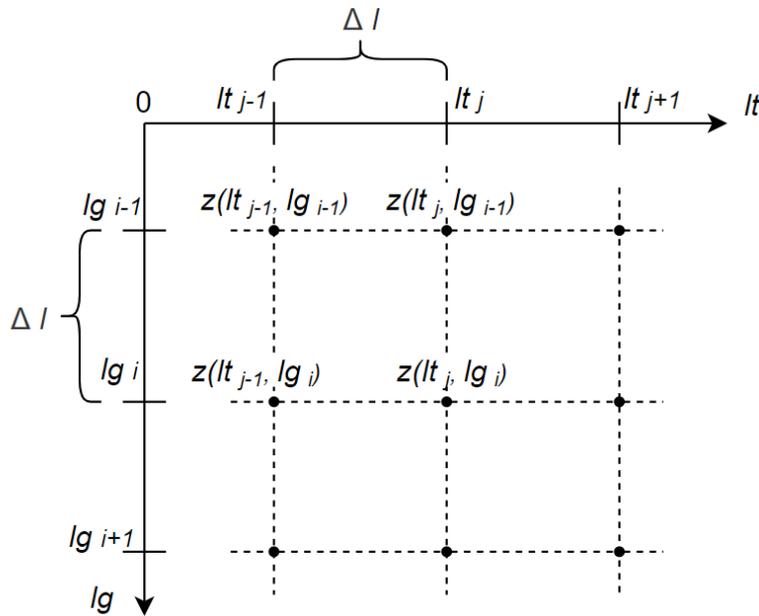


Рис. 2. Схема расположения узлов равномерной сетки координат

Кроме этого, обозначим $z(lt_j, lg_i)$ как x_k :

$$z(lt_j, lg_i) \rightarrow x_k, x_k \in B = \{0, 1\}, \quad (2)$$

где x_k – булевский B индикатор расположения объекта в указанной точке, который принимает значение 0 в случае, если в этой точке x_k не будет размещаться объект, и 1 в том случае, когда планируется размещение объекта в данной точке x_k .

Множество всех точек x в исследуемой области Z обозначим X .

Введем ограничения для переменной x :

$$\sum_{x_i \in X} x_i \leq x_{\max}, \sum_{x_i \in X} x_i \geq x_{\min}, \quad (3)$$

где x_{\max} – заданное максимальное количество располагаемых объектов; x_{\min} – заданное минимальное количество располагаемых объектов.

Далее определим **пространственные функции** $\text{Intersections}(a, B)$ и $\text{Area}(a, b)$.

Функция $\text{Intersections}(a, B)$ возвращает множество таких объектов $\{b_1, \dots, b_n\} \subset B$, с зоной пешеходной доступности которых r_b пересекается зона пешеходной доступности r_a объекта a . Например, рассмотрим множество объектов $\{x_1, s_1'', s_2'', s_1'\}$, изображенных на рис. 3, тогда $\text{Intersections}(x_1, \{s_1'', s_2'', s_1'\}) = \{s_2'', s_1'\}$.

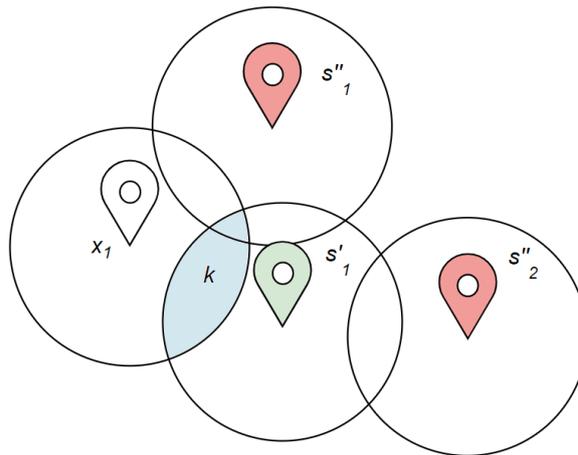


Рис. 3. Пересечение пешеходных зон доступности торговых объектов

Функция $\text{Area}(a, b)$ возвращает площадь пересечения зоны пешеходной доступности r_a объекта a с зоной пешеходной доступности r_b объекта b , и 0 – в случае, когда зоны не пересекаются. Для указанного примера (см. рис. 3): $\text{Area}(x_1, s_1') = k$, а $\text{Area}(x_1, s_2'') = 0$.

Выбор критерия оптимизации. Поскольку задача оптимизации схемы расположения торговых объектов на электронной карте является только частью процесса их дислокации и последующего функционирования, то целесообразно выделять прямой экономический показатель. Поэтому критери-

ем оптимальности выступит показатель «количество потенциальных клиентов» C , позволяющий косвенно оценить экономическую эффективность выбранной точки дислокации.

Формирование целевой функции. Целевую функцию, т.е. математическую зависимость критерия оптимальности «количество потенциальных клиентов» Z от параметров размещения торговых объектов $x \in X$, представим в следующем виде.

Введем вспомогательную функцию $W(s'_i, x_i)$, которая характеризует возможный спрос (количество потенциальных клиентов), порождаемый источником спроса s'_i , при размещении в его зоне пешеходной доступности торгового объекта x_i :

$$W(s'_i, x_i) = \sum_{t_i \in \{T \cap T_{x_i}\}} \sum_{p_i \in \{P_{s'_i} \cap P_{x_i}\}} [Q_{s'_i}(t_i) D_{s'_i}(p_i, t_i)]. \quad (4)$$

Введем вспомогательную булевскую функцию $H(s''_i, x_i)$, которая позволяет оценить, является ли объект предложения s''_i конкурентным относительно размещаемого объекта x_i (по времени работы и перечню предлагаемых товаров/услуг):

$$H(s''_i, x_i) = (T_{s''_i} \cap T_{x_i} \neq \emptyset) (P_{s''_i} \cap P_{x_i} \neq \emptyset) \in \{0, 1\}. \quad (5)$$

Обозначим множество пересечений располагаемой точки x_i с зонами спроса S' как

$$S'_{x_i} = \text{Intersections}(x_i, S'). \quad (6)$$

Тогда пересечение зон объектов спроса с зонами объектов предложения и другими потенциальными зонами расположения:

$$S''_{x_i} = \bigcup_{s'_j \in S'_{x_i}} \text{Intersections}(s'_j, \{S'' \cup X\}). \quad (7)$$

Вычислим долю потока $V(s'_j, x_i)$ потенциальных клиентов в точку x_i из точки спроса s'_j на основе пересечения площадей зон пешеходных доступностей:

$$V(s'_j, x_i) = \frac{\text{Area}(s'_j, x_i)}{\text{Area}(s'_j, x_i) + \sum_{s'_k \in S'_{x_i}} H(s''_k, x_i) \text{Area}(s'_j, s''_k)}. \quad (8)$$

Тогда целевая функция примет следующий вид:

$$C(X) = \sum_{x_i \in X} \sum_{s'_j \in S'_{x_i}} [W(s'_j, x_i) \cdot V(s'_j, x_i)]. \quad (9)$$

Таким образом, задача оптимизации сводится к нахождению экстремума целевой функции (9):

$$C \rightarrow \max. \quad (10)$$

Оптимизационный алгоритм

Представим оптимизационный алгоритм последовательностью действий (шагов).

Шаг 1. Ввод исходных данных. Решение задачи поиска оптимального решения потребует указания следующих параметров, выступающих входными данными для оптимизационного алгоритма:

- зона Z на карте, в которой будет проводиться поиск местоположений торговых объектов $x \in X$;
- вид размещаемого торгового объекта kind_x , отрасль field_x и типы товаров $P_x \subset P$;
- минимальное x_{\min} и максимальное x_{\max} количество объектов, которые требуется разместить;
- предположительное время работы размещаемых объектов торговли T_x ;
- горизонт планирования T (в днях, неделях, месяцах, годах).

Шаг 2. Предобработка. В предлагаемом алгоритме после определения параметров поиска территорий исключаются из рассмотрения источники спроса и предложения и потенциальные места размещения торговых объектов, не нуждающиеся в рассмотрении:

- источники спроса $s' \in S'$ и предложения $s'' \in S''$, находящиеся за границей выбранной зоны Z ;
- источники предложения $s'' \in S''$, относящиеся к отраслям, отличным от заданной kind_x ;
- потенциальные места размещения $x_k \in X$, попавшие на такие территории внутри зоны Z , где невозможно разместить торговый объект, – проезжая часть, постройки, частная территория и т.д., для них принимается $x_k \equiv 0$.

Шаг 3. Поиск опорного решения.

Генерируется решение методом грубого случайного поиска:

$$\forall x_i \in X : x_i = \text{random}(\{0,1\}), C(X) \neq 0. \quad (11)$$

Опорное решение используется как начальная точка поиска оптимального решения. От выбора опорного решения зависит выполнение четвертого шага алгоритма, поскольку применяемый модифицированный метод градиентного спуска позволяет найти только локальный экстремум.

Шаг 4. Поиск оптимального решения.

Поиск экстремума целевой функции (9) нескольких переменных достигается применением модифицированного метода градиентного спуска [10]. На этом шаге ищется такая последовательность точек размещения объектов $x_0, x_1, \dots, x_k, \dots$, которая удовлетворяет условию $f(x_0) \geq f(x_1) \geq \dots \geq f(x_k) \geq \dots$.

Построение последовательности $(x^{(k)})$ производится в соответствии со следующей формулой с учетом выражения (2):

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha^{(k)} \cdot \nabla C(x^{(k)}). \quad (12)$$

Остановка спуска осуществляется при выполнении условия

$$\left| C(x^{(k+1)}) - C(x^{(k)}) \right| \leq \varepsilon, \quad (13)$$

где ε – достаточно малая величина.

Отметим, что в качестве альтернативы шагам 3 и 4 может выступать генетический алгоритм глобальной оптимизации [11].

Программа для проведения вычислительных экспериментов

Программа, реализующая предложенные модель и алгоритм, разработана на языке программирования C# для исполнительной платформы Microsoft .NET 4.7. Выбор территории осуществляется с учетом целевой аудитории объекта розничной торговли. Программа выполняет анализ данных о спросе с целью выявления мест, наиболее пригодных для размещения объектов розничной торговли. Результаты проведенного анализа наносятся на электронную карту местности для визуализации (рис. 4). Реализация функционала ГИС в программе выполнена средствами программной библиотеки GMap.NET [12], обеспечивающей возможность многослойного представления электронной карты. Реализация оптимизационного метода градиентного спуска выполнена на основе [13], оптимизационного генетического алгоритма – в соответствии с [14].

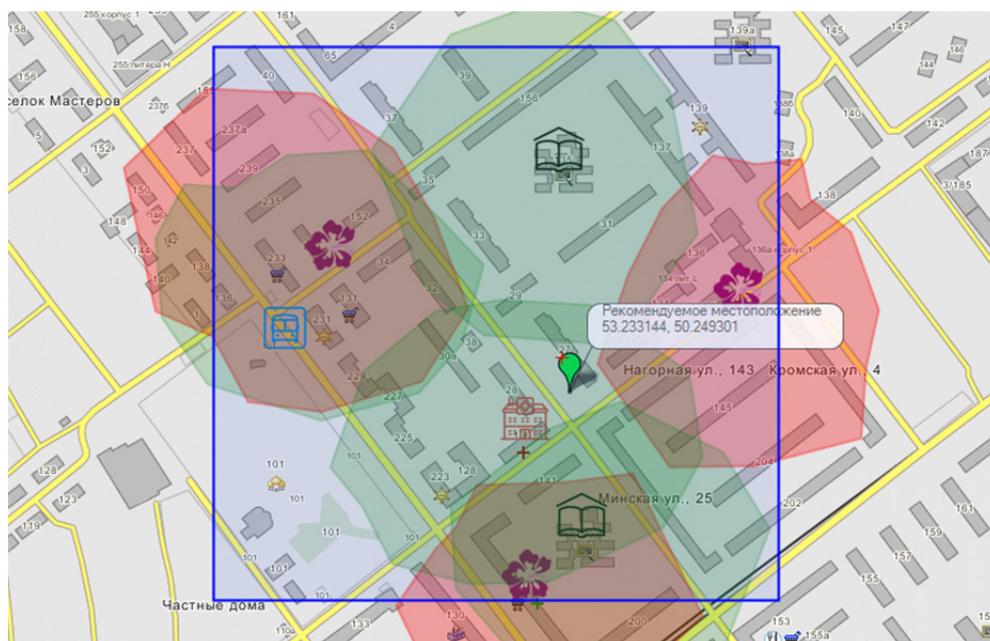


Рис. 4. Визуализация результатов работы программы

В качестве системы управления базами данных использована PostgreSQL/PostGIS. Разработанная модель данных приведена на рис. 5. Исход-

ные данные по источникам спроса и предложения получены из OpenStreetMap [15].

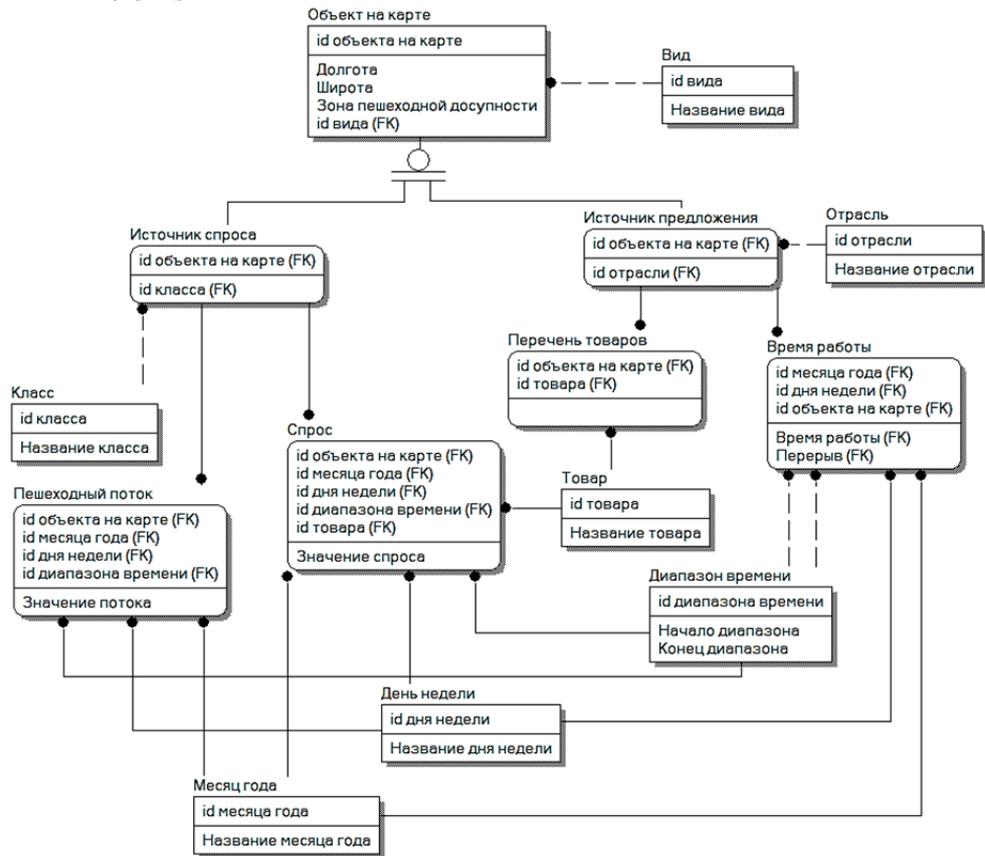


Рис. 5. Используемая модель данных

В программе задаются исходные значения, необходимые для решения задачи поиска решения, в соответствии с первым шагом алгоритма. Кроме этого, указывается шаг дискретизации электронной карты Δl , в соответствии с которым определяются возможные места расположения торговых объектов X согласно формулам (1) и (2). При поиске решения активируется сторожевой таймер, реализованный на основе класса `System.Diagnostics.Stopwatch`, и контролируется количество итераций поиска решения.

Результаты и обсуждение

Апробация предложенных решений осуществляется следующим образом. Пешеходная доступность r_{s_i} и r_{s_r} определяется с учетом особенностей местности, получаемых средствами ГИС, в виде полигонального объекта (зоны) согласно методике, апробированной в [16, 17]. Спрос d_{s_i} устанавливается путем анализа потребностей и интересов по доступным геомаркетинговым большим данным (в числе которых данные по перемещениям, транзакциям платежных и проездных карт, а также данные из социальных сетей и др.) согласно методике, предложенной в [18, 19]. Так, согласно полученным в ходе исследования результатам для источника спроса класса «жилой дом» харак-

терна следующая общая зависимость пешеходного потока от времени (рис. 6), а для остановки общественного транспорта – другая (рис. 7).

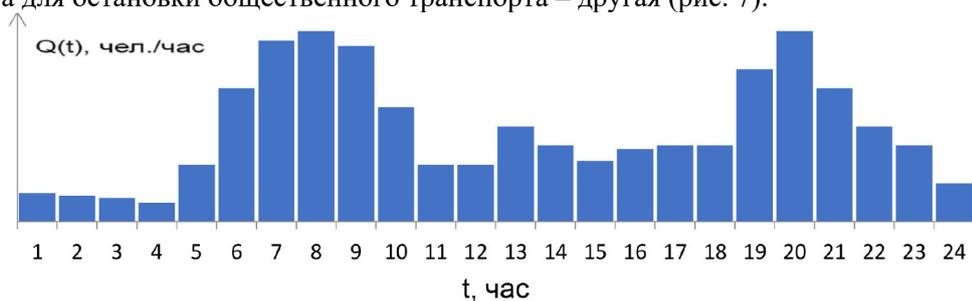


Рис. 6. График зависимости пешеходного потока от времени (жилой дом)

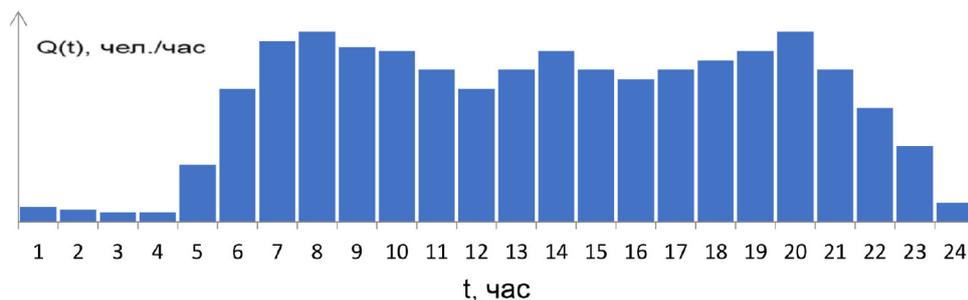


Рис. 7. График зависимости пешеходного потока от времени (остановка общественного транспорта)

Спрос на различные товары также различается. На рис. 8 представлены выявленный спрос на товар типа «кофе», а на рис. 9 – выявленный спрос на товары, относящиеся к типу «быстрое питание».

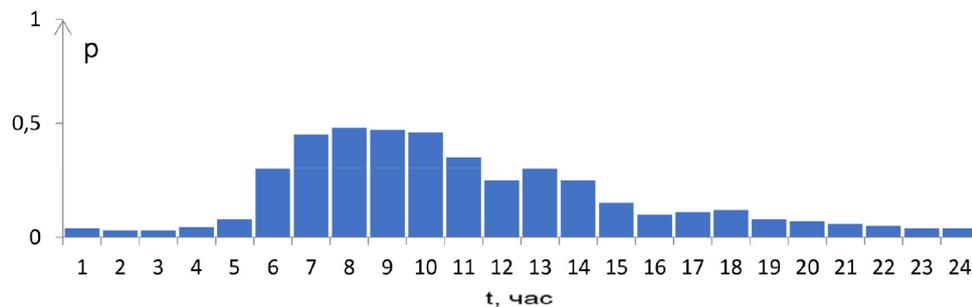


Рис. 8. График зависимости спроса на кофе от времени

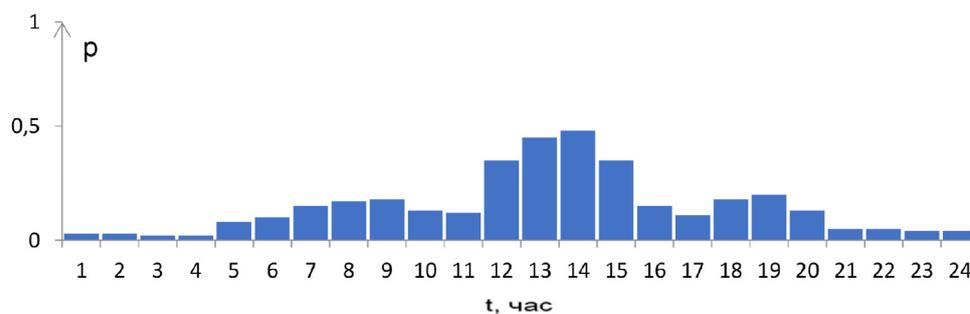


Рис. 9. График зависимости спроса на товары быстрого питания от времени

Исследования проведены на рабочей станции Dell Precision M6500, оснащенной процессором Intel Core i7-820QM (4 ядра, 8 потоков, 3,06 ГГц), оперативной памятью 16 Гб DDR3, твердотельным накопителем 240 GB SSD, видеокартой NVIDIA Quadro FX 3800M, операционной системой Windows 10 Pro (сборка 19042).

Предлагаемая модель апробирована на сгенерированных синтетических данных, моделирующих городскую застройку: на территории размером 3000×3000 м размещены 20 источников предложения и 500 источников спроса. Число размещаемых торговых объектов установлено от 1 до 10. Шаг дискретизации в процессе исследования менялся от 500 до 200 м. Использованный генетический алгоритм настроен следующим образом: кроссовер 0,80; мутация 0,05; размер популяции 20. Оценивались время нахождения решения и количество итераций, необходимых для нахождения решения. Под итерацией для унификации понимается операция вычисления целевой функции. Максимальное количество итераций ограничено 2000, максимальное время поиска решения (сторожевой таймер) – 3600 с, условие остановки (ϵ) принято равным 1 потенциальному клиенту. Результаты исследования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки эффективности

Шаг, м	Количество управляемых переменных	Градиентный спуск		Генетический алгоритм	
		Количество итераций	Время поиска решения, с	Количество итераций	Время поиска решения, с
500	36	297	103	180	47
300	100	809	3238	420	2326
200	225	475	3600	37	3600

Таким образом, результаты показывают, что метод градиентного спуска требует больше итераций для нахождения оптимального решения, однако оба класса методов (генетический и градиентный) эффективно находят решение только при количестве управляемых переменных до 100. При дальнейшем росте числа переменных значительно увеличивается количество необходимых вычислений, что приводит к срабатыванию сторожевого таймера.

Заключение

В статье предложен подход для оптимизации схемы расположения торговых объектов шаговой доступности, позволяющий учесть особенности местности при подсчете числа потенциальных клиентов торгового объекта. Предложена математико-картографическая модель, учитывающая пространственные характеристики торговых объектов и временные характеристики спроса и предложения на товары. На основе математико-картографической модели решается задача оптимизации расположения торговых объектов, при этом в качестве основы оптимизационного алгоритма могут выступать как методы градиентного спуска, так и эволюционные генетические алгоритмы. Разработана компьютерная программа, реализующая предложенную модель и алгоритмы. Проведена экспериментальная апробация предлагаемых решений на синтетических данных. Результаты исследования показали возможность применения предлагаемого подхода при решении оптимизационных задач такого класса при количестве управляемых переменных (возможных мест размещения торговых объектов) до 100.

Список литературы

1. Кудрявцева Л. Б., Сорокина А. Ю. Методология маркетинга торговой организации // Государство и бизнес в современной экономике. 2020. С. 71–74.
2. Нюрнбергер Л. Б., Леушина О. В., Лучина Н. А. Проблемы оптимизации размещения предприятий розничной торговли в мегаполисе // Вестник Института экономических исследований. 2018. № 4. С. 27–33.
3. Садыков А. М., Кайзер Д. Д. Разработка интернет-ресурса для анализа мест размещения объектов торговли в городе Иваново // Энергия-2015 : труды Междунар. науч.-техн. конф. Иваново : ИГЭУ, 2015. С. 141–144.
4. Пустовалова Е. А., Чернов В. П. Сравнительный анализ методов размещения точки розничной торговли // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. № 2. С. 29–44.
5. Widaningrum D. L. GIS and SVM approach for convenience store location analysis // Int. Conf. on Machine Learning and Computing. 2017. P. 112–116. <https://doi.org/10.1145/3055635/3056585>
6. Xiao D., Ye W. Combining GIS and the analytic hierarchy process to analyze location of hypermarket // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. Vol. 237, № 3. P. 032012.
7. Hakim Pour F., Talat Ahary S., Ranjbar A. The assessment and comparison of a genetic algorithm, simulated annealing and cuckoo optimization algorithm for optimization of the facility location under competitive conditions (Case Study: Banks) // J. of Modeling in Engineering. 2017. Vol. 15. P. 231–246.
8. Siqueira H., Figueiredo E., Macedo M. [et al.]. Boolean binary cat swarm optimization algorithm // IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence. 2018. P. 1–6. doi 10.1109/LA-CCI.2018.8625226
9. Wanchoo K. Retail demand forecasting: a comparison between deep neural network and gradient boosting method for univariate time series // IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology. 2019. P. 1–5. doi 10.1109/I2CT45611.2019.9033651
10. Кочегурова Е. А. Теория и методы оптимизации. М. : Юрайт, 2019. 133 с.
11. Газизов Т. Т. Методы глобальной оптимизации. Томск : В-Спектр, 2017. 24 с.
12. GMap.NET. URL: <https://github.com/judero01col/GMap.NET>
13. Ru.Lsreg.Math. URL: <https://github.com/lsreg/ru.lsreg.math>
14. Passos W. Numerical methods, algorithms and tools in C#. Boca Raton : CRC Press, 2009. 598 с.
15. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org>

16. Головнин О. К., Кондратьева Е. О. Исследование методов оценки пешеходной доступности остановок общественного транспорта // *Intelligent Technologies for Intelligent Decision Making Support*. 2016. Vol. 1. P. 182–185.
17. Kondrateva E., Sidorov A., Saprykin O. An isochrones based public transport stops optimization technique // *5th IEEE Int. Conf. on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. Naples, Italy: IEEE, 2017. P. 182–187.
18. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Data market implementation to match retail customer buying versus social media activity // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1228. P. 363–372.
19. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Spatial clustering based on analysis of big data in digital marketing // *Communications in Computer and Information Science*. 2019. Vol. 1093. P. 335–347.

References

1. Kudryavtseva L.B., Sorokina A.Yu. Marketing methodology of a trade organization. *Gosudarstvo i biznes v sovremennoy ekonomike = State and business in the modern economy*. 2020:71–74. (In Russ.)
2. Nyurenberger L.B., Leushina O.V., Luchina N.A. Problems of optimization of the placement of retail trade enterprises in a megapolis. *Vestnik Instituta ekonomicheskikh issledovaniy = Bulletin of the Institute of Economic Research*. 2018;(4):27–33. (In Russ.)
3. Sadykov A.M., Kayzer D.D. Development of an Internet resource for the analysis of places of distribution of trade objects in the city of Ivanovo. *Energiya-2015: trudy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Energiya-2015: Proceedings of the Mezhdunar. scientific and technical conf.* Ivanovo: IGEU, 2015:141–144. (In Russ.)
4. Pustovalova E.A., Chernov V.P. Comparative analysis of methods for placing a retail outlet. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya = Modern economy: problems and solutions*. 2015;(2):29–44. (In Russ.)
5. Widaningrum D.L. GIS and SVM approach for convenience store location analysis. *Int. Conf. on Machine Learning and Computing*. 2017:112–116. <https://doi.org/10.1145/3055635/3056585>
6. Xiao D., Ye W. Combining GIS and the analytic hierarchy process to analyze location of hypermarket. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019;237(3):032012.
7. Hakim Pour F., Talat Ahary S., Ranjbar A. The assessment and comparison of a genetic algorithm, simulated annealing and cuckoo optimization algorithm for optimization of the facility location under competitive conditions (Case Study: Banks). *J. of Modeling in Engineering*. 2017;15:231–246.
8. Siqueira H., Figueiredo E., Macedo M. [et al.]. Boolean binary cat swarm optimization algorithm. *IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence*. 2018:1–6. doi 10.1109/LA-CCI.2018.8625226
9. Wanchoo K. Retail demand forecasting: a comparison between deep neural network and gradient boosting method for univariate time series. *IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology*. 2019:1–5. doi 10.1109/I2CT45611.2019.9033651
10. Kochegurova E.A. *Teoriya i metody optimizatsii = Theory and methods of optimization*. Moscow: Yurayt, 2019:133. (In Russ.)
11. Gazizov T.T. *Metody global'noy optimizatsii = Methods of global optimization*. Tomsk: V-Spektr, 2017:24. (In Russ.)
12. *GMap.NET*. Available at: <https://github.com/judero01col/GMap.NET>
13. *Ru.Lsreg.Math*. Available at: <https://github.com/lsreg/ru.lsreg.math>
14. Passos W. *Numerical methods, algorithms and tools in C#*. Boca Raton: CRC Press, 2009:598.

15. *OpenStreetMap*. Available at: <https://www.openstreetmap.org>
16. Golovnin O.K., Kondrat'eva E.O. Research of methods for assessing the pedestrian accessibility of public transport stops. *Intelligent Technologies for Intelligent Decision Making Support*. 2016;1:182–185. (In Russ.)
17. Kondrateva E., Sidorov A., Saprykin O. An isochrones based public transport stops optimization technique. *5th IEEE Int. Conf. on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. Naples, Italy: IEEE, 2017:182–187.
18. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Data market implementation to match retail customer buying versus social media activity. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;1228:363–372.
19. Ivaschenko A., Stolbova A., Golovnin O. Spatial clustering based on analysis of big data in digital marketing. *Communications in Computer and Information Science*. 2019;1093:335–347.

Информация об авторах / Information about the authors

Олег Константинович Головнин
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных
систем и технологий,
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
(Россия, г. Самара,
ул. Московское шоссе, 34)
E-mail: golovnin@bk.ru

Oleg K. Golovnin
Candidate of technical sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of information systems and technologies,
Samara National Research University
named after Academician S. P. Korolev
(34 Moskovskoe highway, Samara, Russia)

Анастасия Алексеевна Игонина
студентка,
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
(Россия, г. Самара,
ул. Московское шоссе, 34)
E-mail: igonina1999@inbox.ru

Anastasia A. Igonina
Student,
Samara National Research University
named after Academician S. P. Korolev
(34 Moskovskoe highway, Samara, Russia)

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧИСЛА ПИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ OpenMP

О. А. Бакаева

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарева, Саранск, Россия
helga_rm@rambler.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цель исследования – провести анализ различных методов вычисления числа Пи с использованием языка программирования C++ и сравнить сходимость, точность и скорость вычисления для этих методов с использованием технологии параллельного программирования и без нее. *Материалы и методы.* На основе известных математических выражений, которые являются качественной аппроксимацией числа Пи: ряды Грегори–Лейбница, Мадхавы, Нилаканта, формулы Эйлера и Валлиса – вычисляется приближенное значение числа Пи с точностью до 10^{-10} и количеством слагаемых до 10^6 . Расчеты производятся в среде Visual Studio на языке программирования C++ стандартным способом и с использованием технологии параллельных вычислений OpenMP. *Результаты.* Для каждой из расчетных формул найдены абсолютная и относительная ошибки вычисления числа Пи. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных в среде Free Pascal, C++ и C++ с использованием технологии OpenMP. *Выводы.* Выявлен самый эффективный способ вычисления числа Пи, учитывая сходимость ряда, точность и время вычислений.

Ключевые слова: число Пи, технологии параллельного программирования, OpenMP, Visual Studio, язык программирования C++, ряд Грегори–Лейбница, ряд Мадхавы, ряд Нилаканта, формула Эйлера, формула Валлиса

Для цитирования: Бакаева О. А. Вычисление числа Пи с использованием технологии параллельного программирования OpenMP // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 130–143. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-9

CALCULATING THE NUMBER PI USING DATA PARALLEL PROGRAMMING OpenMP

O.A. Bakaeva

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia
helga_rm@rambler.ru

Abstract. *Background.* To analyze various methods for calculating the number Pi using the C ++ programming language and compare the convergence, accuracy and computation speed for these methods with and without data parallel programming. *Materials and methods.* Based on the well-known mathematical expressions that are a qualitative approximation of the number Pi: the Gregory–Leibniz, Madhava, Nilakant series, Euler and Wallis formulas, the approximate value of Pi is calculated with an accuracy of 10^{-10} and the number of terms up to 10^6 . The calculations are performed in the Visual Studio environment on the C ++ programming language in a standard way and using the OpenMP parallel compu-

ting technology. *Results*. For each of the calculation formulas, the absolute and relative error in calculating the number Pi is found. A comparative analysis of the results obtained in Free Pascal, C ++ and C ++ using OpenMP technology is carried out. *Conclusions*. The most efficient way of calculating the number Pi was revealed, taking into account the convergence of the series, the accuracy and time of calculations.

Keywords: number Pi, data parallel programming, OpenMP, Visual Studio, C ++ programming language, Gregory–Leibniz series, Madhava series, Nilakant series, Euler's formula, Wallis's formula

For citation: Bakaeva O.A. Calculating the number of Pi using data parallel programming OpenMP. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;2:130–143. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-9

Введение

Вопрос о величине, природе, способах вычисления и точности числа Пи интересовал ученых в различные времена. Эта тематика остается актуальной и в настоящее время. О том, как далеко продвинулась вычислительная наука, можно судить по количеству знаков в дробной части числа Пи, которое уже удалось определить на текущий момент времени.

Число Пи – фундаментальная математическая константа, равная отношению длины окружности к ее диаметру. Значение 3,14 является достаточно приближительным и используется для обучения и простоты расчетов [1].

В настоящее время число Пи применяется в прикладных вычислениях во многих областях: электротехника, электроника, физика, космос, теория вероятностей, строительство, навигация и пр.

Число Пи настолько многогранно, что существует много подходов к его вычислению. Наиболее часто встречается геометрический подход к исследованию числа Пи. Так, в работах С. П. Коростелева описывается коррекция значения числа Пи на основании абсолютно точных решений задач квадратуры круга и удвоения куба [2, 3]. А коллектив авторов В. И. Чепасов, М. А. Токарева, О. В. Буреш вычисляет число Пи методом касательных в длинной арифметике [4].

В работе В. С. Сенашова, И. Л. Савостьянова [5] отражен геометрический и вероятностный смысл числа Пи, в [6] представлен информационный подход и АСК-анализ, а В. А. Андросенко исследует иррациональность вы-

ражения $\frac{\pi}{\sqrt{3}}$ с помощью новой интегральной конструкции [7]. Достаточно часто число Пи пересекается с физикой [8].

В зарубежных работах тоже отмечается важность использования числа Пи в инженерии и науке и приводятся классические способы его вычисления. Например, в [9] представлен исторический обзор методов вычисления данной константы: от Архимеда, использовавшего правильные многоугольники $\left(\pi \approx \frac{22}{7}\right)$, китайского математика Цзу Чунчжи (вычислил 6 знаков в дробной части), малоизвестных рядов Грегори–Лейбница и Нилаканта до компьютерных вычислений с точностью до 13 300 000 000 000 знаков после запятой.

Число Пи нашло свое применение в архитектуре, искусстве и предметах культуры древних народов [10]. По размерам древних украшений в виде

дисков, спиралей и пр. можно найти значение π и получить представление о знаниях геометрии в доисторические времена.

Начиная с середины XX в. для вычисления числа π использовались компьютеры и их вычислительные мощности. Огромный вклад в нахождение максимального количества знаков в дробной части числа π внесли Дж. фон Нейман (1949 г.), Ф. Женюи (1959 г.), Дж. Гийу и М. Буйе (1973 г.), Братья Чудновские (1989 г.), Я. Канада (2002 г.), А. Йи и С. Кондо [11]. Перспективной стала формула Бэйли–Боруэйна–Плаффа, открытая С. Плаффом [12].

Самый полный и детальный хронологический обзор методов нахождения числа π на английском языке представлен в работе R. P. Agarwal, H. Agarwal, S. K. Sen [13].

Причем с прогрессом вычислительной техники и увеличением мощностей современных компьютеров открываются новые возможности изучения самой константы, способов ее вычисления и ее практического применения [14].

Материалы и методы

С развитием техники и внедрением персональных компьютеров математическую природу числа π можно исследовать, используя мощные и быстрые вычислительные средства [15, 16].

В современном мире начали быстро развиваться и уже достигли определенного уровня технологии параллельного программирования. Благодаря присущим им преимуществам были решены некоторые классы задач, которые до внедрения данных методов оставались нерешенными или имели приближенное решение, или, что случалось чаще всего, требовали больших временных и вычислительных затрат. С использованием технологии параллельного программирования стало возможным решение задач с большими объемами данных и многочисленными операциями.

В настоящее время одной из самых используемых технологий параллельного программирования является OpenMP [17].

OpenMP (Open Multi-Processing) – это набор директив компилятора, библиотечных процедур и переменных окружения, которые предназначены для программирования многопоточных приложений на многопроцессорных системах с общей памятью (SMP-системах).

При использовании технологии OpenMP разработчик не создает новую параллельную программу, а просто добавляет в текст последовательной программы OpenMP-директивы. При этом система программирования OpenMP предоставляет разработчику большие возможности по контролю над поведением параллельного приложения. Вся программа разбивается на последовательные и параллельные области. Все последовательные области выполняет главная нить, возникающая при запуске программы, а при входе в параллельную область главная нить порождает дополнительные нити [18].

Данная технология может быть эффективно реализована с помощью среды Visual Studio и языка программирования C++. Для обеспечения работоспособности OpenMP необходимо включить поддержку OpenMP в свойстве проекта и подключить одноименную библиотеку через `#include <omp.h>`.

Вычисление числа π можно проводить с помощью различных вычислительных инструментов [19]. Для этого подходят языки программирования Pascal, C++, математические пакеты Mathcad, MATLAB и др. Даже широко

используемый табличный процессор MS Excel позволяет вычислить данную константу с вполне приемлемой точностью. Но данные методы и инструменты стандартны и известны [20].

В данной статье для вычисления числа Пи через сумму ряда предлагается использовать технологию параллельного программирования OpenMP. Благодаря распараллеливанию действий в циклах появляется возможность увеличивать скорость вычислений. А увеличивая количество слагаемых и число итераций в программе, можно получить любое количество знаков в дробной части числа и тем самым необходимую точность.

Существует достаточно много последовательностей и рядов, которые сходятся к числу Пи или приближенно равны данной константе. Это ряд Грегори–Лейбница, ряд Мадхавы, ряд Нилаканта, формулы Эйлера и Валлиса и др. [19, 20].

1. Ряд Грегори–Лейбница имеет вид

$$\pi = 4 - \frac{4}{4} + \frac{4}{5} - \frac{4}{7} + \frac{4}{9} \pm \dots \quad (1)$$

Его недостаток состоит в том, что он сходится очень медленно, что приводит к объемным рутинным вычислениям.

2. Ряд Мадхавы определяется выражением

$$\pi = \sqrt{12} \cdot \left(1 - \frac{1}{3 \cdot 3} + \frac{1}{5 \cdot 3^2} - \frac{1}{7 \cdot 3^3} + \dots \right). \quad (2)$$

3. Ряд Нилаканта имеет вид

$$\pi = 3 + \frac{4}{2 \cdot 3 \cdot 4} - \frac{4}{4 \cdot 5 \cdot 6} + \frac{4}{6 \cdot 7 \cdot 8} - \frac{4}{8 \cdot 9 \cdot 10} + \frac{4}{10 \cdot 11 \cdot 12} + \dots \quad (3)$$

4. Формула Эйлера:

$$\pi^2 = 6 \cdot \left(\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \dots \right). \quad (4)$$

5. Формула Валлиса:

$$\pi = 2 \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{6}{7} \cdot \frac{8}{7} \cdot \frac{8}{9} \cdot \dots \quad (5)$$

Необходимо выяснить, какой из указанных рядов быстрее будет сходиться к числу Пи и сколько слагаемых (множителей для формулы Валлиса) необходимо вычислить, чтобы точность была больше 10^{-10} , а также определить и сравнить время вычислений при обычном программировании и использовании технологии OpenMP.

Для решения данной задачи проведем расчеты в среде Visual Studio с помощью языка программирования C++ и технологии параллельного программирования OpenMP. Далее сравним полученные результаты по нескольким характеристикам. Во-первых, определим, получились ли одинаковые результаты вычисления числа Пи при решении в данном случае и в работе, когда для расчетов использовалась среда Free Pascal [20]. Во-вторых, если

значения суммы ряда различны, сделаем вывод об изменении скорости сходимости. И, в-третьих, сравним результаты вычислений и время работы программы для вычисления числа Пи в C++ без использования технологии параллельного программирования и с применением ее (в частности использованием технологии OpenMP).

Результаты

После разработки алгоритмов вычисления числа Пи по формулам (1)–(5) был написан код, позволяющий реализовать технологию OpenMP.

*Листинг кода вычисления числа Пи с помощью технологии OpenMP
(метод Грегори–Лейбница)*

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
#include <omp.h>
void task_1(int n)

{
    double pi = 0;
    double start, end;
    start = omp_get_wtime();

#pragma omp parallel reduction(+:pi)
    {
        #pragma omp for
        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            pi = pi + 4.0 * pow(-1, i) / (2.0 * i + 1.0);
        }
    }
    end = omp_get_wtime();
    printf("Значение pi для первых %d слагаемых по формуле Грегори-
    Лейбница: %.10f\n",
    n, pi);
    printf("Время по формуле Грегори-Лейбница: %.6f \n", end-
    start);
}

int main()
{
    setlocale(LC_ALL, "Russian");
    for (int i = 10; i <= 1000000; i = i * 10)
    {
        task_1(i);
    }
    return 0;
}
```

1. Проведем расчеты и вычислим число Пи в C++ с точностью до 10^{-10} методом Грегори–Лейбница, найдем и сравним абсолютную и относительную ошибки (табл. 1).

Таблица 1

Вычисление числа Пи методом Грегори–Лейбница в C++

Число слагаемых	Полученное значение в Free Pascal*	Полученное значение в C++	Δ для (C++)	ε для (C++), %
$n = 10$	3,2323158094	3,0418396189	0,0997530347	3,1752
$n = 100$	3,1514934011	3,1315929036	0,0099997500	0,3183
$n = 1000$	3,1425916543	3,1405926538	0,0009999998	0,0318
$n = 10\ 000$	3,1416926436	3,1414926536	0,0001000000	0,0032
$n = 100\ 000$	3,1416026535	3,1415826536	0,0000100000	0,0003
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415946536	3,1415906536	0,0000020000	0,0001

Примечание. * – здесь и далее результаты вычислений взяты из работы [20].

Как видно, метод Грегори–Лейбница даже при $n = 10^6$ слагаемых не дает результат, верный с точностью 10^{-10} . Абсолютная ошибка $>10^{-7}$, относительная $\approx 0,0001\%$.

Значения числа Пи, полученные по данной формуле, без использования технологии параллельного программирования и с ее использованием получились одинаковыми. Такое будет наблюдаться и при вычислениях по другим формулам (2)–(5).

Значение времени при обычных вычислениях, начиная со значения $n = 100$, непрерывно растет, что объясняется увеличением числа слагаемых (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение времени вычисления числа Пи методом Грегори–Лейбница

Число слагаемых	Полученное значение C++	t_{C++}	Полученное значение C++ _{OpenMp}	$t_{C++\ OpenMp}$
$n = 10$	3,0418396189	0,000017	3,0418396189	0,000283
$n = 100$	3,1315929036	0,000009	3,1315929036	0,000034
$n = 1000$	3,1405926538	0,000084	3,1405926538	0,000109
$n = 10\ 000$	3,1414926536	0,000842	3,1414926536	0,000883
$n = 100\ 000$	3,1415826536	0,008451	3,1415826536	0,010765
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415916536	0,091316	3,1415916536	0,066932

При параллельных вычислениях наблюдается та же тенденция. Так как значение числа Пи не достигло требуемой точности, в дальнейшем анализировать время, затраченное на вычисления, нет смысла: результат не удовлетворяет заявленной точности.

Можно только заметить, что вычисления с использованием технологии параллельного программирования до $n = 10^6$ занимают больше времени, чем обычные методы. А видимый эффект достигается при $n = 10^6$ и составляет $\approx 0,03$ с.

2. Рассмотрим результаты вычислений, полученные с использованием ряда Мадхавы (табл. 3).

Фрагмент листинга кода, реализующий вычисление числа Π ,
через ряд Мадхавы

```

void task_2(int n)
{
    double pi = 0;
    double start, end;
    start = omp_get_wtime();

#pragma omp parallel reduction(+:pi)
    {
#pragma omp for
        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            pi = pi + sqrt(12) * pow(-1, i) / ((2.0 * i + 1) *
pow(3, i));
        }

        end = omp_get_wtime();
        printf("Значение pi для первых %d слагаемых,используя ряд Мад-
хавы: %.10f\n",n, pi);
        printf("Время: %.6f \n", end - start);
    }
}

```

Таблица 3

Вычисление числа Π с помощью ряда Мадхавы в C++

Число слагаемых	Полученное значение Free Pascal	Полученное значение C++	Δ C++	ϵ , %
$n = 10$	3,2323158094	3,1415905109	0,0000021427	0,0001
$n = 100$	3,1514934011	3,1415926536	0,0000000000	0,0000
$n = 1000$	3,1425916543	3,1415926536	0,0000000000	0,0000
$n = 10\ 000$	3,1416926436	3,1415926536	0,0000000000	0,0000
$n = 100\ 000$	3,1416026535	3,1415926536	0,0000000000	0,0000
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415946536	3,1415926536	0,0000000000	0,0000

Реализация алгоритма Мадхавы в C++ приводит к более точным результатам, чем предыдущие расчеты и за меньшее количество действий (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение времени вычисления числа Π с помощью ряда Мадхавы

Число слагаемых	Полученное значение C++	t_{C++}	Полученное значение C++ OpenMp	t_{C++} OpenMp
$n = 10$	3,1415905109	0,000029	3,1415905109	0,039706
$n = 100$	3,1415926536	0,000023	3,1415926536	0,000021
$n = 1000$	3,1415926536	0,000281	3,1415926536	0,000206
$n = 10\ 000$	3,1415926536	0,003524	3,1415926536	0,002405
$n = 100\ 000$	3,1415926536	0,036854	3,1415926536	0,021092
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415926536	0,355709	3,1415926536	0,206818

Так как вычисляемое значение числа Пи достигает точности 10^{-10} при $n = 100$, можно сделать вывод о быстрой сходимости ряда. Время на вычисления увеличивается пропорционально числу слагаемых, но при параллельных вычислениях данный показатель значительно меньше. Получается, что точное значение (абсолютная ошибка $< 10^{-10}$) можно вычислить за $t_{C++} = 0,000023$ с и $t_{C++ \text{ OpenMp}} = 0,000021$ с.

И в целом при использовании ряда Мадхавы, за исключением $n = 10$, времени на расчеты при использовании технологии параллельного программирования тратится меньше, чем при классических методах.

3. Рассмотрим результаты вычислений, полученные с помощью ряда Нилаканта (табл. 5).

Фрагмент листинга кода, реализующий вычисление числа Пи через ряд Нилаканта

```
void task_3(int n)
{
    double pi = 3.0;
    int znak = 1;
    int i;
    int z = 1;
    double start, end;
    start = omp_get_wtime();
#pragma omp parallel reduction(+:pi)
    {
#pragma omp for
        for (i = 2; i <= n; i += 2)
        {
            pi += (4*z) / (i * (i + 1.0) * (i + 2.0));
            z = -z;
        }
    }
    end = omp_get_wtime();
    printf("Значение pi для первых %d слагаемых, используя ряд
        Нилаканта: %.10f\n", n, pi);
    printf("Время: %.6f \n", end - start);
}
```

Таблица 5

Вычисление числа Пи с помощью ряда Нилаканта в C++

Число слагаемых	Полученное значение Free Pascal	Полученное значение C++	Δ C++	ϵ , %
$n = 10$	3,2323158094	3,1427128427	0,0011201891	0,0357
$n = 100$	3,1514934011	3,1415907698	0,0000018838	0,0001
$n = 1000$	3,1425916543	3,1415926516	0,0000000020	0,0000
$n = 10\ 000$	3,1416926436	3,1415926536	0,0000000000	0,0000
$n = 100\ 000$	3,1416026535	3,1415926536	0,0000000000	0,0000
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415946536	3,1415926536	0,0000000000	0,0000

Как и в предыдущем случае, реализация данного алгоритма более эффективна в среде Visual Studio с помощью языка C++ (табл. 6).

Таблица 6

Сравнение времени вычисления числа Пи с помощью ряда Нилаканта

Число слагаемых	Полученное значение C++	t_{C++}	Полученное значение C++ OpenMp	$t_{C++ \text{ OpenMp}}$
$n = 10$	3,1427128427	0,000000	3,1427128427	0,002104
$n = 100$	3,1415907698	0,000001	3,1415907698	0,000022
$n = 1000$	3,1415926516	0,000010	3,1415926516	0,000016
$n = 10\ 000$	3,1415926536	0,000100	3,1415926536	0,000057
$n = 100\ 000$	3,1415926536	0,001007	3,1415926536	0,000617
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415926536	0,011177	3,1415926536	0,006506

Относительно времени вычисления ряд Нилаканта – достаточно быстрый. Затрачивается 0,000057 с, но при работе с 10 000 слагаемыми. При этом в ряде Мадхавы суммируется только 100 слагаемых и на эти вычисления тратится 0,000021 с. При вычислении по формуле Нилаканта технологии параллельного программирования позволяют сэкономить время при $n \geq 10\ 000$ слагаемых.

4. Рассмотрим результаты вычислений, полученные с помощью формулы Эйлера (табл. 7).

Фрагмент листинга кода, реализующий вычисление числа Пи через ряд Эйлера

```
void task_4(int n)
{
    double pi = 0;
    double start, end;
    start = omp_get_wtime();
#pragma omp parallel reduction(+:pi)
    {
#pragma omp for
        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            pi = pi + 1 / pow(i + 1, 2);
        }
    }
    pi = sqrt(6 * pi);
    end = omp_get_wtime();
    printf("Значение pi для первых %d слагаемых по формуле Эйлера:
%.10f \n", n, pi);
    printf("Время: %.6f \n", end - start);
}
```

Таблица 7

Вычисление числа Пи с помощью формулы Эйлера в C++

Число слагаемых	Полученное значение Free Pascal	Полученное значение C++	Δ_{C++}	$\varepsilon, \%$
$n = 10$	3,2323158094	3,0493616360	0,0922310176	2,9358
$n = 100$	3,1514934011	3,1320765318	0,0095161218	0,3029
$n = 1000$	3,1425916543	3,1406380562	0,0009545974	0,0304
$n = 10\ 000$	3,1416926436	3,1414971639	0,0000954897	0,0030
$n = 100\ 000$	3,1416026535	3,1415831043	0,0000095493	0,0003
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415946536	3,1415916987	0,0000009549	0,0000

Используя формулу Эйлера, даже при больших n не удалось вычислить число Π с точностью 10^{-10} . Так как требуемая точность не достигнута, проводить детальный анализ времени вычисления бессмысленно. Но в целом видна следующая тенденция: время при использовании технологии OpenMP меньше, чем в расчетах обычным способом.

5. Рассмотрим результаты вычислений, полученные с помощью формулы Валлиса (табл. 8).

Фрагмент листинга кода, реализующий вычисление числа Π через формулу Валлиса

```
void task_5(int n)
{
    double pi = 1;
    double start, end;
    start = omp_get_wtime();
#pragma omp parallel reduction(*:pi)
    {
#pragma omp for
        for (int i = 1; i <= n; i++)
        {
            pi = pi*pow(2 * i, 2) / ((2.0*i - 1)*(2.0*i + 1));
        }
    }
    pi*= 2;
    end = omp_get_wtime();
    printf("Значение pi для первых %d слагаемых по формуле Валлиса:
%.10f \n", n, pi);
    printf("Время: %.6f \n", end - start);
}
```

Таблица 8

Вычисление числа Π с помощью формулы Валлиса в C++

Число слагаемых	Полученное значение Free Pascal	Полученное значение C++	Δ C++	ε , %
$n = 10$	3,2323158094	3,0677038066	0,0738888470	2,3520
$n = 100$	3,1514934011	3,1337874906	0,0078051630	0,2484
$n = 1000$	3,1425916543	3,1408077460	0,0007849076	0,0250
$n = 10\ 000$	3,1416926436	3,1415141187	0,0000785349	0,0025
$n = 100\ 000$	3,1416026535	3,1415847997	0,0000078539	0,0002
$n = 1\ 000\ 000$	3,1415946536	3,1415918682	0,0000007854	0,0000

Как и при использовании формулы Эйлера, даже при больших n не удалось вычислить число Π с точностью 10^{-10} . Как видно, явного преимущества технологии параллельного программирования в скорости вычисления методом Валлиса не дают. Это может быть связано с тем, что считается не сумма ряда, а произведение множителей.

Обсуждение

В ходе исследования были проведены практические вычисления числа Пи разными методами: Грегори–Лейбница, Мадхавы, Нилаканта, Эйлера, Валлиса – с использованием методов классического программирования и с применением технологии параллельного программирования OpenMP.

Анализ инструментов вычисления показывает, что среда Visual Studio, и в частности язык C++, дают одинаковую точность вычисления, независимо от использования методов параллельного программирования или проведения расчетов только классическими методами.

Требуемая точность 10^{-10} была достигнута только при использовании методов Мадхавы ($n = 100$) и Нилаканта ($n = 10\ 000$). Остальные способы даже при количестве слагаемых $n = 10^6$ не удовлетворяют заявленной точности.

Результаты вычислений при использовании технологии параллельного программирования и, только стандартных методов оказались абсолютно одинаковыми. А время вычисления в среднем при технологии OpenMP значительно меньше, особенно это заметно при увеличении числа слагаемых. При $n \geq 100$ метод Нилаканта и технология OpenMP дают самые быстрые расчеты (рис. 1).

Минимальное время вычисления числа Пи ($t = 0,000021$ с) получено по формуле Мадхавы при $n = 100$ и использовании технологии параллельного программирования OpenMP.

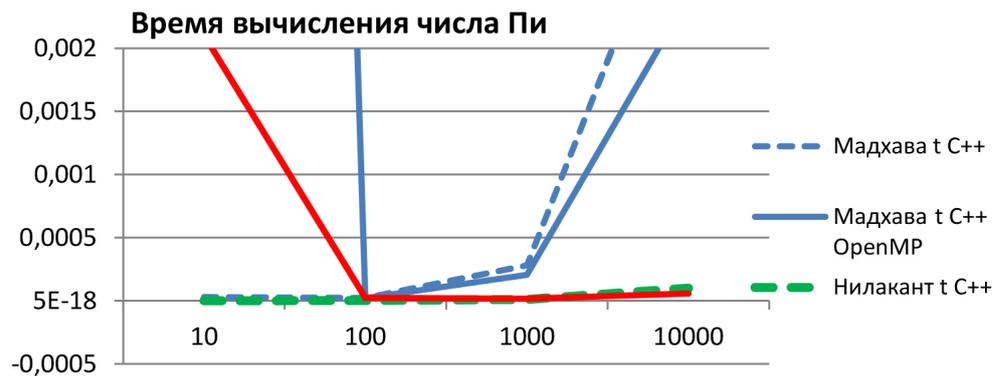


Рис. 1. Время вычисления числа Пи

Заключение

В работе продемонстрировано использование технологии параллельного программирования OpenMP в вычислительной среде Visual Studio с помощью языка C++ при вычислении математической константы Пи с десятью знаками в дробной части. Показаны преимущества данной технологии: высокая точность вычислений по сравнению с другими инструментами, синхронизация полученных результатов в расчетах с использованием технологии параллельных вычислений и классических методов, увеличение скорости расчетов за счет экономии времени при распараллеливании. Все эти преимущества свидетельствуют о необходимости внедрения и использования технологий параллельных вычислений при обработке больших объемов данных и решении задач вычислительного характера.

Список литературы

1. Зудин В. П. Развитие креативного мышления обучающихся с помощью нестандартных методов вычисления числа Пи // Информатика и образование. 2017. № 10. С. 26–37.
2. Коростелев С. П. Существенная коррекция значения числа Пи на основании абсолютно точных решений задач квадратуры круга и удвоения куба // Вестник науки и образования. 2019. № 15 (69). С. 6–16.
3. Коростелев С. П. Существенная коррекция значения числа Пи на основании абсолютно точных решений задач квадратуры круга и удвоения куба с прибавлением математического обоснования необходимости в такой коррекции // Вестник науки и образования. 2019. № 16. С. 5–21.
4. Чепасов В. И., Токарева М. А., Буреш О. В. Вычисление числа Пи методом касательных в длинной арифметике. Оренбург : Изд-во ОГУ, 2011. 119 с.
5. Сенашов В. С., Савостьянова И. Л. Вычисление числа π с помощью геометрической вероятности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т. 2, № 4 (14). С. 362–364.
6. Луценко Е. В. Исследование символьных и цифровых рядов методами теории информации и АСК-анализа (на примере числа Пи с одним миллионом знаков после запятой) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 99. С. 73–100.
7. Андросенко В. А. Мера иррациональности числа $\frac{\pi}{\sqrt{3}}$ // Известия Российской академии наук. Серия математическая. 2015. Т. 79, № 1. С. 3–20.
8. Selenskih V. N. Physical method of determining the exact Pi number // Eastern European Scientific Journal. 2013. № 6. P. 100–104.
9. Lewis H. Calculating Pi (π) // The Institute of Mathematics and its Applications. URL: <https://www.mathscareers.org.uk/calculating-pi/>
10. Sparavigna A. C. Number Pi from the decorations of ancient artifacts // Archaeoastronomy and Ancient Technologies. 2013. Vol. 1, № 2. С. 40–47.
11. Arndt J., Haenel C. Pi. Algorithmen, Computer, Arithmetik. Springer, 2000, 264 p.
12. Bailey D., Borwein J. The next generation a sourcebook on the recent history of Pi and its computation. Springer, 2016. 507 p.
13. Agarwal R. P., Agarwal H., Sen S. K. Birth, growth and computation of Pi to ten trillion digits // Advances in Difference Equations. 2013. № 1. P. 100. URL: <https://advancesindifferenceequations.springeropen.com/track/pdf/10.1186/1687-1847-2013-100.pdf>
14. Графова А. А. Число Пи: краткий обзор свойств и нерешенные проблемы // Проблемы современных интеграционных процессов и поиск инновационных решений : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Стерлитамак, 2020). Уфа : Агентство международных исследований, 2020. С. 15–18.
15. Кормилицына Т. В. Обучение программированию в языках сверхвысокого уровня на примере входных языков систем компьютерной математики // Учебный эксперимент в образовании. 2017. № 1 (81). С. 41–45.
16. Бакаева О. А. Анализ процессов компьютерного моделирования вычисления числа Пи методом Монте-Карло // Вестник Чувашского университета. 2018. № 3. С. 151–162.
17. Окань С. В. Изучение влияния распараллеливания вычислений с использованием OPENMP // Совершенствование методологии и организации научных исследований в целях развития общества : сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак : Агентство международных исследований, 2020. С. 173–176.
18. Жалнин Р. В., Панюшкина Е. Н., Пескова Е. Е., Шаманаев П. А. Основы параллельного программирования с использованием технологий MPI и OpenMP : учеб. пособие. Саранск : Изд-во СВМО, 2013. 76 с.

19. Как вычислить значение π . URL: <https://ru.wikihow.com/%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%8C-%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%9F%D0%B8>
20. Бакаева О. А. Сравнительный анализ методов вычисления числа π стандартными средствами // Программные продукты и системы. 2018. № 2. С. 409–413.

References

1. Zudin V.P. Development of students' creative thinking with the help of non-standard methods for calculating the number π . *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*. 2017;(10):26–37. (In Russ.)
2. Korostelev S.P. Substantial correction of the value of π on the basis of absolutely exact solutions to the problems of squaring the circle and doubling the cube. *Vestnik nauki i obrazovaniya = Bulletin of Science and Education*. 2019;(15):6–16. (In Russ.)
3. Korostelev S.P. Substantial correction of the value of π on the basis of absolutely exact solutions of the problems of squaring the circle and doubling the cube with the addition of a mathematical justification for the need for such a correction. *Vestnik nauki i obrazovaniya = Bulletin of Science and Education*. 2019;(16):5–21. (In Russ.)
4. Chepasov V.I., Tokareva M.A., Buresh O.V. *Vychislenie chisla π metodom kasantel'nykh v dlinnoy arifmetike = Calculation of the number π by the tangent method in long arithmetic*. Orenburg: Izd-vo OGU, 2011:119. (In Russ.)
5. Senashov V.S., Savost'yanova I.L. Calculation of the number π using geometric probability. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki = Actual problems of aviation and cosmonautics*. 2018;2(4):362–364. (In Russ.)
6. Lutsenko E.V. Research of symbolic and digital series by methods of information theory and ASK-analysis (on the example of the number π with one million decimal places). *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2014;(99):73–100. (In Russ.)
7. Androsenko V.A. The measure of irrationality of the number $\frac{\pi}{\sqrt{3}}$. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya matematicheskaya = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Mathematical series*. 2015;79(1):3–20. (In Russ.)
8. Selenskih V.N. Physical method of determining the exact π number. *Eastern European Scientific Journal*. 2013;(6):100–104.
9. Lewis H. Calculating π (π). *The Institute of Mathematics and its Applications*. Available at: <https://www.mathscareers.org.uk/calculating-pi/>
10. Sparavigna A.C. Number π from the decorations of ancient artifacts. *Archaeo-astronomy and Ancient Technologies*. 2013;1(2):40–47.
11. Arndt J., Haenel C. *Pi. Algorithmen, Computer, Arithmetik*. Springer, 2000:264.
12. Bailey D., Borwein J. *The next generation a sourcebook on the recent history of π and its computation*. Springer, 2016:507.
13. Agarwal R.P., Agarwal H., Sen S.K. Birth, growth and computation of π to ten trillion digits. *Advances in Difference Equations*. 2013;(1):100. Available at: <https://advancesindifferenceequations.springeropen.com/track/pdf/10.1186/1687-1847-2013-100.pdf>
14. Grafova A.A. Number π : a brief overview of properties and unsolved problems. *Problemy sovremennykh integratsionnykh protsessov i poisk innovatsionnykh resheniy: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Sterlitamak, 2020) = Problems of modern integration processes and the search for innovative solutions: collection of articles. Art. Int. scientific-practical conf. (Sterlitamak, 2020)*. Ufa: Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy, 2020:15–18. (In Russ.)

15. Kormilitsyna T.V. Teaching programming in ultrahigh-level languages on the example of input languages of computer mathematics systems. *Uchebnyy eksperiment v obrazovanii = Educational experiment in education*. 2017;(1):41–45. (In Russ.)
16. Bakaeva O.A. Analysis of the processes of computer modeling of calculating the number Pi by the Monte Carlo method. *Vestnik Chuvashskogo universiteta = Bulletin of the Chuvash University*. 2018;(3):151–162. (In Russ.)
17. Okan' S.V. Studying the influence of parallel computing with the use of OPENMP. *Sovershenstvovanie metodologii i organizatsii nauchnykh issledovaniy v tselyakh razvitiya obshchestva: sb. st. po itogam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Improving the methodology and organization of scientific research for the development of society: collection of articles. Art. following the results of Intern. scientific-practical conf. Sterlitamak: Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy*, 2020:173–176. (In Russ.)
18. Zhalnin R.V., Panyushkina E.N., Peskova E.E., Shamanaev P.A. *Osnovy parallel'nogo programirovaniya s ispol'zovaniem tekhnologiy MPI i OpenMP: ucheb. posobie = Basics of parallel programming using MPI and OpenMP technologies: textbook*. Saransk: Izd-vo SVMO, 2013:76. (In Russ.)
19. *Kak vychislit' znachenie Pi = How to calculate the Pi value*. (In Russ.). Available at: <https://ru.wikihow.com/%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%8C-%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%9F%D0%B8>
20. Bakaeva O.A. Comparative analysis of methods for calculating the number Pi by standard means. *Programmnye produkty i sistemy = Software products and systems*. 2018;(2):409–413. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Ольга Александровна Бакаева

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры систем
автоматизированного проектирования,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарева
(Россия, Республика Мордовия,
г. Саранск, ул. Большевикская, 68)
E-mail: helga_rm@rambler.ru

Olga A. Bakaeva

Candidate of technical sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of computer-aided design,
National Research Ogarev Mordovia
State University
(68 Bolshevistskaya street, Saransk,
Republic of Mordovia, Russia)

МЕТОДЫ САМОАДАПТАЦИИ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫЕ НА МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

А. С. Бождай¹, Ю. И. Евсева², А. А. Гудков³

^{1,2,3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
¹ bozhday@yandex.ru, ² shymoda@mail.ru, ³ alexei-ag@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цель исследования – изучение вопросов по созданию универсальной технологии самостоятельной адаптации программных систем, математического аппарата, на котором основана данная технология. *Материалы и методы.* Чтобы создать универсальную технологию самостоятельной адаптации, используются методы интеллектуального анализа данных и машинного обучения. *Результаты.* Методы, которые предлагается применять для самоадаптации программных систем, позволяют выявить те знания про предметную область программы, о которых ничего не было известно, когда она только разрабатывалась. *Выводы.* Использование предложенных методов открывает возможности для создания программного обеспечения, которое имеет расширенный жизненный цикл, более высокие показатели надежности и производительности. Затраты ресурсов на его разработку и сопровождение будут ниже.

Ключевые слова: самоадаптивное программное обеспечение, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение

Для цитирования: Бождай А. С., Евсева Ю. И., Гудков А. А. Методы самоадаптации программных систем, основанные на машинном обучении и интеллектуальном анализе данных // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 2. С. 144–152. doi:10.21685/2227-8486-2021-2-10

METHODS OF SELF-ADAPTATION OF SOFTWARE SYSTEMS BASED ON MACHINE LEARNING AND INTELLECTUAL DATA ANALYSIS

A.S. Bozhday¹, Yu.I. Evseeva², A.A. Gudkov³

^{1,2,3} Penza State University, Penza, Russia
¹ bozhday@yandex.ru, ² shymoda@mail.ru, ³ alexei-ag@yandex.ru

Abstract. *Background.* The issues of creating a universal technology for self-adaptation of applied software systems, as well as the mathematical apparatus underlying such a technology, are being studied. *Materials and methods.* Methods of data mining and machine learning are considered as methods for creating a universal technology of self-adaptation. *Results and conclusions.* Methods of self-adaptation of software systems are proposed, a distinctive feature of which is the identification of this knowledge about the subject area of the program that was unknown at the development stage. The proposed methods will make it possible to create software with an extended life cycle, which is distinguished by greater reliability and performance, as well as lower resource cost for development and maintenance.

Keywords: self-adaptive software, data mining, machine learning

For citation: Bozday A.S., Evseeva Yu.I., Gudkov A.A. Methods of self-adaptation of software systems based on machine learning and intellectual data analysis. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;2:144–152. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-2-10

Введение

Создание методов, которые обеспечат эффективную самоадаптацию программного обеспечения, – актуальная проблема, что обусловлено высокой сложностью существующих сегодня программных систем, большими затратами на их разработку и сопровождение. Если система будет способна самостоятельно адаптироваться, появится возможность для выявления скрытых знаний и факторов об ее предметной области, которые могут не знать даже эксперты, когда проектируется приложение. В будущем данные знания и факторы можно использовать, чтобы создавать новые модели алгоритмов, определять самостоятельно ситуации, где требуется увеличение/снижение количества ресурсов, необходимых, чтобы оптимизировать производительность.

Чтобы выявлять скрытые знания про предметную область, необходимо применять технологию, которая предполагает интеллектуальный анализ данных. В ходе анализа данных, которые показывают, как работала программа ранее в течение определенного промежутка времени, можно увидеть, какие зависимости и закономерности существуют. На основании полученных результатов в программе формируются новые поведенческие обратные связи.

Самоадаптивное программное обеспечение с применением интеллектуального анализа информации

Авторы статьи в работе [1] предлагают для самоадаптации метод, в основе которого лежит интеллектуальный анализ информации. Метод базируется на концепции рефлексивной самоадаптации, предложенной авторами в работе [2]. Данная концепция характеризуется наличием базовых принципов, при ее внедрении в сфере программной инженерии должны соблюдаться определенные требования:

1. Механизм самостоятельной адаптации должен быть неизменчивым в отношении предметной области, типа и назначения программной системы.

2. Должна быть возможность выдерживать рабочую нагрузку, когда ресурсы увеличиваются (масштабируемость). Когда анализируются способности программной системы, важно знать, что ее уровень может быть разным. Это и самая простая утилита, и огромный программный комплекс, объединяющий в себе две системы и больше. Нужно также сделать акцент на том, что адаптироваться может вся система в целом, а также компоненты, которые входят в ее состав. Для этого применяются одни методы.

3. Информация, накопленная в информационных массивах минимум за два года, подвергается интеллектуальному анализу. Для возможности формирования новых обратных связей сначала нужно понять, какие между данными закономерности, как они зависят друг от друга, чтобы сделать вывод о том, как за определенный период данная программная система функционировала ранее.

Когда применяется принцип масштабируемости, архитектурная организация программной системы должна отвечать ряду определенных требований. Прежде всего, это возможность создавать модульные архитектуры, ко-

торые могут адаптироваться. Другими словами, должна быть возможность не только внесения изменений в программу по результатам, которые удалось получить при проведении рефлексивного анализа, но и внешней модификации программного обеспечения. Также нужно вести учет изменений системы уже при использовании программы. Когда выполняется подключение нового модуля, одновременно нужно включить общую рефлексю. Это позволит выявлять его связь с другими модулями, определять, как они воздействуют друг на друга. Также требуется выявление закономерностей во время его работы.

Обобщив имеющийся опыт в разработке программного обеспечения, которое имеет архитектуру модульного типа, авторы определили, что нужно обязательно учитывать, чтобы создавать программное обеспечение, которое сможет самостоятельно приспособливаться:

1. Блоки изменчивости. Данные компоненты программной среды, которые подвержены адаптации, должны быть обязательно. Для каждого блока характерны свои функции, чтобы реализовать класс, функцию, модель объекта, предметную область и др.

2. Логически связанные между собой блоки изменчивости в совокупности из одной предметной области используются, чтобы решать одну задачу, – рефлексивный компонент.

3. В составе программного обеспечения рефлексивного типа может быть не только один, но и несколько рефлексивных элементов. Сколько именно будет таких элементов, определяет сложность программы и задачи адаптации.

4. Чтобы создать систему таких компонентов, используется общий интерфейс. В начале формирования у компонентов может не быть информации друг о друге. Но, когда начинается рефлексивный анализ, выявляются степень и характер влияния между составляющими систему элементами. Чтобы обмен информацией был качественным, требуется создание каналов.

Главная роль при построении данного метода отводится блоку изменчивости. Имеется в виду возможность исполнения функции, класса, модели, объекта предметной области и других атомарных элементов программы. Что касается рефлексивного компонента, то под ним подразумеваются все блоки изменчивости, между которыми существует логическая связь. Они должны относиться к одной предметной области, обеспечивать решение одной задачи.

Рассматриваемый блок может задавать разные стратегии адаптивного поведения отдельного компонента сервиса, в целом всего сервиса, в целом всей системы. Следовательно, нельзя назвать атомарным компонентом блок изменчивости, потому что его структура имеет иерархию, в состав могут входить другие блоки.

Блок изменчивости можно определить так:

$$V_B = (SubF, BlockParams, BlockStates, Rule),$$

где $SubF$ – модель поведения блока изменчивости как ориентированный гиперграф; $BlockParams = \{BlockParam_1, BlockParam_2, \dots, BlockParam_k\}$ – параметры, определяющие состояние блока изменчивости; $BlockStates = \{BlockState_1, BlockState_2, \dots, BlockState_z\}$ – состояния, в которых пребывает блок, при этом $BlockState_i \subseteq SubF \forall i = 1, \dots, z$; $Rule: BlockParams' \rightarrow \rightarrow BlockStates$ – функция, ставящая в соответствие каждому элементу

$BlockParams'$ определенный компонент из $BlockStates$. Под совокупностью элементов $BlockParams'$ следует понимать подмножества из $BlockParams$.

Возможно также представить все элементы в $BlockParams$ в следующем виде:

$$BlockParams = ExtParams \cup InnerParams \cup TargetParams,$$

где $ExtParams = \{ExtParam_1, ExtParam_2, \dots, ExtParam_{k_1}\}$ – все параметры, которые в отношении анализируемого блока будут внешними; $InnerParams = \{InnerParam_1, InnerParam_2, \dots, InnerParam_{k_2}\}$ – внутренние параметры блока, которые могут варьироваться; $TargetParams = \{TargetParam_1, TargetParam_2, \dots, TargetParam_{k_3}\}$ – целевые параметры. Элементы $TargetParams$ и некоторые целевые функции связаны между собой. Чтобы их определить, применяется экспертный метод.

Основные этапы метода самоадаптации:

1. Разработчик (эксперт) вручную определяет множества $ExtParams$, $InnerParams$ и $TargetParams$.
2. Вручную задаются условия для $TargetParams$.
3. Вручную определяется количество (в процентном выражении) значений, которые будут оставлены на пятой стадии.
4. Автоматически системой осуществляется сбор информации про свои функции за конкретный период. Из входных данных этапа создается таблица, где первые столбцы – это $ExtParams$, остальные – $InnerParams$ и $TargetParams$.
5. Выполняется обработка значений таблицы: остаются строки, где значения $TargetParams$ удовлетворяют функции, которые должны выполняться (целевые). Для данного этапа возможно применение кластеризации. Выходные данные – таблица записей (столбцы с $TargetParams$ не учитываются).
6. Определяются зависимости $ExtParams$ и $InnerParams$, для чего проводится алгоритм интеллектуального анализа информации.
7. Результаты анализа позволяют сформулировать функцию $Rule: BlockParams' \rightarrow BlockStates$. Это будет функция-обертка над функцией, которую возвращает алгоритм Data Mining. $Rule$ обеспечивает формирование подграфа из множества $BlockStates$ элементов в составе $ExtParams$.

Чтобы понять суть данного метода и особенностей его применения, возьмем мобильное приложение, которое обладает функцией полноценной автономной работы (нет необходимости в подключении к интернету). Это приложение позволяет выполнить тестирование, как пользователь может мыслить пространственно. Для достижения данной цели используются определенные алгоритмы, которые создают картинки. В их числе следующие: на основе глубоких нейросетей, генетический, случайный перебор картинок и комбинация их фрагментов. Чтобы сделать правильный выбор, важен такой критерий, как аппаратная конфигурация используемого устройства. При этом считается, что основной код программного обеспечения не содержит данных про конкретные конфигурации мобильных устройств, также не устанавлива-

ются условные операторы выбора. Приложение само должно установить зависимости и выбрать требуемый вид алгоритма сразу же, когда будет завершена инсталляция и выполнен запуск приложения.

Внешние параметры приложения (*ExtParams*) – это основные характеристики мобильного девайса. Важно знать, что производительность устройства, когда выбирается определенный алгоритм, зависит не от всех характеристик, которые были перечислены. К задачам рефлексии также относится следующая: выявить конкретные характеристики, от которых зависит производительность. Внутренние варьируемые параметры (*InnerParams*) – это непосредственно сам алгоритм, который может быть простым, генетическим, нейросетевым. Также к ним относятся такие параметры алгоритма, как картинка, количество клеток или фрагментов, а также сложность. В число целевых параметров (*TargetParams*) входит период времени, в течение которого визуализируется картинка, важно, чтобы данный период был максимально коротким, насколько это возможно.

Метод, позволяющий программному обеспечению самостоятельно адаптироваться, характеризуется универсальностью и масштабируемостью, дает возможность увидеть, как взаимодействуют разные системы, а также, какие зависимости существуют в пределах одной системы. Таким образом, улучшение будет происходить в течение всей жизни программной системы. Чтобы решить данную задачу, не нужна помощь профессиональных специалистов по программированию.

Самоадаптивное программное обеспечение через машинное обучение

Авторы работы [3] предлагают метод, в основе которого машинное обучение с подкреплением, чтобы программная система имела возможность эффективно регулировать потребляемые ресурсы. Суть данного метода в том, что в процессе взаимодействия со средой система (агент) обучается. В большинстве случаев данное взаимодействие происходит в течение определенного времени (временные шаги) [4]. Когда агент совершает шаг, ведется наблюдение за состоянием программной среды. По полученным результатам осуществляется выбор действий. Когда агентом выполнено действие, начисляется определенное числовое значение как вознаграждение. После этого происходит изменение его состояния. У нас агент – это программа, которая обладает способностью самостоятельно приспосабливаться, она, используя свои датчики, ведет наблюдение за тем, как меняется среда. Чтобы рассчитать вознаграждение, измеряются разные факторы, которые имеют значение для работы системы, формируются функции полезности [5].

Но ситуация, описанная в работе [6], которая является одной из центральных концепций в самоадаптивном программном обеспечении, в классическом варианте обучения с подкреплением не учитывается. Состояние агента может быть неизменным, но в разных ситуациях его действия должны быть разными. В зависимости от ситуации выбор разных вариантов действий может быть ограничен. Например, суперкомпьютером может осуществляться управление процессом, в ходе которого распределяются собственные ресурсы. Когда рабочая нагрузка растет, чтобы повысить производительность, требуется увеличение количества ресурсов. Если же нужно снижение потребления энергии, когда снижается рабочая нагрузка, требуется уменьшить ресурсы, которые потребляются.

Чтобы применить данный метод при создании программного обеспечения, которое может самостоятельно приспосабливаться, требуется расширить определение классического варианта марковского процесса, когда принимаются решения. Нужно предусмотреть возможность определять ситуацию [7].

Пусть $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ – все имеющиеся ситуации. Ситуация $i_i \in I$ является показателем среды на данный момент или отражает событие внутри программного обеспечения, при котором начинается адаптация агента.

При этом $A | s_i, i_i$ говорит о том, что действия агента могут быть разными в s_i состоянии и i_i ситуации. Предположим, что S^* – это комбинация всех состояний S и ситуаций I . Таким образом, марковский процесс принимает вид $\{S^*, A, R, T\}$. Здесь A – конечное количество действий, R – функция вознаграждения, получаемого при переходе из одного состояния в другое, T – функция, которая возвращает вероятность, что система может измениться, если совершить определенное действие. Такой вид использования рассматриваемого понятия дает возможность применять его, когда создается программное обеспечение, способное к самостоятельному приспосабливанию. Определяя ситуацию, системные инженеры могут создавать проекты хранилища системных политик, внося в него новые определения, соблюдая стандарты, которым должны отвечать программные системы, обладающие способностью приспосабливаться самостоятельно. Кроме этого, появляется возможность привести программные системы к единой форме в глобальных масштабах.

Что касается самого метода самостоятельной адаптации, то он заключается в том, что создается модель операционной среды. Данный процесс состоит из последовательных шагов:

- 1) определяется реальное состояние рассматриваемой системы, действий, а также ситуации;
- 2) контекст детально анализируется, после чего формируется модель неопределенностей;
- 3) все неопределенности отражаются в действиях;
- 4) реализуются переходы между состояниями системы.

В процессе формирования программного обеспечения, которое может самостоятельно приспосабливаться к среде, важной задачей является определение реального состояния и действий. Именно на этом этапе устанавливаются цели и задачи, которые нужно решить, чтобы достигнуть поставленных целей. Суть состояния заключается в совокупности условий, имеющих в работе системы особую важность. Функцию или процесс, которые изменяют состояние системы, называют действиями. Когда происходит определенное событие, при котором начинается процесс приспособления агента, это будет ситуация. Результаты шага являются основанием, чтобы создать начальную модель изменения состояния.

Вторая стадия – это анализ реализации системы. Он проводится с целью создания модели неопределенностей, влияние которых может изменить работу программной системы. Чтобы исключить негативные моменты в работе системы в будущем, важно учесть каждый фактор на данном этапе моделирования.

В рамках заключительного этапа сопоставляются найденные неопределенности и системы для получения вероятностного распределения по модели. Чтобы сформировать модели распределения вероятностей или чтобы у специалистов был большой опыт в создании подобных моделей, требуется про-

ведение глубокого анализа. Изучить некоторые факторы, по которым нет 100 % уверенности, можно уже после запуска системы, когда она будет эксплуатироваться.

Использовать этот метод можно, когда сайт размещается в сети с помощью облачных услуг. Режимов работы может быть два: графический и текстовый. В первом случае пользователи получают больше данных, но на него требуется больше ресурсов. Все сайты создаются с одной целью – обеспечить пользователя возможностью получать актуальные данные, при этом задержки времени должны быть минимальные. Владельцы сайтов стремятся снизить затраты на услуги облачных сервисов, сводя к минимуму количество ресурсов, которое в некоторые периоды является чрезмерным.

Таким образом, сайт представляет собой программную систему, которая имеет способность самостоятельного приспособления. Когда планируется поведение ресурса, самым важным фактором является именно скорость отклика. Результаты анализа поставленной задачи показали, что возможны два варианта сценария:

- 1) использовать текстовый режим, что позволит тратить меньше времени на вычисления;

- 2) добавить ресурсы для повышения производительности.

При ситуации, когда трафик уменьшился в размерах, возможны сценарии:

- 1) изменить режим на графический, чтобы пользователь смог получить больше информации;

- 2) сократить неиспользуемые на данный момент ресурсы.

Для выполнения поставленной задачи, а также с учетом специфических особенностей предметной области были выведены такие состояния системы:

- 1) Режим = {Графический, Текстовый};

- 2) Время Отклика = {Нормальное, Низкое};

- 3) Ресурсы = {Мало, Средне, Много}.

Изменение состояния возможно такими способами:

- 1) добавление ресурса или освобождение;

- 2) переход в один из режимов: графический или текстовый.

Вознаграждение, как правило, определяется временем, в течение которого сайт даст отклик. Но и другие факторы влияют на него: рабочий режим (лучше графический), количество используемых ресурсов (чем меньше, тем лучше).

Далее создается модель неопределенности. Ориентиром является предмет. Для этого сначала проводится экспертный анализ. Чтобы максимально упростить процесс в данной ситуации, используется одна модель неопределенности, суть которой в том, что облачный ресурс является доступным. Количество ресурсов ограничено, поэтому можно предположить, что провайдер не сможет постоянно поставлять их в достаточном объеме. Здесь вероятность будет 2 %. Возможны такие последствия: состояние системы изменится с задержкой, происходят незапланированные изменения. Авторы сопоставили эту неопределенность и действия системы. Результаты показали, что имеется связь данной неопределенности и действий, когда ресурсы добавляются. Отсюда следует связь вероятностного распределения и переходов из одного состояния в другое, когда реализуется данное действие. Внутренняя неопределенность во внимание не принимается, а вероятность возможных изменений состояний принята за 1 %, чтобы было проще.

Использование предложенного метода дает возможность системе осуществлять выбор нужного поведения в зависимости от времени отклика в разных условиях.

Заключение

Программное обеспечение характеризуется высокой сложностью, в этой связи трудно спрогнозировать, как поведет себя система в разных внешних условиях, не всегда достаточно свободного времени для этого. В одних ситуациях производительность системы может быть отличной, при других – недостаточной. А чтобы разработать сложную программную систему, которая будет показывать отличную производительность в разных средах (в том числе в тех, которые задает пользователь) и при разных условиях, требуются большие затраты времени и ресурсов.

В решении данной проблемы помогут специализированные методы, которые обеспечивают самостоятельную адаптацию программного обеспечения. Сегодня к его разработке применяются разные подходы, но ни один из них не учитывает в процессе самоадаптации всю внешнюю и внутреннюю информацию, которую использует в своей работе система. Чтобы решить данную задачу, авторы предлагают две концепции самостоятельной адаптации программных систем: рефлексивную и на основе машинного обучения. Данные концепции являются основой для разработки методов самоадаптации. При комплексном применении данных методов в значительной степени расширяются возможности для самостоятельного приспособления, работа программного обеспечения становится более эффективной, значительно сокращается количество ресурсов на сопровождение и развитие. В основе методики интеллектуального анализа информации лежит предположение о том, что имеются взаимозависимости в предметной области системы, которые не выявлены. Данная методика предназначена для того, чтобы выявлять данные взаимосвязи. Изначально метод машинного обучения разрабатывали, чтобы выявлять количество аппаратных ресурсов, затраты которых для системы будут оптимальными в конкретной ситуации. Данный метод делает систему более производительной и надежной, но его использование сильно ограничено, когда нужно находить скрытые закономерности в предметной области.

Список литературы

1. Бождай А. С., Евсеева Ю. И. Метод рефлексивной самоадаптации программных систем // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2018. № 2. С. 74–86.
2. Бершадский А. М., Бождай А. С., Гудков А. А., Евсеева Ю. И. Математическая модель рефлексии самоадаптивных программных систем // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2018. № 3. С. 7–14.
3. Бождай А. С., Артамонов Д. В., Евсеева Ю. И. Использование машинного обучения с подкреплением в создании самоадаптивного программного обеспечения // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2019. № 3. С. 58–68.
4. Ghezzi C., Salvaneschi G., Pradella M. ContextErlang: A language for distributed context-aware self-adaptive applications // Science of Computer Programming. Amsterdam : Elsevier, 2015. P. 20–43.
5. Lei Y., Ben K., He Z. A model driven agent-oriented self-adaptive software development method // 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). New Jersey : IEEE, 2015. P. 255–265.
6. Li Y., Li L., Wang W., Wu T. ADAPT: An agent-based development toolkit and operation platform for self-adaptive systems. // IEEE Conference on Open Systems (ICOS). New Jersey : IEEE, 2017. P. 145–167.

7. Bencomo N., Belaggoun A. Supporting decision-making for self-adaptive systems: From goal models to dynamic decision network // International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality. San Francisco : IEEE, 2013. P. 221–237.

References

1. Bozhday A.S., Evseeva Yu.I. Method of reflexive self-adaptation of software systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of universities. Volga region. Technical science.* 2018;(2):74–86. (In Russ.)
2. Bershadskiy A.M., Bozhday A.S., Gudkov A.A., Evseeva Yu.I. Mathematical model of reflection of self-adaptive software systems. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Volgograd State Technical University.* 2018;(3):7–14. (In Russ.)
3. Bozhday A.S., Artamonov D.V., Evseeva Yu.I. Use of machine learning with reinforcement in the creation of self-adaptive software. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of universities. Volga region. Technical science.* 2019;(3):58–68. (In Russ.)
4. Ghezzi C., Salvaneschi G., Pradella M. ContextErlang: A language for distributed context-aware self-adaptive applications. *Science of Computer Programming.* Amsterdam: Elsevier, 2015:20–43.
5. Lei Y., Ben K., He Z. A model driven agent-oriented self-adaptive software development method. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD).* New Jersey: IEEE, 2015:255–265.
6. Li Y., Li L., Wang W., Wu T. ADAPT: An agent-based development toolkit and operation platform for self-adaptive systems. *IEEE Conference on Open Systems (ICOS).* New Jersey: IEEE, 2017:145–167.
7. Bencomo N., Belaggoun A. Supporting decision-making for self-adaptive systems: From goal models to dynamic decision network. *International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality.* San Francisco: IEEE, 2013:221–237.

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Сергеевич Бождай
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры систем
автоматизированного проектирования,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: bozhday@yandex.ru

Aleksandr S. Bozhday
Doctor of technical sciences,
associate professor,
professor of the sub-department
of computer aided design,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Юлия Игоревна Евсева
кандидат технических наук,
доцент кафедры систем
автоматизированного проектирования,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: shymoda@mail.ru

Yuliya I. Evseeva
Candidate of technical sciences,
associate professor of the sub-department
of computer aided design,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Алексей Анатольевич Гудков
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры систем
автоматизированного проектирования,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: alexei-ag@yandex.ru

Aleksey A. Gudkov
Candidate of technical sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of computer aided design,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)