

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

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (40)

2021

СОДЕРЖАНИЕ

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

Сасаев Н. И.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕНДЕНЦИЙ
В ОТРАСЛЕВОМ СТРАТЕГИРОВАНИИ5

Солдатова С. С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ
МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
СТРАТЕГИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ16

Умарова Д. Т.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ИНТЕГРАЦИИ26

Маланьина И. В., Похвалов А. С.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОДАЖ НА РЫНКЕ
ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ СУСТАВОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АНАЛИЗА
ДАННЫХ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ41

РАЗДЕЛ 2. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

<i>Алимурадов А. К.</i> СПОСОБ СЕГМЕНТАЦИИ РЕЧЬ/ПАУЗА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА ТИГЕРА.....	52
<i>Загуменнова М. В., Порошин А. А., Фирсов А. Г.</i> МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА ОТ ПОЖАРОВ.....	64
<i>Носков С. И., Хоняков А. А.</i> КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗКИ ПассаЖИРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ	80
<i>Листюхин В. А., Печерская Е. А.</i> СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.....	90
<i>Рассказов Н. С., Кривцов М. А., Митрохин М. А.</i> ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ САЙТОВ ОНЛАЙН-АУКЦИОНОВ.....	96
<i>Бадеева Е. А., Целикин К. Д., Кабанов А. Г., Куклин Г. С.</i> ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ	106

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

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 4 (40)

2021

CONTENT

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

Sasaev N.I.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL
FOUNDATIONS OF STRATEGIC TREND
ANALYSIS IN INDUSTRIAL STRATEGIZING5

Soldatova S.S.

MODELING OF FINANCIAL AND ECONOMIC
MECHANISMS OF THE MANAGEMENT
SYSTEM FOR THE STRATEGIC DEVELOPMENT
OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE16

Umarova D.T.

FOREIGN EXPERIENCE OF SCIENTIFIC
AND TECHNOLOGICAL INTEGRATION.....26

Malanyina I.V., Pokhvalov A.S.

SALES FORECASTING FOR THE MARKET
OF JOINT ENDOPROTHETICS USING METHODS
OF DATA ANALYSIS AND MACHINE LEARNING41

SECTION 2. MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

<i>Alimuradov A.K.</i> SPEECH/PAUSE SEGMENTATION METHOD BASED ON TEAGER ENERGY OPERATOR	52
<i>Zagumennova M.V., Poroshin A.A., Firsov A.G.</i> METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINING MATERIAL DAMAGE FROM FIRES	64
<i>Noskov S.I., Khonyakov A.A.</i> PIECEWISE LINEAR REGRESSION MODELS OF PASSENGER TRANSPORTATION VOLUMES BY RAILWAY	80
<i>Listyukhin V.A., Pecherskaya E.A.</i> REAL-TIME MONITORING SYSTEM FOR OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES.....	90
<i>Rasskazov N.S., Krivtsov M.A., Mitrokhin M.A.</i> SITE PROTECTION TECHNOLOGIES ON THE EXAMPLE OF ONLINE AUCTION SITES	96
<i>Badeeva E.A., Tselikin K.D., Kabanov A.G., Kuklin G.S.</i> FIBER-OPTIC SYSTEMS FOR MILITARY PURPOSES AND THEIR ELEMENTS	105

Раздел 1

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Section 1

MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 33
doi:10.21685/2227-8486-2021-4-1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТРЕНДОВ В ОТРАСЛЕВОМ СТРАТЕГИРОВАНИИ

Н. И. Сасаев

Московская школа экономики Московского государственного
университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
msemsu@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В периоды нестационарности экономики неоднократно подчеркивается необходимость поиска долгосрочных ориентиров и будущих перспектив роста как для экономики государства в целом, так и отдельно ее составляющих элементов на каждом из уровней функционирования (государственном, региональном, отраслевом, корпоративном). Одним из таких элементов являются отрасли экономики. Опираясь на методологию отраслевого стратегирования, они способны выступать драйверами роста как смежных отраслей, так и социально-экономического развития всего государства. Отраслевое стратегирование – много-сложный процесс, предусматривающий четко обозначенную последовательность этапов разработки и реализации отраслевой стратегии, также регламентирующий процесс обоснования долгосрочных ориентиров, который необходимо начинать со стратегического анализа трендов. Так как общая теория стратегии и методология стратегирования является относительно молодой наукой, а разработка и реализация отраслевых стратегий – одно из ее направлений, требуется уточнение и расширение его отдельных методологических положений, учитывающих отраслевые аспекты. В этой связи целью настоящего исследования является формулирование теоретико-методологических основ стратегического анализа трендов в контексте отраслевого стратегирования. *Материалы и методы.* Методологическим базисом публикации послужили исследования отечественной школы стратегирования, академика, иностранного члена РАН В. Л. Квинта. Также использовалась авторская методика отраслевого стратегирования и практический опыт разработки и реализации отраслевых стратегий. *Результаты.* В исследовании определены место и сущность стратегического

© Сасаев Н. И., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

анализа трендов в отраслевом стратегировании, уточнены виды и проведена типологизация трендов, структурирующие данный процесс. Описаны количественный и качественный подходы стратегического анализа трендов. Разработана и предложена авторская методика проведения стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании. Сформулированы стратегические принципы, обуславливающие эффективность методологии. *Выводы.* Сформулированные теоретико-методологические основы стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании и авторская методика проведения анализа позволяют расширить методологию поиска и обоснования долгосрочных ориентиров, повышая эффективность процесса разработки отраслевых стратегий.

Ключевые слова: отраслевое стратегирование, стратегический анализ трендов, стратегия, методологические основы, стратегические принципы

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Математические методы анализа сложных систем».

Для цитирования: Сасаев Н. И. Теоретико-методологические основы стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 5–15. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-1

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF STRATEGIC TREND ANALYSIS IN INDUSTRIAL STRATEGIZING

N.I. Sasaev

Lomonosov Moscow State University' Moscow School of Economics, Moscow, Russia
msemsu@mail.ru

Abstract. *Background.* During periods of non-stationary economy, researchers repeatedly emphasize the necessity of searching for long-term benchmarks and future growth prospects for both the state economy as a whole and its constituent elements separately at each of the levels of functioning (state, regional, industrial and corporate). Industries are one of these elements. Based on the methodology of industrial strategizing, they are able to act as growth drivers for both related industries and the socio-economic development of the state. Industrial strategizing is a multi-complex process that provides provides a clearly defined sequence of stages in the development and implementation of an industry strategy, as well as regulating the process of justifying long-term benchmarks, which must begin with a strategic analysis of trends. Since the general theory of strategy and the methodology of strategizing is a relatively young science, and the development and implementation of industrial strategizing is one of its directions, it is necessary to clarify and expand its individual methodological provisions, taking into account industrial aspects. In this regard, the presented study aims to formulate the theoretical and methodological foundations of strategic trend analysis in the context of industrial strategizing. *Material and methods.* The methodological basis of the study was the research of the Russian Strategizing School of Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc. (Econ.), professor Vladimir L. Kvint. In addition, the study used the author's methodology of industrial strategizing, as well as practical experience in the development and implementation of industrial strategies. *Results.* The study defines the place and essence of strategic trend analysis in industrial strategizing, clarifies the types and typologizes the trends structuring this process. The author describes quantitative and qualitative approaches to strategic trend analysis. The author's method for conducting strategic analysis of trends in industrial strategizing has been developed and

proposed. The author also formulated strategic principles that determine the effectiveness of the methodology. *Conclusions.* The formulated theoretical and methodological foundations of strategic trend analysis in industrial strategizing and the proposed author's method of analysis allow expanding the methodology of searching and substantiating long-term benchmarks, increasing the efficiency of the process of developing the industry strategies.

Keywords: industrial strategizing, strategic trend analysis, strategy, methodological foundations, strategic principles

Acknowledgment: this research has been supported by the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Moscow University «Mathematical Methods for the Analysis of Complex Systems».

For citation: Sasaev N.I. Theoretical and methodological foundations of strategic trend analysis in industrial strategizing. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):5–15. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-1

Введение

Мировые, национальные, региональные экономические системы все чаще подвержены множеству разнообразных тенденций, структурных преобразований и трансформаций [1]. Все это обуславливает растущую нестационарность экономики, порождающую неопределенность будущих условий ее функционирования и создающую существенные ограничения для принятия оперативных и, что крайне важно, стратегических решений [2].

В такие периоды вопросам социально-экономического развития уделяется особое внимание [3]. В ряде научных исследований неоднократно подчеркивается необходимость поиска долгосрочных ориентиров и будущих перспектив роста как для экономики государства в целом, так и отдельно ее составляющих элементов на каждом из уровней функционирования [4–6] (государственном, региональном, отраслевом, корпоративном).

Одним из таких элементов являются отрасли экономики. Опираясь на теоретические положения и методологию отраслевого стратегирования, они способны выступать драйверами роста как смежных отраслей, так и социально-экономического развития всего государства [7, 8].

При всем при том отраслевое стратегирование – многосложный процесс, предусматривающий четко обозначенную последовательность этапов разработки и реализации отраслевой стратегии, в том числе регламентирующий методологию поиска и обоснования долгосрочных ориентиров [9, 10]. Методологически обоснованно начинать сканирование и их обоснование со *стратегического анализа трендов* [11, 12], непосредственно коррелирующих с объектом стратегирования [13].

Тем не менее, так как общая теория стратегии и методология стратегирования является относительно молодой наукой [14], а разработка и реализация отраслевых стратегий – одно из ее направлений, требуется уточнение и расширение его отдельных методологических положений, учитывающих отраслевые аспекты.

В связи с этим целью настоящего исследования является формулирование теоретико-методологических основ стратегического анализа трендов в контексте отраслевого стратегирования. Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи: уточнено место стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании и раскрыта его сущность, определены

виды трендов и проведена их типологизация, разработана методика проведения стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании, а также сформулированы основные методологические положения и принципы, повышающие эффективность анализа.

Место и сущность стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании

Отраслевая стратегия – комплексный документ, вбирающий в себя целую систему взаимосвязанных и взаимодополняющих компонентов, направленную на достижение долгосрочного успеха. Практичность и гибкость системы зависят от степени изученности как самого объекта стратегирования, так и будущих перспектив его развития. Все это декларирует необходимость сканирования больших массивов данных на начальном этапе разработки отраслевой стратегии, результаты которого и должны обеспечить весь дальнейший процесс формирования ее элементов необходимой и качественной информацией.

Между тем, опираясь на философские корни [15], а также накопленный практический опыт¹, в отраслевом стратегировании принято разделять информацию, содержащую анализ накопленной ранее статистики, описывающей прошлое, а также текущую характеристику, потенциал и факты, и информацию, позволяющую выявить будущие перспективы. Соответственно, на начальной стадии отраслевого стратегирования проводится *стратегическая диагностика* исследуемого объекта [16], затем следует *стратегический анализ*, который и включает процесс *мониторинга и изучения трендов* [10] (рис. 1).



Рис. 1. Место стратегического анализа трендов в структуре отраслевого стратегирования (составлено автором)

¹ Методология нашла успешное применение при разработке ряда стратегий в ЦСИ ИМИСС МГУ, среди них можно отметить: «Стратегию развития водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга до 2035 года и на более длительную перспективу», «Стратегию водоснабжения, водоотведения и водного баланса Республики Узбекистан на период до 2035 года и более длительную перспективу», «Стратегию социально-экономического развития Кемеровской области – Кузбасса на период до 2035 года и более длительную перспективу».

Основной функцией стратегического анализа трендов является их анализ с позиции выявления стратегических факторов (как положительных, так и негативных), закономерностей и тенденций, влияющих или способных повлиять на объект стратегирования в будущем [9]. Кроме того, результаты глубокого изучения трендов призваны обеспечить последующий *OTSW-анализ* информацией о существующих либо зарождающихся стратегических возможностях, а также стратегических угрозах. В большинстве случаев выявленные закономерности и стратегические факторы позволяют более полно оценить устойчивость конкурентных преимуществ исследуемого объекта и сделать вывод относительно критичности его слабых сторон в пределах горизонта стратегирования. В этом и заключается сущность стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании.

Виды и типы трендов в отраслевом стратегировании

Выбирая в качестве объекта стратегирования отрасль, совокупность отраслей или межотраслевые связи, разработчик стратегии не должен сужать поле для анализа, ограничивая его только мониторингом отраслевых трендов. Напротив, он обязан последовательно изучить разные группы трендов, которые с точки зрения *стратегического подхода* удобно разделять по следующим основным видам [9, 17, 18]: *глобальные, региональные, национальные, отраслевые, корпоративные*.

К трендам *глобального* уровня относятся, как правило, уже сложившиеся устойчивые тренды, ведущие к глобальной трансформации или структурным преобразованиям, затрагивающие мировые системы (экономические, политические, социальные и т.п.) и оказывающие непосредственное и повсеместное влияние на процессы их развития. Такие тренды могут открывать новые глобальные стратегические факторы и закономерности, менять правила и принципы функционирования различных систем и их элементов в мировом масштабе. К наиболее ярким трендам данного вида можно отнести глобализацию, цифровизацию, урбанизацию, рост мирового дефицита питьевой воды [19–21].

Тренды *регионального* уровня воздействуют на системы, функционирование и развитие их элементов в контурах одного региона. При этом это может быть макрорегион, объединяющий целые государства-субъекты по определенному признаку (к примеру, страны Азиатско-Тихоокеанского региона) [22], либо под регионом может подразумеваться отдельно взятая территориальная единица государства (субъект государства) [23].

Тренды, действующие в пределах границ определенного государства и влияющие или способные оказывать влияние на детерминированные элементы различных систем государства или национальную систему в целом, принято относить к *национальному* виду [24].

Под *отраслевыми* трендами следует понимать тренды, оказывающие влияние на отрасль, совокупность отраслей либо межотраслевые связи. При этом стоит разделять *отраслевые тренды национального уровня*, влияющие на отраслевой объект в пределах всего государства, и *регионально-отраслевые тренды*, проявление которых ограничено региональными границами [9].

Корпоративные тренды непосредственно связаны с функционированием и развитием отдельных предприятий, корпоративных связей и отношений [7].

Между тем любой из трендов имеет свой жизненный цикл, он зарождается, достигает устойчивого состояния и угасает. Тренд, изначально возникающий на локальном уровне, например, региональном, может со временем распространяться на последующие уровни, т.е. быть масштабирован вплоть до глобального уровня, где обретает устойчивый характер (например, пандемия COVID-19 [25]).

Напротив, влияние когда-то устойчивого глобального тренда может быть постепенно локализовано в пределах отдельно взятого региона до тех пор, пока его влияние совсем не угаснет на локальном уровне (к примеру, национальный демографический тренд постепенно снижался до уровня регионального, что обозначало своеобразные демографические волны [26]).

Вышеперечисленные виды трендов могут быть разделены на следующие типы [9, 17]: технологические, экологические, демографические, климатические, энергетические, промышленные и др.

Методологические положения и принципы стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании

Целесообразность анализа разных групп трендов по указанным видам и типам при разработке отраслевой стратегии обосновывается тем, что стратегизируемый объект не может быть абстрагирован от других объектов, так как в той или иной степени все они интегрированы в одну общую систему (экономическую, политическую, общественную и т.п.).

Например, влияние регионального политического тренда на нефтегазовую отрасль России, заключающееся в введении и расширении санкционных мер, прежде всего, в технологической и технической сфере, выступает стратегическим фактором сдерживания отраслевого развития [9].

Наоборот, корпоративный технологический тренд использования малотоннажных технологий по сжижению природного газа может оказать влияние на развитие всей национальной газовой отрасли в результате масштабирования и распространения данной технологии на уровне всего государства [27].

Переходя к процедуре стратегического анализа трендов, необходимо отметить, исходя из того, что каждый тренд имеет жизненный цикл и на момент изучения он может быть в устойчивом состоянии либо угасающем или, наоборот, только зарождаться, это определяет разные подходы к стратегическому анализу данного тренда, среди которых можно выделить: качественный или количественный.

Качественный анализ соответствует только зарождающимся трендам, когда отсутствует достаточная количественная информация и статистика за длительный период времени, а существующие статистические данные не дают возможности предоставить однозначную информацию для разработчика отраслевой стратегии. В таком случае качественными индикаторами данного подхода служат информационные сигналы, получаемые в результате сканирования новостных сюжетов, отчетов и прочей публичной информации.

Количественный анализ применим для анализа трендов устойчивого и угасающего характера. Как правило, по таким трендам уже есть накопленные большие массивы расширенной информации за длительный временной пери-

од, что позволяет по соответствующим статистическим индикаторам подтвердить тренд и выявить сопряженные с ним стратегические факторы и закономерности. В данном случае при необходимости могут применяться экономико-математические и эконометрические методы для глубокого анализа выявленных закономерностей, что позволяет получать более полную количественную информацию о влиянии отдельно взятого стратегического фактора на объект стратегирования.

В целом стратегический анализ трендов в процессе разработке отраслевой стратегии предлагается проводить в соответствии с авторской методикой, содержащей следующие этапы:

- *этап 1.* Обозначить объект стратегирования (отрасль, совокупность отраслей или межотраслевые связи);
- *этап 2.* Посредством сканирования информационной среды обнаружить тренды, сгруппировать их в соответствии с видом (глобальные, региональные, национальные, отраслевые, корпоративные) и типом (технологические, экологические, демографические, климатические, энергетические, промышленные);
- *этап 3.* Осуществить сбор доступной статистической информации по каждому из трендов и определить подход для его стратегического анализа (количественный или качественный);
- *этап 4.* Интерпретировать каждый тренд, подкрепляя описание статистической информацией, охватывающей максимально возможный временной период; визуализировать результаты исследования графиками, диаграммами, таблицами и т.п.;
- *этап 5.* Указать существующее и потенциальное влияние на стратегизируемый объект, определив стратегические факторы и закономерности; обозначить существующие либо зарождающиеся стратегические возможности, а также стратегические угрозы, в случае их обнаружения;
- *этап 6.* Определить «жизненный» цикл каждого из трендов соответствующей группы (зарождающийся, устойчивый или угасающий);
- *этап 7.* Оценить траекторию развития каждого из трендов в соответствии с предполагаемыми сценариями и горизонтом отраслевого стратегирования;
- *этап 8.* Систематизировать результаты проведенного стратегического анализа трендов.

Как и в любой другой методике, стратегический анализ трендов в отраслевом стратегировании должен соответствовать ряду *стратегических принципов*, обуславливающих его эффективность:

- при разработке и реализации отраслевой стратегии необходимо изучение групп трендов разного вида и типа;
- в условиях больших массивов информации и множественности ее источников представляется целесообразным изучать только те тренды, которые в большей степени отвечают целям анализа, а также соответствуют гипотезе о существующей или потенциальной корреляции с объектом стратегирования;
- интерпретация каждого тренда разного уровня должна нести в себе оценку существующего или потенциального влияния на объект отраслевого стратегирования, а также описывать стратегические факторы и закономерности;

– при количественном подходе стратегического анализа трендов необходимо сканировать длинные временные ряды статистической информации, как правило выходящие за десятилетний период времени;

– стратегический анализ только зарождающегося тренда должен заканчиваться качественной прогностической оценкой развития данного тренда; при количественном подходе анализа устойчивого либо угасающего тренда предполагается выстраивание его траектории развития с целью подкрепления видения будущих перспектив и условий разработки отраслевой стратегии.

Стоит также подчеркнуть, что *стратегический мониторинг и анализ трендов* в отраслевом стратегировании необходим не только в процессе разработки, но и реализации уже разработанной и принятой к исполнению стратегии. В данном случае результаты анализа позволяют своевременно обнаружить новые стратегические факторы и закономерности, принять во внимание возникающие стратегические возможности, а также подготовить объект отраслевого стратегирования к потенциальным угрозам [28].

Заключение

Сформулированные теоретико-методологические основы стратегического анализа трендов в отраслевом стратегировании и предложенная авторская методика проведения анализа позволяют расширить методологию поиска и обоснования долгосрочных ориентиров, повышая эффективность процесса разработки отраслевых стратегий.

Список литературы

1. Квинт В. Л., Бодрунов С. Д. Стратегирование трансформации общества: знание, технологии, ноономика. СПб. : Институт нового индустриального развития им. С. Ю. Витте, 2021. 351 с.
2. Квинт В. Л., Сасаев Н. И., Хворостяная А. С. Стратегирование Российской индустрии бутилированной воды: тренды, приоритеты и принципы // Экономическое возрождение России. 2021. № 2. С. 20–33. doi:10.37930/1990-9780-2021-2-68-20-3
3. Мирзиева С. Ш. Методологические основы стратегирования социально-экономического развития Узбекистана. СПб. : ИПЦ СЗИУ РАНХиГС, 2020. 184 с.
4. Карасев О. И., Муканина Е. И., Тростянский С. С., Белошицкий А. В. Форсайт как инструмент определения стратегических приоритетов развития нефтегазовой отрасли в России // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2019. № 4. С. 44–49.
5. Череповицын А. Е., Ларичкин Ф. Д., Новосельцева В. Д. [и др.]. Методические подходы к сценарному планированию в минерально-сырьевом комплексе // Проблемы развития территории. 2017. № 6. С. 53–67.
6. Быстров А. В. Форсайт как инструмент промышленного стратегического развития // Экономика промышленности. 2019. № 12. С. 248–255. doi:10.17073/2072-1633-2019-3-248-255
7. Стратегирование экономического и инвестиционного развития Кузбасса : монография / под науч. ред. В. Л. Квинта. Кемерово : КемГУ, 2021. 364 с. doi:10.21603/978-5-8353-2724-9
8. Леонидова Е. Г., Сидоров М. А. Структурные изменения экономики: поиск отраслевых драйверов роста // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12, № 6.

9. Сасаев Н. И. Теоретические основы и методология разработки стратегии развития газовой отрасли России. СПб. : СЗИУ РАНХиГС, 2019. 176 с.
10. Сасаев Н. И. Фундаментальная основа для формирования новой культуры стратегирования // Экономика промышленности. 2021. Т. 14, № 2. С. 153–163. doi:10.17073/2072-1633-2021-2-153-163
11. Kvint V. L. Strategy for The Global Market: Theory and Practical Applications. New York : Routledge, 2016. 519 p.
12. Квинт В. Л. Глобальные экономические тенденции: анализ и перспективы // Экономика и управление. 2012. № 3. С. 4–6.
13. Квинт В. Л. Разработка стратегии: мониторинг и прогнозирование внутренней и внешней среды // Управленческое консультирование. 2015. № 7. С. 6–11.
14. Козырев А. А. Исследуя методологические основы стратегирования социально-экономического развития // Экономика промышленности. 2020. № 13. С. 434–447. doi:10.17073/2072-1634-2020-4-434-447
15. Квинт В. Л. Поиск и исследование философских корней теории стратегии. Взаимосвязь философского и стратегического мышления // Управленческое консультирование. 2016. № 1. С. 15–21.
16. Сасаев Н. И. Стратегическая диагностика отрасли как объекта стратегирования // Управленческое консультирование. 2021. № 9. С. 58–68. doi:10.22394/1726-1139-2021-9-58-68
17. Новикова И. В. Стратегирование развития трудовых ресурсов: основные элементы и этапы // Стратегирование: теория и практика. 2021. Т. 1, № 1. С. 57–65. doi:10.21603/2782-2435-2021-1-1-57-65
18. Квинт В. Л. Концепция стратегирования. Т. 1 (Серия «Библиотека стратега»). СПб. : СЗИУ РАНХиГС, 2019. 132 с.
19. Kvint V. L. Konzepte der Strategie: Impulse für Führungskräfte. Munchen : UVK Verlag, 2021. 128 p.
20. Стратегирование водных ресурсов Кузбасса : монография / под науч. ред. В. Л. Квинта. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2021. 388 с. doi:10.21603/978-5-8353-2725-6
21. Стратегирование цифрового Кузбасса : монография / под науч. ред. В. Л. Квинта. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2021. 434 с. doi:10.21603/978-5-8353-2796-6
22. Арапова Е. Я., Хохлова Н. И. Модели регионализации в АТР // Полис. Политические исследования. 2020. № 5. С. 60–74. doi:10.17976/jpps/2020.05.05
23. Мидов А. З. Внешние условия, внутренняя экономическая и социальная среда дотационного региона: стратегический анализ // Экономика и управление. 2021. № 27. С. 281–295. doi:10.35854/1998-1627-2021-4-281-295
24. Мирзиеева С. Ш. Учет глобальных и национальных тенденций и особенностей социально-экономического развития при разработке государственных стратегий // Экономическое возрождение России. 2020. № 1. С. 69–78.
25. Четвериков В. М. Особенности и интенсивность распространения COVID-19 в странах большой экономики // Вопросы статистики. 2020. Т. 27, № 6. С. 86–104. doi:10.34023/2313-6383-2020-27-6-86-104
26. Рыбаковский О. Л., Таюнова О. А. Рождаемость населения России и демографические волны // Народонаселение. 2017. № 4. С. 56–66. doi:10.26653/1561-7785-2017-4-4
27. Сасаев Н. И. Стратегические возможности развития малотоннажного производства сжиженного природного газа в России // Экономика промышленности. 2019. Т. 12, № 2. С. 136–146. doi:10.17073/2072-1633-2019-2-136-146
28. Квинт В. Л., Хворостяная А. С., Сасаев Н. И. Авангардные технологии в процессе стратегирования // Экономика и управление. 2020. Т. 26, № 11. С. 1170–1179. doi:10.35854/1998-1627-2020-11-1170-1179

References

1. Kvint V.L., Bodrunov S.D. *Strategirovanie transformatsii obshchestva: znanie, tekhnologii, noonomika = Strategizing the transformation of society: knowledge, technology, noonomics*. Saint Petersburg: Institut novogo industrial'nogo razvitiya im. S. Yu. Vitte, 2021:351. (In Russ.)
2. Kvint V.L., Sasaev N.I., Khvorostyanaya A.S. Strategizing the Russian bottled water industry: trends, priorities and principles. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = Economic Revival of Russia*. 2021;(2):20–33. (In Russ.). doi:10.37930/1990-9780-2021-2-68-20-3
3. Mirzieeva S.Sh. *Metodologicheskie osnovy strategirovaniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Uzbekistana = Methodological foundations of strategizing socio-economic development of Uzbekistan*. Saint Petersburg: IPTs SZIU RANKhiGS, 2020:184. (In Russ.)
4. Karasev O.I., Mukanina E.I., Trost'yanskiy S.S., Beloshitskiy A.V. Foresight as a tool for determining strategic priorities for the development of the oil and gas industry in Russia. *Vestnik VGU. Seriya: Ekonomika i upravlenie = Vestnik VSU. Series: Economics and Management*. 2019;(4):44–49. (In Russ.)
5. Cherepovitsyn A.E., Larichkin F.D., Novosel'tseva V.D. [et al.]. Methodological approaches to scenario planning in the mineral resource complex. *Problemy razvitiya territorii = Problems of territory development*. 2017;(6):53–67. (In Russ.)
6. Bystrov A.B. Foresight as an instrument of industrial strategic development. *Ekonomika promyshlennosti = Industrial economics*. 2019;(12):248–255. (In Russ.). doi:10.17073/2072-1633-2019-3-248-255
7. Kvint V.L. [et al.]. *Strategirovanie ekonomicheskogo i investitsionnogo razvitiya Kuzbassa: monografiya = Strategizing the economic and investment development of Kuzbass: a monograph*. Kemerovo: KemGU, 2021:364. (In Russ.). doi:10.21603/978-5-8353-2724-9
8. Leonidova E.G., Sidorov M.A. Structural changes in the economy: the search for sectoral growth drivers. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz = Economic and social changes: facts, trends, forecast*. 2019;12(6). (In Russ.)
9. Sasaev N.I. *Teoreticheskie osnovy i metodologiya razrabotki strategii razvitiya gazovoy otrasli Rossii = Theoretical foundations and methodology for the development of a strategy for the development of the Russian gas industry*. Saint Petersburg: SZIU RANKhiGS, 2019:176. (In Russ.)
10. Sasaev N.I. The fundamental basis for the formation of a new culture of strategy. *Ekonomika promyshlennosti = Industrial economics*. 2021;14(2):153–163. (In Russ.). doi:10.17073/2072-1633-2021-2-153-163
11. Kvint V.L. *Strategy for The Global Market: Theory and Practical Applications*. New York: Routledge, 2016:519.
12. Kvint V.L. Global economic trends: analysis and prospects. *Ekonomika i upravlenie = Economics and management*. 2012;(3):4–6. (In Russ.)
13. Kvint V.L. Strategy development: monitoring and forecasting of the internal and external environment. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie = Managerial consulting*. 2015;(7):6–11. (In Russ.)
14. Kozyrev A.A. Exploring the methodological foundations of strategizing socio-economic development. *Ekonomika promyshlennosti = Industrial economics*. 2020;(13):434–447. (In Russ.). doi:10.17073/2072-1634-2020-4-434-447
15. Kvint V.L. Search and research of the philosophical roots of the theory of strategy. The connection of philosophical and strategic thinking. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie = Managerial consulting*. 2016;(1):15–21. (In Russ.)
16. Sasaev N.I. Strategic diagnostics of the industry as an object of strategizing. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie = Managerial consulting*. 2021;(9):58–68. (In Russ.). doi:10.22394/1726-1139-2021-9-58-68

17. Novikova I.V. Strategizing the development of labor resources: the main elements and stages. *Strategirovanie: teoriya i praktika = Strategizing: theory and practice*. 2021;1(1):57–65. (In Russ.). doi:10.21603/2782-2435-2021-1-1-57-65
18. Kvint V.L. *Kontseptsiya strategirovaniya. T. 1 (Seriya «Biblioteka stratega») = The concept of strategizing. Vol. 1 (Series "Strategist's Library")*. Saint Petersburg: SZIU RANKhiGS, 2019:132. (In Russ.)
19. Kvint V.L. *Konzepte der Strategie: Impulse für Führungskräfte*. Munchen: UVK Verlag, 2021:128.
20. Kvint V.L. [et al.]. *Strategirovanie vodnykh resursov Kuzbassa: monografiya = Strategizing of Kuzbass water resources: monograph*. Kemerovo: Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet, 2021:388. (In Russ.). doi:10.21603/978-5-8353-2725-6
21. Kvint V.L. [et al.]. *Strategirovanie tsifrovogo Kuzbassa: monografiya = Strategizing digital Kuzbass : monograph*. Kemerovo: Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet, 2021:434. (In Russ.). doi:10.21603/978-5-8353-2796-6
22. Arapova E.Ya., Khokhlova N.I. Models of regionalization in the Asia-Pacific region. *Polis. Politicheskie issledovaniya = Polis. Political studies*. 2020;(5):60–74. (In Russ.). doi:10.17976/jpps/2020.05.05
23. Midov A.Z. External conditions, internal economic and social environment of the subsidized region: strategic analysis. *Ekonomika i upravlenie = Economics and management*. 2021;(27):281–295. (In Russ.). doi:10.35854/1998-1627-2021-4-281-295
24. Mirzieeva S.Sh. Taking into account global and national trends and peculiarities of socio-economic development in the development of state strategies. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = The economic revival of Russia*. 2020;(1):69–78. (In Russ.)
25. Chetverikov V.M. Features and intensity of the spread of COVID-19 in large economies. *Voprosy statistiki = Questions of statistics*. 2020;27(6):86–104. (In Russ.). doi:10.34023/2313-6383-2020-27-6-86-104
26. Rybakovskiy O.L., Tayunova O.A. The birth rate of the population of Russia and demographic waves. *Narodonaselenie = Population*. 2017;(4):56–66. (In Russ.). doi:10.26653/1561-7785-2017-4-4
27. Sasaev N.I. Strategic opportunities for the development of low-tonnage production of liquefied natural gas in Russia. *Ekonomika promyshlennosti = Industrial economics*. 2019;12(2):136–146. (In Russ.). doi:10.17073/2072-1633-2019-2-136-146
28. Kvint V.L., Khvorostyanaya A.S., Sasaev N.I. Avant-garde technologies in the process of strategizing. *Ekonomika i upravlenie = Economics and management*. 2020;26(11):1170–1179. (In Russ.). doi:10.35854/1998-1627-2020-11-1170-1179

Информация об авторах / Information about the authors

Никита Игоревич Сасаев

кандидат экономических наук,
доцент кафедры экономической
и финансовой стратегии,
Московская школа экономики
Московского государственного
университета имени М. В. Ломоносова
(Россия, г. Москва,
Ленинские Горы, 1, стр. 61)
E-mail: msemu@mail.ru

Nikita I. Sasaev

Candidate of economical sciences,
associate professor of the sub-department
of economic and financial strategy,
Lomonosov Moscow State University' Mos-
cow School of Economics
(buil. 61, 1 Leninskie Gory, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 17.11.2021

Поступила после рецензирования/Revised 23.12.2021

Принята к публикации/Accepted 12.01.2022

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С. С. Солдатова

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

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью совершенствования финансово-экономических механизмов, применимых в процессе управления стратегическим развитием промышленного предприятия, функционирующего в современных условиях хозяйствования, характеризующихся высокой степенью неопределенности внешней среды, ужесточением конкуренции, а также дефицитом финансовых ресурсов у большинства хозяйствующих субъектов. Выполненное исследование теоретической научной базы по вопросу стратегического планирования и управления показало, что проблеме формирования адекватного финансово-экономического механизма в системе управления стратегическим развитием промышленного предприятия на сегодняшний день уделено незначительное внимание. *Материалы и методы.* В ходе определения цели и решения задач выполненного научного исследования были разработаны модель формирования приоритетной стратегии развития предприятия и алгоритм реализации выбранной стратегии развития предприятия на платформе «использование финансово-экономических механизмов, инструментов и рычагов», позволяющей своевременно выявить наиболее перспективные источники финансирования стратегических программ развития. *Результаты и выводы.* Представленная концепция моделирования финансово-экономических механизмов, рекомендованных для применения в системе управления стратегическим развитием промышленного предприятия, позволит хозяйствующему субъекту существенно усовершенствовать набор методов, средств и инструментов стратегического управления и, как следствие, повысить конкурентоспособность собственной производственно-экономической деятельности. Предложения и рекомендации, выработанные в ходе выполненного исследования, позволяют промышленному предприятию качественно модернизировать действующую систему управления стратегическим развитием организации.

Ключевые слова: финансово-экономические механизмы, стратегия развития, стратегический менеджмент, промышленное предприятие

Для цитирования: Солдатова С. С. Моделирование финансово-экономических механизмов системы управления стратегическим развитием промышленного предприятия // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 16–25. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-2

MODELING OF FINANCIAL AND ECONOMIC MECHANISMS OF THE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE STRATEGIC DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

S.S. Soldatova

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

Abstract. *Background.* The relevance of this study is provided by the need to improve financial and economic instruments in the management of industrial enterprises strategic development, which are operating in the current business environment. It is characterized by high degree of uncertainty of the external environment, increased competition and a shortage of financial resources of the majority of businesses. The study of the theoretical scientific foundations on the issue of strategic planning and management showed that the problem of forming an adequate financial and economic mechanism in the management system of the strategic development of an industrial enterprise is currently underestimated. *Materials and methods.* In the course of determining the goals and solving the problems of the conducted scientific research, a model for the formation of priority development strategy of the enterprise was developed as well as the algorithm implementation of the chosen strategy of enterprise development on the platform "the use of financial and economic mechanisms, instruments and levers" that allows to identify the most promising sources of funding for strategic development programmes. *Results and conclusions.* The presented concept of modeling financial and economic mechanisms recommended for use in the strategic development management system of an industrial enterprise will allow an economic entity to significantly improve the set of methods, facilities and tools of strategic management and, as a result, increase the competitiveness of production and economic results. The proposals and recommendations developed in the study will allow the industrial enterprise to qualitatively modernize the existing management system for the strategic development.

Keywords: financial and economic mechanisms, development strategy, strategic management, industrial enterprise

For citation: Soldatova S.S. Modeling of financial and economic mechanisms of the management system for the strategic development of an industrial enterprise. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):16–25. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-2

Введение

Прошедший 2020 г. в историю человечества вошел как «год испытаний и потрясений», обусловленных, прежде всего, пандемией COVID-19 и, как следствие, нарастанием напряженности в мировой экономике. Россия, к сожалению, не осталась в стороне от вышеперечисленных проблем. Российские товаропроизводители в ходе весеннего «локдауна» большинства отраслей экономики и действия в течение года ряда ограничительных санитарно-эпидемиологических мер столкнулись с проблемой потери части оборота, снижением рентабельности производства, ростом убытков, снижением собственной платежеспособности и кредитоспособности.

В современных экономических условиях, характеризующихся достаточно высоким уровнем неопределенности рыночной среды и социально-экономической обстановки в стране в целом, промышленным предприятиям особо тяжело прогнозировать динамику основных финансово-экономических показателей на долгосрочную перспективу. Следовательно, если в организации нет уверенности в сохранении объемов производства и реализации продукции, которые должны не только полностью покрыть все текущие затраты предприятия, но и обеспечивать необходимый объем прибыли, гарантирующий поступательное развитие бизнеса, то у данной организации на сегодняшний день не будет четкого видения собственных перспектив. Актуальность совершенствования системы управления стратегическим развитием предприятия, перебазирование ее на активное применение финансово-экономических механизмов для установления наиболее оптимальных по ресурсному обеспечению целевых направлений развития бизнес-объекта, использование финансово-экономических рычагов и инструментов для своевременной корректировки как хода реализации выбранной стратегии, так и стратегических целей развития компании на долгосрочную перспективу, является неоспоримой.

Материалы и методы исследования

В ходе выполненного анализа теоретико-методологической базы было установлено, что формирование эффективной стратегии развития хозяйствующего субъекта возможно только при грамотном применении финансово-экономических инструментов и рычагов управления [1].

Анализ практики ряда промышленных предприятий Пензенской области позволил установить, что большинство организаций не уделяют должного внимания проблеме сопоставления финансовых, материально-технических возможностей и стратегических целей развития. В этой связи возникает дисбаланс между стратегией развития предприятия и ресурсным обеспечением процесса реализации данной стратегии.

Построение процесса разработки и реализации стратегического плана развития промышленного предприятия на основе финансово-экономических механизмов позволит не только существенно сократить временные и трудовые затраты на данный процесс, но и четко установить степень ответственности структурных подразделений организации за сроки, ресурсы и эффективность реализации каждого этапа стратегического планирования. Предлагаем использовать модель разработки стратегии плана развития предприятия, сформированную на основе финансово-экономических механизмов, таких как: определение наиболее перспективных стратегических зон хозяйствования; установление оптимальных источников финансирования процесса реализации стратегии; формирование системы критериев и показателей эффективности реализации стратегии; стратегическое бюджетирование (рис. 1).

Классический подход к процессу разработки стратегии развития предприятия предполагает, что первоначально необходимо определить миссию и ценностные ориентиры организации [5]. Не нарушая данный принцип, закрепляем за отделом стратегического развития предприятия ответственность за выполнение комплекса работ по анализу и оценке факторов внешней и внутренней среды организации, выявлению стратегических зон хозяйствования.

ния, позволяющих наиболее эффективно вести производственно-коммерческую деятельность, противостоять внешним угрозам, наращивать собственный стратегический потенциал, в соответствии с миссией, целями и видением траектории развития бизнеса на долгосрочную перспективу.

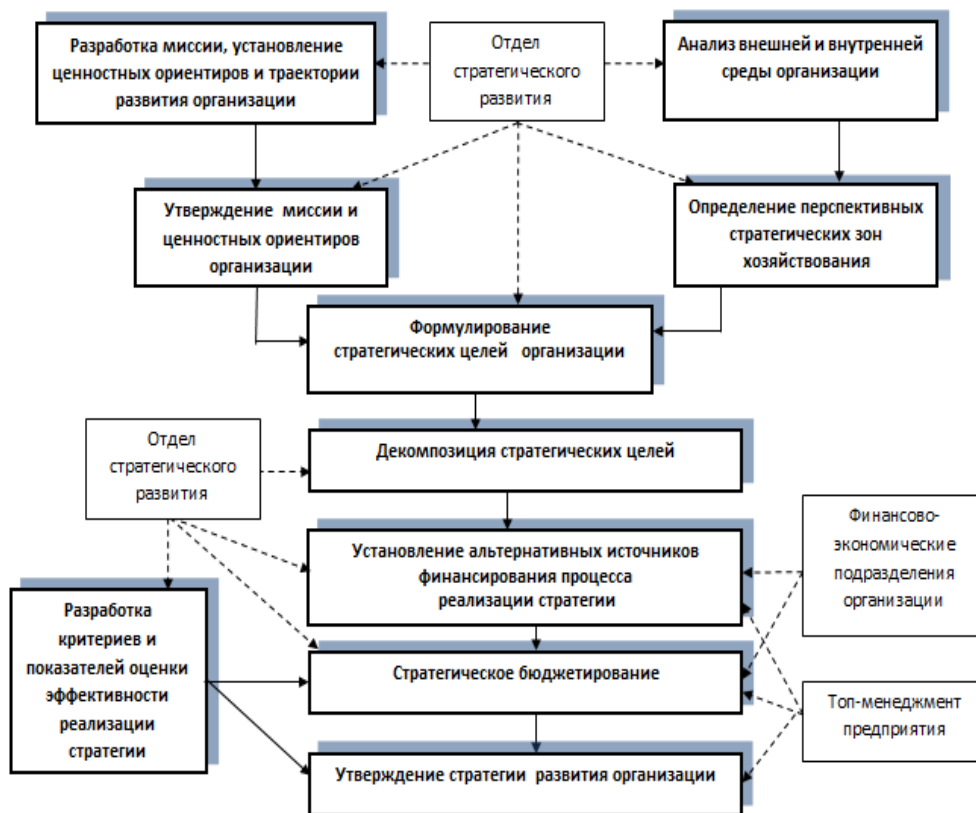


Рис. 1. Модель разработки стратегии развития предприятия

В ходе процесса определения наиболее перспективных стратегических зон хозяйствования руководству предприятия необходимо одновременно учесть и сбалансировать объем и качественный состав материально-технических, финансовых и трудовых ресурсов, имеющихся в наличии на предприятии, и желаемое их состояние. Так как именно разрыв в объемах и качестве необходимых и имеющихся возможностей, как показывает практика российских промышленных предприятий, является основным сдерживающим фактором, осложняющим стратегическое и в особенности инновационное развитие российских товаропроизводителей.

Далее за этапом «формулирование и декомпозиция стратегических целей организации» следует выполнить комплекс работ по определению источников финансирования процесса реализации выбранной стратегии. В качестве основных источников финансирования традиционно выступают собственные средства организации, заемные и кредитные ресурсы, средства инвесторов, а также целевое государственное финансирование, если предприятие участвует в реализации крупномасштабных инфраструктурных проектов, в эффективности которых заинтересовано государство.

При этом важно рассчитать объемы и установить источники финансирования с разбивкой по времени и по каждой отдельной программе, входящей в комплекс стратегического планирования развития предприятия. Ответственность за корректность, своевременность и точность финансово-экономических расчетов, конкретизирующих объемы и источники финансирования стратегии развития, должна быть возложена на финансово-экономические службы (отделы) предприятия, а ответственность за целевое использование данных финансовых средств – на высший менеджмент организации (топ-менеджмент).

Стратегическое бюджетирование как финансово-экономический механизм в процессе разработки стратегии развития позволяет в полной мере реализовать в практической деятельности предприятия системный подход к стратегическому менеджменту, так как охватывает все фазы управленческого цикла (планирование, организация, мотивация, контроль) [2, 6].

Предлагаем следующий алгоритм стратегического бюджетирования в рамках разработки стратегии развития предприятия:

1) *планирование бюджета для реализации стратегии* – на данном этапе необходимо определить объем финансовых ресурсов, необходимых для реализации выбранной стратегии (или по каждому варианту из портфеля альтернативных стратегий), рассчитать стоимость каждого конкретного мероприятия, запланированного к реализации, а также сделать предварительный расчет экономической эффективности данных мероприятий;

2) *разработка инвестиционной карты* – на данном этапе необходимо установить источники инвестиционных ресурсов, выполнить сравнительный анализ стоимости и эффективности всех альтернативных вариантов, а также обеспечить юридическое сопровождение инвестиционного проекта (сделки), просчитать риски и разработать комплекс мер по минимизации или полной нейтрализации как для инвестора, так и для самого предприятия;

3) *определение исполнителей и разработка системы мотивации* – на данном этапе сконцентрированы работы по установлению ответственных должностных лиц, коммуникационных каналов передачи управленческой и технической информации между структурными подразделениями, сроков и объемов планируемых мероприятий, а также совершенствование системы мотивации и стимулирования заинтересованности всех без исключения сотрудников предприятия в достижении поставленных стратегически целей;

4) *определение целевых ориентиров и запланированных результатов* – этап предполагает количественную или качественную оценку результата, который должен быть получен в ходе стратегического бюджетирования. Особо данный этап актуален при рассмотрении некоторого набора альтернативных стратегий и выполнения финансово-экономических расчетов по каждому альтернативному варианту с целью выбора наиболее целесообразной стратегии долгосрочного развития предприятия;

5) *разработка системы контроля* – несмотря на то, что данный этап по логике представленного алгоритма является завершающим, работы по контролю осуществляются на каждом из вышеперечисленных блоков. Актуальность и целесообразность применения процедуры контроля абсолютно на каждом этапе стратегического бюджетирования объясняется управленческой необходимостью постоянного мониторинга и корректировки ситуации в быстроизменяющихся условиях ведения бизнеса и экономических процессов.

Одновременно с процессом стратегического бюджетирования в ходе разработки стратегии развития предприятия необходимо определить набор четких критериев и показателей оценки эффективности реализации стратегии. При этом система экономических показателей, позволяющих определить эффективность стратегии, должна быть многоаспектной и как минимум включать в свой состав финансовые (показатели финансовой устойчивости, платежеспособности, ликвидности), ресурсные (показатели эффективности использования материально-технических, трудовых, информационных ресурсов), рыночные (темпы роста объема реализации, динамика доли рынка и др.) и социальные аспекты (количество вновь создаваемых рабочих мест, средняя заработная плата, уровень социальных гарантий и др.).

Необходимо отметить, что от корректности и грамотности установленных показателей во многом зависит целесообразность самого процесса стратегического планирования, так как искажение информации и/или ситуации на данном этапе предопределяет ошибочное мнение о выбранной стратегии развития хозяйствующего субъекта.

На заключительном этапе процесса разработки стратегии развития предприятия осуществляется утверждение выбранной приоритетной стратегии. Персональная ответственность за данный процесс и его результаты должна быть возложена на топ-менеджмент компании (генеральный директор, директор по стратегическому развитию, заместитель директора по финансам и экономике и др. согласно штатному составу управленческих кадров предприятия).

Результаты

Обеспечение эффективности процесса разработки и реализации стратегии развития предприятия возможно только посредством применения современных методов комплексного анализа, прогнозирования и контроллинга. При этом на каждом этапе управления стратегическим развитием организации необходимо совместное использование разнообразных экономико-математических методов и инструментов, позволяющих получить объективную и достоверную информацию, которая будет способствовать принятию грамотного управленческого решения в сложившихся обстоятельствах и с учетом долгосрочного прогноза развития ситуации. Конечно, сама по себе достоверная информация не является залогом принятия правильного управленческого решения, так как успех во многом зависит от уровня компетенции и практического опыта самого управляющего (лица, принимающего управленческое решение).

В качестве методического обеспечения системы управления стратегическим развитием предприятия предлагается использовать комплекс методов, моделей и инструментов анализа и оценки ситуации (рис. 2), составленный на основе исследования передовой теории и практики управленческого анализа [3, 5, 6]. В рамках предложенной модели (рис. 2) представлен достаточно полный перечень методов стратегического анализа и прогнозирования, эффективно применимых на каждом этапе процесса управления стратегическим развитием промышленного предприятия. Например, на первом этапе «разработка миссии и ценностных ориентиров организации» предлагается использовать метод экспертного оценивания, позволяющий учесть мнение не только

руководителей предприятия, но внешних экспертов, и таким образом наиболее точно определить оптимальный вектор развития бизнеса. На этапе «анализ внешней и внутренней среды организации» рекомендуется одновременно применить три метода (экспертное оценивание, PEST-анализ, SWOT-анализ) [4], что обеспечит получение синергетического эффекта в виде достаточного объема объективной информации о тенденциях и динамике развития предприятия в условиях изменяющейся среды хозяйствования.

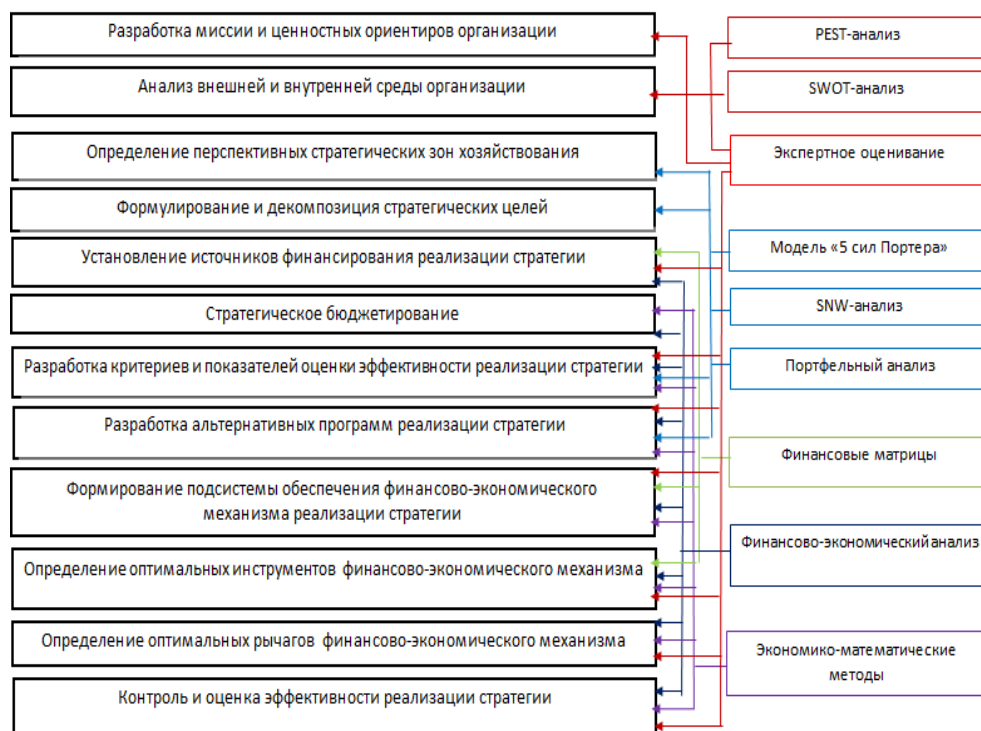


Рис. 2. Методическое обеспечение системы управления стратегическим развитием предприятия

На последующем этапе «определение перспективных стратегических зон хозяйствования» результаты, полученные ранее, дополняются в ходе оценки перспектив бизнеса при помощи методов «Модель 5 сил Портера», SNW-анализ и портфельного анализа [3]. В целом объем исследовательских и оценочных действий на данном этапе полностью зависит от уровня квалификации специалистов, а также от временных и финансовых ресурсов, которые предприятие может позволить потратить на оценку собственных перспектив. Результаты, полученные в ходе выполненного анализа, позволят менеджменту организации грамотно сформулировать систему стратегических целей и провести их декомпозицию на задачи.

Этап «установление источников финансирования реализации стратегии» предполагает оценку рациональности и перспективности привлечения различных форм финансирования производственно-коммерческой деятельности предприятия посредством использования комплекса финансово-экономических инструментов (финансовые матрицы, методики финансово-экономичес-

кого анализа, экономико-математическое моделирование, бюджетирование). Результатом данного этапа является полностью подготовленная управленческая информация для всех последующих этапов процесса управления стратегическим развитием предприятия. Отметим, что в качестве методического обеспечения последующих элементов алгоритма рекомендуется также применять финансовые матрицы, финансово-экономический анализ, экономико-математическое моделирование и методы экспертного оценивания, что позволит точно и достоверно рассчитать сроки, ресурсы и плановые результаты, характеризующие эффективность реализации стратегии.

На этапе «контроль и оценка эффективности реализации стратегии» при помощи методов экспертной оценки, финансово-экономического анализа и математических расчетов должна быть выполнена грамотная оценка достигнутых результатов и при необходимости своевременно разработаны корректирующие мероприятия.

Таким образом, менеджмент предприятия, применяя на практике установленную совокупность финансово-экономических механизмов в рекомендуемой последовательности, имеет возможность сформировать систему высококачественного методического обеспечения процесса управления стратегическим развитием организации. Также следует отметить, что в современных условиях развития информационных систем и цифровизации многих экономических процессов данные методы анализа, оценки и прогнозирования могут быть реализованы на основе программных продуктов. Информатизация и компьютеризация методического обеспечения процесса управления стратегическим развитием организации позволит существенно ускорить процесс сбора, обработки и анализа управленческой информации и, как следствие, повысить оперативность и эффективность управленческих решений в рамках процесса «разработка и реализация стратегии развития» предприятия.

Заключение

Обобщая все вышесказанное, можно дать развернутое определение понятия «финансово-экономический механизм управления стратегическим развитием предприятия». Это комплекс, состоящий из финансовых и экономических подсистем, финансовых рычагов и инструментов, методов оценки и анализа, методик экономического прогнозирования и бюджетирования, нацеленный на установление оптимальных целевых направлений стратегического развития предприятия с учетом быстроизменяющихся условий производственно-коммерческой деятельности субъекта.

На основе глубокого анализа теоретических подходов и практических разработок по стратегическому планированию и управлению разработана модель формирования приоритетной стратегии развития предприятия на основе активного применения финансово-экономических механизмов, позволяющих достоверно установить приоритетные стратегические зоны хозяйствования для организации, определить оптимальные источники финансирования реализации стратегии развития, а также грамотно реализовать такие процедуры, как стратегическое бюджетирование, контроль и оценка эффективности стратегии развития.

Представленная концепция моделирования финансово-экономических механизмов, рекомендованных для применения в системе управления страте-

гическим развитием промышленного предприятия, позволит хозяйствующему субъекту существенно усовершенствовать набор методов, средств и инструментов стратегического управления, модернизировать действующую систему управления стратегическим развитием организации и, как следствие, повысить конкурентоспособность собственной производственно-экономической деятельности.

Список литературы

1. Байжанова Л. Б. Теоретические аспекты проектирования модели финансово-экономического механизма стратегического развития предприятия // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 2-3. С. 146–148.
2. Брагинский О. Б. О механизмах стратегического управления // Экономическая наука современной России. 2020. № 3. С. 141–146.
3. Гримашевич О. Н. Стратегическое управление компаниями в условиях цифровой экономики // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2020. № 5. С. 9–11.
4. Душкина Д. А. SWOT-анализ как основной инструмент стратегического управления компанией // Вестник ИМСИТ. 2018. № 4. С. 51–56.
5. Комарова Т. В., Чжимин У. Теоретико-методологические подходы к формированию финансово-экономических механизмов стратегического планирования и управления деятельностью организации // Социально ориентированное управление в условиях глобализации : материалы IV Всерос. заочной науч.-практ. конф. М. : Российский университет дружбы народов, 2020. С. 112–115.
6. Муканов А. Х. Современные подходы к стратегическому планированию производственной деятельности предприятия // Инновационное развитие социально-экономических систем: условия, результаты и возможности : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 41–49.

References

1. Bayzhanova L.B. Theoretical aspects of designing a model of the financial and economic mechanism of strategic development of the enterprise. *Evraziyskoe Nauchnoe Ob"edinenie = Eurasian Scientific Association*. 2019;(2-3):146–148. (In Russ.)
2. Braginskiy O.B. On the mechanisms of strategic management. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii = Economic science of modern Russia*. 2020;(3):141–146. (In Russ.)
3. Grimashevich O.N. Strategic management of companies in the digital economy. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*. 2020;(5):9–11. (In Russ.)
4. Dushkina D.A. SWOT analysis as the main tool of strategic management of the company. *Vestnik IMSIT = IMSIT Bulletin*. 2018;(4):51–56. (In Russ.)
5. Komarova T.V., Chzhimin U. Theoretical and methodological approaches to the formation of financial and economic mechanisms of strategic planning and management of the organization's activities. *Sotsial'no orientirovannoe upravlenie v usloviyakh globalizatsii: materialy IV Vseros. zaochnoy nauch.-prakt. konf. = Socially oriented management in the context of globalization : materials of the IV All-Russian Correspondence Scientific and Practical Conference*. Moscow: Rossiyskiy universitet druzhby narodov, 2020:112–115. (In Russ.)
6. Mukanov A.Kh. Modern approaches to strategic planning of the company's production activities. *Innovatsionnoe razvitie sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: usloviya, rezul'taty i vozmozhnosti: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Innovative development of socio-economic systems: conditions, results and opportunities : materials of the III International Scientific and Practical Conference*. 2020:41–49. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Светлана Сергеевна Солдатова

кандидат экономических наук,
доцент кафедры менеджмента
и экономической безопасности,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: sssoldatova@mail.ru

Svetlana S. Soldatova

Candidate of economical sciences,
associate professor of the sub-department of
management and economic security,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 15.02.2021

Поступила после рецензирования/Revised 14.05.2021

Принята к публикации/Accepted 24.01.2022

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Д. Т. Умарова

Институт экономики, Нур-Султан, Республика Казахстан
udt.dinara@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Целью исследования является изучение зарубежного опыта на примере таких действующих региональных интеграционных объединений, как Европейский союз (ЕС), Ассоциация Юго-Восточных Азиатских стран (АСЕАН) и Интеграционное объединение стран Южной Америки (МЕРКОСУР) для формулирования условий, способствующих развитию научно-технологического сотрудничества в рамках Евразийского экономического сообщества (ЕАЭС). *Материалы и методы.* Методологическую основу исследования составили сбор и обработка данных, сравнительный анализ, сопоставление экономических и статистических показателей и их обобщение, страновые рейтинги и другие данные международных организаций. *Результаты.* Исследование показывает, что научно-технологическое сотрудничество в региональных объединениях зависит от влияния совокупности факторов: наличия органа, ответственного за развитие интеграции в области науки, технологии и инновации и принятия наднациональной стратегии развития науки, технологии и инновации; наличия капитала, технологий и человеческих ресурсов; развития образования и мобильности исследователей; вовлеченности широкого круга заинтересованных лиц; и соответствующее информационное обеспечение. *Выводы.* В качестве выводов предлагаются для применения условия, которые будут способствовать дальнейшему развитию научно-технологической интеграции в рамках сотрудничества в ЕАЭС.

Ключевые слова: научно-технологическое сотрудничество, интеграция, ЕАЭС, АСЕАН, МЕРКОСУР, ЕС

Финансирование: статья подготовлена в рамках государственного задания при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан АР09259768 «Научно-технологическое пространство стран ЕАЭС: структура, механизмы развития, обеспечение экономических интересов Казахстана».

Для цитирования: Умарова Д. Т. Зарубежный опыт научно-технологической интеграции // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 26–40. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-3

FOREIGN EXPERIENCE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL INTEGRATION

D.T. Umarova

Institute of Economics, Nur-Sultan city, Republic of Kazakhstan
udt.dinara@mail.ru

Abstract. *Background.* The purpose of the research is studying foreign experience on the example of existing regional integration associations such as the European Union (EU),

the Association of Southeast Asian Countries (ASEAN) and the Integration Association of South American Countries (MERCOSUR) to formulate conditions necessary to development of scientific and technological cooperation within the framework of the Eurasian Economic Community (EAEU). *Materials and methods.* The methodological basis of the research are collection and processing of data, a comparative analysis, comparison of economic and statistical indicators and their generalization, country ratings and other data of international organizations. *Results.* The research shows that scientific and technological cooperation within regional associations depends on a combination of factors: the presence of the body responsible for the development of integration in the field of science, technology and innovation and adoption of a supranational (national) strategy for the development of science, technology and innovation; availability of capital, technology and human resources; development of education and mobility of researchers; involvement of a wide range of stakeholders; and related informational support. *Conclusions.* As conclusions necessary conditions for use have been suggested for further development of scientific and technological integration within the EAEU.

Keywords: scientific and technological cooperation, integration, EAEU, ASEAN, MERCOSUR, EU

Acknowledgment: the article was prepared within the framework of the state task with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan AP09259768 "Scientific and technological space of the EAEU countries: structure, mechanisms of development, ensuring the economic interests of Kazakhstan".

For citation: Umarova D.T. Foreign experience of scientific and technological integration. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;(4):26–40. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-3

Введение

Вторая половина XX в. характерна процессами экономической и политической интеграции. Модель Европейского союза (далее по тексту ЕС) повлияла на интеграционные процессы во всем мире. Снижая торговые барьеры и обеспечивая свободное передвижение товаров, капитала и труда, региональные торговые соглашения обеспечивают много преимуществ и способствуют экономическому росту стран – участниц региональных объединений. Вместе с тем опыт некоторых стран, участниц ЕС, таких как Греция и Испания, продемонстрировал, что интеграции не являются экономической панацеей. Потеря монетарной независимости и обмен валют налагают серьезные ограничения в сдерживании экономических кризисов, что очевидно из выхода Великобритании из ЕС [1].

С созданием Евразийского экономического союза (далее по тексту ЕАЭС) интеграционные процессы на территории СНГ вышли на новый уровень. Согласно Договору ЕАЭС развитие науки и инноваций, совместные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (далее по тексту НИОКР) являются составной частью сотрудничества в сферах промышленности, агропромышленного комплекса и транспорта (пп. 7 п. 2 ст. 86, пп. 7 п. 4 ст. 92, пп. 6 п. 1 ст. 95)¹. В Декларации о дальнейшем развитии интегра-

¹ Закон Республики Казахстан от 14 октября 2014 года № 240-V ЗРК «О ратификации Договора о Евразийском экономическом союзе»

ционных процессов в ЕАЭС одним из ключевых направлений развития определено «*формирование "территории инноваций" и стимулирование научно-технических прорывов*» [2].

Вместе с тем эксперты отмечают невысокий уровень научно-технического сотрудничества в рамках ЕАЭС [3]. Среди причин этого выделяют недостаточное развитие национальных инновационных систем и инновационного климата в странах ЕАЭС [4], отсутствие либо слабое научно-техническое сотрудничество между странами – участниками ЕАЭС. В странах ЕАЭС уровень финансирования НИОКР составляет менее 1 % ВВП (табл. 1), высокотехнологичный экспорт составляет менее 1 % мирового объема, доля бюджетных средств в структуре финансирования НИОКР более 60 % [4]. Также в исследовании научно-технического сотрудничества между Республикой Армения и ЕАЭС отмечается недофинансирование науки в Армении, выраженное сотрудничество в сфере науки с Россией и Республикой Беларусь при слабом уровне взаимодействия с Казахстаном и Кыргызстаном [5]. Более того, в целом создание общего научно-технического пространства в рамках СНГ отмечается как «заморожившийся» процесс [6], отмечают сокращение количества статей, опубликованных в соавторстве ученых стран СНГ [7].

Таблица 1

Индикаторы научно-технического развития стран ЕАЭС
(составлено автором по данным <https://gtmarket.ru/ratings>)

Страна	Затраты на НИОКР, в % к ВВП	Рейтинг по уровню расходов на образование, позиция из 217 позиций	Рейтинг по индексу инноваций в 2020 г., позиция из 131 позиций	Рейтинг по уровню научно-исследовательской активности в 2019 г., позиция из 197 позиций	Рейтинг стран по количеству патентов в 2020 г., позиция из 171 позиций
Россия	0,99 ²⁰¹⁸	120 ²⁰¹⁶	47	7	8
Казахстан	0,12 ²⁰¹⁸	157 ²⁰¹⁸	77	61	145
Беларусь	0,61 ²⁰¹⁸	76 ²⁰¹⁷	64	75	62
Кыргызстан	0,11 ²⁰¹⁷	31 ²⁰¹⁷	94	126	82
Армения	0,19 ²⁰¹⁸	159 ²⁰¹⁷	61	90	88

Литературный обзор

В исследованиях, посвященных вопросам региональных объединений, отмечают, что каждая интеграционная модель зависит от различных факторов, в том числе от особенности и истории государств, вовлеченных в интеграционный процесс. Среди факторов, определяющих успех регионализма, выделяют необходимость наличия регионального лидера, который обеспечивает региональный порядок от имени всех участников региональной интеграции [9]. Одним из недостатков функционирования интеграционных объединений выделяют «*расстояние*» между намерениями и их реализацией [10]. Политика протекционизма стран-участниц и приоритетное решение внутренних проблем в МЕРКОСУР привели к низкому уровню региональной институциона-

лизации. Более того, некоторые эксперты утверждают, что попытки регионализации в Центральной Азии ранее не имели желаемых результатов [9].

ЕС обладает необходимым капиталом, технологиями и, являясь местом стечения трудовых ресурсов, имеет большой потенциал научно-технологического развития по сравнению с развивающимися странами. В этой связи существует мнение, что развивающимся странам следует больше сотрудничать с развитыми партнерами вне региона, чем с «соседями» с аналогичным уровнем развития [9]. Более того, в вопросах развития образования отдельные исследователи ссылаются на учение Макса Вебера об уникальности европейского общества, согласно которому различные университеты, или похожие институты, или академии наук могут существовать в разных местах, но рациональная и систематическая деятельность научных экспертов и их доминирующее положение существует только на Западе [11]. И в настоящее время роль университетов в производстве знаний, технологий и инноваций получила беспрецедентное внимание во всем мире. В этой связи, к примеру, в Дании ответственность за науку, высшее образование, технологии и инновации лежит на одном министерстве [11].

Методология

Методологическую основу исследования составили сбор и обработка данных; сравнительный анализ опыта интеграционных усилий действующих региональных интеграционных объединений на примере ЕС, Ассоциации Юго-Восточных Азиатских стран (далее по тексту АСЕАН) и Интеграционного объединения стран Южной Америки (далее по тексту МЕРКОСУР); сопоставление экономических и статистических показателей и их обобщение. В частности, для оценки уровня научно-технологического и инновационного развития региональных объединений ЕС, АСЕАН, МЕРКОСУР и ЕАЭС были использованы рейтинги стран, входящих в состав вышеназванных региональных объединений, в мире по индексу инноваций, по количеству патентов, по уровню научно-исследовательской активности.

Научной базой исследования являются публикации в основном зарубежных исследователей, ученых стран СНГ, посвященные вопросам интеграции, в том числе вопросам, касающимся научно-технологического сотрудничества; ежегодные отчеты деятельности рабочих органов ЕС, АСЕАН, МЕРКОСУР и ЕАЭС; ежегодные отчеты Организации экономического сотрудничества и развития.

Информационную базу исследования составили данные официальных сайтов ЕС, АСЕАН, МЕРКОСУР и ЕАЭС, статистические данные по ЕС, АСЕАН, МЕРКОСУР и ЕАЭС, страновые рейтинги и другие данные международных организаций.

Результаты и обсуждения

Изучение опыта региональных интеграционных объединений ЕС, АСЕАН и МЕРКОСУР (табл. 2), функционирующих в рамках отличных друг от друга экономических и политических условий и характеризующихся внутререгиональными различиями, в том числе в экономическом развитии, позволило определить условия развития научно-технологического сотрудничества.

Таблица 2

Базовые индикаторы региональных интеграционных объединений
(составлено автором по данным www.countryeconomy.com/countries/groups)

Индикатор	Объединение		
	ЕС	АСЕАН	МЕРКОСУР
Страны-участницы	Австрия, Бельгия, Болгария, Хорватия, Кипр, Чехия, Дания, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Ирландия, Италия, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Испания, Швеция	Бруней, Камбоджа, Индонезия, Лаос, Малайзия, Мьянма, Филиппины, Сингапур, Тайланд, Вьетнам	Бразилия, Аргентина, Парагвай, Уругвай
Год создания	1957	1967	1991
ВВП, млн долл.	18417,4	2955	2627,5
Уровень интеграции	Политический и экономический союз, единый рынок и таможенный союз	Межправительственная кооперация в сфере экономики, политики, безопасности. Интеграция военного, образовательного и социокультурного сотрудничества	Соглашение о свободной торговле, будущий таможенный союз, социальная и экономическая политика

Основным экономическим мотивом на **Европейскую интеграцию** явились возможность использования сравнительных преимуществ по стоимости и экономия от масштаба на едином рынке, где страны ЕС торгуют более чем 60 % своего экспорта и импорта [9]. Также ЕС является одним из нескольких регионов мира, где сконцентрирована научно-технологическая деятельность (табл. 3) [12]. Сравнительный анализ экономических моделей, в том числе инновационных систем ЕС и США, показывает, что ЕС занимает 25 % мирового объема исследований [13]. Научно-техническая политика ЕС направлена на решение следующих задач: 1) стимулирование инвестиций в НИОКР; 2) обеспечение высококвалифицированными кадровыми ресурсами; 3) совершенствование исследовательской базы; 4) привлечение частного сектора [14].

На период 2014–2020 гг. в ЕС действовала Стратегия по развитию и инновации «Европа 2020». Это многоотраслевая программа с ежегодным бюджетом в сумме 11,2 млрд евро, принятая в том числе в целях достижения научного и технологического совершенства [14]. Одной из целей данной Стратегии было увеличение к 2020 г. суммы инвестиций в НИОКР до 3 % к ВВП. На основании основных положений Стратегии «Европа 2020» принимаются отдельные национальные стратегии. В частности, 22 страны ЕС имеют национальные стратегии, предусматривающие достижение таких целей,

как увеличение расходов на НИОКР, в том числе частных расходов, количество выпускников PhD, количество публикаций в наиболее цитируемых журналах, патенты, участие в международных программах, мобильность между наукой и производством.

Таблица 3

Показатели ЕС (2019 г.) (составлено автором по данным
www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser)

Объединение	Показатель					
	Население, человек	ВВП на душу населения, долл.	Экспорт высокотехнологичных товаров в % от экспорта товаров	Затраты на НИОКР, в % к ВВП	Количество исследователей, человек	Расходы государства на образование в % к ВВП
ЕС	510 287 293	37 104	17,9 ²⁰¹⁸	2,14	2 175 094	1,42

Одной из основных программ финансирования Стратегии «Европа 2020» является программа «Horizon 2020», которая также способствует интеграции Европейского исследовательского пространства [15]. Объем финансирования научно-исследовательских программ в ЕС предусматривает следующие критерии: соответствие приоритетам научно-технического развития ЕС; направленность исследований; ориентированность на частный сектор; невозможность реализации проекта на национальном уровне. При этом выделяют три формы финансирования проектов научно-технического сотрудничества:

- 1) прямой способ, полное финансирование проектов из бюджета ЕС;
- 2) косвенный способ, совместное финансирование из бюджета ЕС и за счет средств стороны, инициировавшей реализацию проекта;
- 3) согласованная форма, ЕС финансирует координацию работ и обмен научно-технической информацией, основным источником выступают субъекты бизнеса.

В случае неэффективности проекта экономические потери возмещаются за счет страховых выплат.

Механизм реализации научно-технического сотрудничества в рамках ЕС также включает соответствующее информационное обеспечение, мобильность исследователей и специалистов научно-технической и инновационной деятельности. При этом человеческие ресурсы рассматриваются как ключевой индикатор развития научной и технологической инновации в ЕС. Еще одной характеристикой инновационного развития в ЕС является его национальный контекст, в ЕС выделяются ведущие инновационные центры (Дания, Финляндия, Швеция, Швейцария и Германия).

Европейский совет по исследованиям (ERC), созданный в 2007 г. в рамках Седьмой рамочной программы ЕС на 2007–2013 гг., продолжает функционировать в процессе осуществления новой Рамочной программы ЕС по исследованиям и инновациям на 2021–2027 гг. и является основным координирующим органом ЕС в области исследований. Кроме того, в 20 странах ЕС имеются национальные советы, и одним из первых был Национальный

совет по исследованиям и инновациям, созданный в Греции в 1984 г. [15]. Эти советы представляют собой непостоянные общественные органы, принимающие участие в формировании и реализации политики науки и инновации. К примеру, советы в Чехии вовлечены также в вопрос бюджетирования. Кроме советов, функционируют в режиме онлайн общественные консультации, предусматривающие участие гражданского общества в процессе формирования политики. К примеру, в Дании 100 заинтересованных лиц от бизнеса, научных кругов, гражданского общества, профсоюзов и неправительственных организаций, муниципалитетов и региональных властей привнесли вклад в 476 пунктов по новым исследовательским приоритетам для RESEARCH2025 каталога, который содержит коллекцию приоритетов для стратегического исследования на ближайшие годы.

АСЕАН называют второй наиболее успешной региональной интеграцией после ЕС (табл. 4) [16], первоочередной задачей которого является создание единого рынка, свободное передвижение товаров, услуг, инвестиций и капитала. Гибкость является уникальной характеристикой модели АСЕАН, и фундаментальной основой его существования является Декларация, а не Договор. Другой отличительный фактор заключается в акценте интеграционных усилий на нескольких отобранных отраслях [17]. Вместе с тем внутрирегиональная торговля АСЕАН сравнительно низкая и составляет около 25 % международной торговли стран-участниц. В данном контексте экономическую структуру АСЕАН сравнивают с Центральной Азией, где доля внутрирегиональной торговли составляет около 10 % [9].

Таблица 4

Базовые индикаторы стран АСЕАН (2019)
(составлено автором по данным www.knoema.ru)

Страна	Территория, км ²	Население, человек	ВВП на душу населения, долл.	Экспорт высокотехнологичных товаров в % от экспорта товаров	Количество исследователей, человек	Расходы государства на образование в % к ВВП
Бруней Дарусалам	5765	433 285	31 087	8,5	122,84 ²⁰⁰⁴	4,43 ²⁰¹⁶
Камбоджа	181 035	16 486 542	1643	1,2	501,19 ²⁰¹⁵	2,16 ²⁰¹⁸
Индонезия	1 916 862	270 625 568	4136	8,1	58 455,12 ²⁰¹⁸	3,58 ²⁰¹⁵
Лаос	236 800	7 169 455	2535	20,6	113,28 ²⁰⁰²	2,94 ²⁰¹⁴
Малайзия	331 388	31 949 777	11 414	51,8	76 567,64 ²⁰¹⁶	4,16
Мьянма	676 576	54 045 420	1408	6 ²⁰¹⁷	1572,72 ²⁰¹⁷	1,93
Филиппины	300 000	108 116 615	3485	62,2	11 427,93 ²⁰¹⁵	2,54 ²⁰⁰⁹
Сингапур	720	5 703 569	65 233	52,1	38 798,53 ²⁰¹⁷	2,85 ²⁰¹³
Тайланд	513 140	69 625 582	7807	23,6	94 015,42 ²⁰¹⁷	4,12 ²⁰¹³
Вьетнам	331 230	96 462 106	2715	40,4	68 266,23 ²⁰¹⁷	4,17 ²⁰¹⁸
АСЕАН	4 493 516	660 617 919			349 840,9	

Политика науки и технологий АСЕАН излагается на ежегодной встрече министров АСЕАН по науке и технологиям, которая проводится ежегодно

в формальном и неформальном форматах. Постоянный Комитет АСЕАН по науке и технологиям, созданный в 1971 г., ответственен за установку направлений, координацию действий, создание общественной осведомленности о региональной научно-технической деятельности и их вклад в экономическое развитие. С момента создания Комитета принимались серии планов действий в области науки и технологий (APASTs). В настоящее время действует План действий в области науки, технологий и инноваций APASTI на 2016–2025 гг., определяющий стратегические направления с акцентом на государственно-частное партнерство, мобильность талантов, взаимодействие между людьми и инклюзивность, поддержку предпринимательства, осведомленность общества по науке, технологиям и инновациям. Вместе с тем следует также отметить наличие внутренних различий АСЕАН по показателям развития науки и инновации (табл. 5).

Таблица 5

Индикаторы научно-технического развития стран АСЕАН
(составлено автором по данным <https://gtmarket.ru/ratings>)

Страна	Затраты на НИОКР, в % к ВВП	Рейтинг по уровню расходов на образование, позиция из 217 позиций	Рейтинг по индексу инноваций в 2020 г., позиция из 131 позиций	Рейтинг по уровню научно-исследовательской активности в 2019 г., позиция из 197 позиций	Рейтинг стран по количеству патентов в 2020 г., позиция из 171 позиций
Бруней Дарусалам	0,28 ²⁰¹⁸	91 ²⁰¹⁶	71	101	80
Камбоджа	0,12 ²⁰¹⁵	183 ²⁰¹⁸	110	121	136
Индонезия	0,23 ²⁰¹⁸	130 ²⁰¹⁵	85	19	17
Лаос	—	150 ²⁰¹⁴	113	135	147
Малайзия	1,44 ²⁰¹⁶	89 ²⁰¹⁸	33	20	22
Мьянма	0,03 ²⁰¹⁷	189 ²⁰¹⁸	129	109	153
Филиппины	0,16 ²⁰¹⁵	162 ²⁰⁰⁹	50	63	26
Сингапур	1,94 ²⁰¹⁷	155 ²⁰¹³	8	35	15
Тайланд	1 ²⁰¹⁷	99 ²⁰¹³	44	31	19
Вьетнам	0,53 ²⁰¹⁷	97 ²⁰¹⁸	42	54	23

Интеграционные усилия в сфере образования в АСЕАН отмечаются со стороны неправительственных организаций и правительства. Инициативы неправительственных организаций реализуются через Ассоциацию институтов высшего образования Юго-Восточной Азии (консорциум основных государственных институтов в целях углубления сотрудничества особенно через академический обмен) и Ассоциацию исследовательских институтов Восточной Азии (форум глав 17 исследовательских университетов). Правительственные инициативы реализуются через Организацию министров образования Юго-Восточной Азии, в основном стран АСЕАН, для продвижения регионального сотрудничества в образовании, науке и культуре Юго-Восточной Азии.

В целях обеспечения осведомленности общественности и расширения взаимодействия между научной общественностью политиками, промышленностью и ассоциациями производителей АСЕАН организуются регулярные научно-технологические мероприятия. Результаты исследовательских работ, проведенных учеными и исследователями стран АСЕАН, регулярно публикуются в Журнале АСЕАН по научно-технологическому развитию.

Другим проектом Комитета по науке и технологиям АСЕАН является научно-технологическая сеть ASTNET, информационная платформа по программам регионального сотрудничества, фундаментальных, прикладных исследований и разработок, базовое, высшее и непрерывное образование, развитие человеческих ресурсов и трансферт технологий. Более того, в 1997 г. создан Фонд АСЕАН для реализации инициатив стран-участниц. Проекты и деятельность Фонда разнообразны и предусматривают тренинги, семинары, стипендии, региональные форумы и встречи, интерактивные мероприятия и обмены, семинары и конференции, рекламу и рекламные акции.

МЕРКОСУР создано Аргентиной, Бразилией, Парагваем и Уругваем в 1991 г., является пятой экономикой мира, расположенной на территории площадью более 11 млн км² и обладающей размером рынка в более 268 млн человек (табл. 6). Основной целью МЕРКОСУР является продвижение общего пространства, объединяющего бизнес и инвестиционные возможности через конкурентную интеграцию национальных экономик на международный рынок. Страны МЕРКОСУР сотрудничают во многих сферах, в том числе в сфере образования, науки и технологий. Оценивая 30-летний опыт МЕРКОСУР, отдельные эксперты характеризуют его низким уровнем региональной институционализации [18, 19]. Более того, эксперты утверждают, что идея региональной интеграции никогда не была полностью принята элитами или гражданским обществом стран – участниц МЕРКОСУР. Бразилия, доминирующая региональная сила, по-прежнему привержена своим принципам автономии и универсализма [18].

Таблица 6

Основные индикаторы стран МЕРКОСУР (2019 г.)
(составлено автором по данным сайта www.knoema.ru/atlas)

Страна	Территория, км ²	Население, человек	ВВП на душу населения, долл.	Экспорт высокотехнологичных товаров в % от экспорта товаров	Количество исследователей, человек	Расходы государства на образование в % к ВВП
Бразилия	8 358 140	212 559 000	6450	13,3	188 688,62	6,3
Аргентина	2 736 690	44 938 712	9912	5,2	53 575,9	5,5
Парагвай	397 300	7 044 636	5415	7,2	951,7	3,4
Уругвай	175 020	3 461 734	16 190	8,3	2410,75	5,0
МЕРКОСУР	11 667 150	268 004 082			245 626,97	

С точки зрения инновационных усилий, страны МЕРКОСУР характеризуют: сравнительно низкий уровень расходов на НИОКР (табл. 7); сравнитель-

но несбалансированное распределение инновационных усилий (наибольшая доля расходов приходится на государство, в структуре отраслей на природные ресурсы, сельское хозяйство, услуги и наименьшая доля на производство); ограниченный доступ и использование иностранных технологий (Бразилия, приветствуя прямые иностранные инвестиции, ограничивает передачу иностранных технологий) [20]. При этом государственный сектор играет важную роль в развитии национальных инновационных систем. В сфере образования интеграция предусматривает аккредитацию, мобильность исследователей в целях создания академического пространства и межинституциональное сотрудничество.

Таблица 7

Индикаторы научно-технического развития стран МЕРКОСУР
(составлено автором по данным <https://gtmarket.ru/ratings>)

Страна	Затраты на НИОКР, в % к ВВП	Рейтинг по уровню расходов на образование, позиция из 217 позиций	Рейтинг по индексу инноваций в 2020 г., позиция из 131 позиции	Рейтинг по уровню научно-исследовательской активности в 2019 г., позиция из 197 позиций	Рейтинг стран по количеству патентов в 2020 г., позиция из 171 позиции
Бразилия	1,26 ²⁰¹⁷	25 ²⁰¹⁵	62	11	10
Аргентина	0,54 ²⁰¹⁷	43 ²⁰¹⁷	80	41	29
Парагвай	0,15 ²⁰¹⁷	132 ²⁰¹⁶	97	132	159
Уругвай	0,48 ²⁰¹⁷	72 ²⁰¹⁷	69	81	169

Страны МЕРКОСУР также характеризуются внутренними различиями в уровне экономического развития. В целях повышения конкурентоспособности и сокращения асимметрии между странами в 2004 г. был создан Фонд структурной конвергенции FOCEM (начал функционировать в 2006 г.). Сумма ежегодного финансирования FOCEM – 100 млн долл. в следующих пропорциях: 70 % от Бразилии, 27 % от Аргентины, 2 % от Уругвая и 1 % от Парагвая. При этом ресурсы FOCEM распределяются в следующих пропорциях: Парагвай имеет право на 48 %, Уругвай – на 32 %, Аргентина – на 10 % и Бразилия – на 10 %. FOCEM финансируется также от непостоянных поступлений стран – участниц МЕРКОСУР, стран вне МЕРКОСУР и международных организаций [21].

Общие вызовы определили видение важности развития сотрудничества в формировании общей образовательной повестки. Посредством диалога, технической поддержки, кооперации и финансирования становилось общее образовательное пространство. В 1991 г. проводились несколько встреч министров образования по созданию общего образовательного пространства МЕРКОСУР, которое начало функционировать в 1992 г. Высшее образование становится наиболее развитой сферой интеграции, которая включает аккредитацию ученых степеней, академическую мобильность и признание дипломов. С 2004 г. функционирует специальный фонд для поддержки проектов и программ в сфере образования, который был создан Решением Совета по об-

щему рынку и управляется Консультативным советом [22]. В 2007 г. бывший президент Бразилии Луис Инасио да Силва инициировал создание Федерального университета латиноамериканской интеграции (Unila) с миссией в способствовании интеграции в Латинской Америке с акцентом на МЕРКОСУР. Университет расположен в 40 га земли на границе между Бразилией, Аргентиной и Парагваем, является некоммерческой организацией и финансируется на основе государственно-частного партнерства¹. В настоящее время университет рассматривается как «уникальный проект» в истории высшего образования Латинской Америки, способствующий развитию Латинской Америки и его интеграции через гуманитарные, научные и технологические знания, сотрудничество между университетами, правительствами и международными организациями. При Университете функционирует Институт перспективных исследований МЕРКОСУР.

Заключение

Изучение опыта научно-технологического сотрудничества таких региональных интеграционных объединений, как ЕС, АСЕАН, МЕРКОСУР, позволяет сформулировать следующие выводы:

– *первое*, мотивом интеграции в ЕС, АСЕАН и МЕРКОСУР явились экономические перспективы, которые открывает единый общий рынок для свободного обращения товаров (работ, услуг), капитала, человеческих ресурсов и, соответственно, идей, технологий и инноваций. При этом уровень интеграции в ЕС и АСЕАН считается более успешным, чем в МЕРКОСУР;

– *второе*, отмечается различный уровень научно-технологического развития в странах ЕС, АСЕАН и МЕРКОСУР. Наиболее высокий потенциал научно-технологического развития имеется в ЕС, он объединяет десятки экономически развитых стран и, соответственно, обладает необходимым капиталом, технологиями и человеческими ресурсами. ЕС занимает 25 % мирового объема исследований и сравнительно высокую долю исследователей в общей численности населения;

– *третье*, наличие в моделях ЕС, АСЕАН и МЕРКОСУР общих характеристик. Это наличие внутренних различий стран-участниц, что характерно и для стран ЕАЭС; наличие единой наднациональной стратегии развития науки, технологий и инноваций (ЕС, АСЕАН); наука и инновации развиваются в национальном контексте. Так, в ЕС инновационными центрами считаются Дания, Финляндия, Швеция, Швейцария и Германия, в АСЕАН – это Сингапур, в МЕРКОСУР – это Бразилия, в ЕАЭС по развитию науки и технологии лидирующие позиции занимает Российская Федерация. Кроме того, особое внимание отводится мобильности ученых и исследователей, специалистов научно-технической и инновационной деятельности, интеграционным усилиям в сфере образования как ключевым факторам развития науки, технологий и инноваций.

Таким образом, несмотря на наличие различий в экономическом и научно-техническом развитии, они не стали препятствиями для сотрудничества и приложения интеграционных усилий в области науки, технологий и

¹ <https://edurank.org/uni/federal-university-of-latin-american-integration>

инноваций. Более того, исследование опыта ЕС, АСЕАН и МЕРКОСУР позволило определить следующие условия, необходимые для дальнейшего развития научно-технологического сотрудничества в рамках ЕАЭС:

1) принятие стратегий (наднациональных, национальных) развития науки, технологий и инноваций и наличие органа, ответственного за развитие интеграции в области науки, технологий и инновации;

2) вовлеченность правительств в формирование и реализацию политики, что придает интеграционным усилиям особую важность;

3) вовлеченность широкого круга заинтересованных лиц (гражданского общества, научных сообществ, частного сектора, учебных заведений), принимающих непосредственное участие в формировании и реализации политики, финансировании проектов;

4) информационное обеспечение сотрудничества в области науки, технологий и инноваций посредством специфических изданий и других информационных платформ;

5) стимулирование развития науки и инновации посредством обеспечения механизма финансирования и страхования научно-технических проектов.

Список литературы

1. Basnet H. C., Pradhan G. Regional economic integration in Mercosur: The role of real and financial sectors // Review of Development Finance. 2017. Vol. 7, iss. 2. P. 107–119.
2. Евразийская экономическая комиссия «Евразийский экономический союз. Интеграция и макроэкономика». 2020 г. URL: <http://www.eurasiancommission.org>
3. Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации «Научно-техническое сотрудничество как фактор Евразийской экономической интеграции», Ежегодный доклад за 2015 г. URL: http://council.gov.ru/activity/analytics/analytical_reports/65859/ (дата обращения: 11.06.2021).
4. Шугуров М. В. Формирование модели научно-технологической интеграции в рамках ЕАЭС: теоретические и методологические аспекты // Политика и общество. 2020. № 4. С. 50–81. doi:10.7256/2454-0684.2020.4.34137
5. Саргсян Ш. А., Мирзоян А. Р., Манукян А. А. [и др.]. Научное сотрудничество между Арменией и ЕАЭС: реальность и тенденции развития // Наука и научная информация. 2019. Т. 2, № 1. С. 6–18. doi:10.24108/2658-3143-2019-2-1-6-18
6. Поболь А. Экономический потенциал интеграционных процессов стран ЕВРАЗЭС для стимулирования их инновационного развития // Таможенный союз и Единое экономическое пространство в ЕвразЭС: перспективы дальнейшей интеграции : тезисы докладов Междунар. конф. (13–14 октября 2011 г., г. Алматы). URL: https://eabr.org/upload/iblock/278/tes_pobol_14.pdf
7. Князева С. Ю., Слащева Н. А. Научно-техническое сотрудничество России и ЕС: библиометрический анализ // Форсайт. 2008. № 1. URL: <https://foresight-journal.hse.ru/2008-2-1/26547000.html>
8. Бударина Н. А. Международные программы научно-технического сотрудничества в рамках Европейского Союза и Евразийского экономического сообщества // Вестник Полоцкого государственного университета. 2012. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/49208715.pdf>
9. Krapohl S., Vasileva-Dienes A. The region that isn't: China, Russia and the failure of regional integration in Central Asia // Asia Europe Journal. 2020. Vol. 18. P. 347–366. URL: <https://doi.org/10.1007/s10308-019-00548-0>
10. Kathuria S., Shahid S., Ferrantino M. Five lessons of regional integration from Asia, America, and Africa. World Bank. 2015.
11. Nelson A. R., Wei I. P. The global university: past, present, and future perspectives. Palgrave Macmillan US. 2012. doi: 10.1057/9780230392465

12. Bongardt A., Torres F. Europe 2020 – A Promising Strategy? The Competitiveness Rationale, Sustainable Growth and the Need for Enhanced Economic Coordination // *Intereconomics*. 2010. № 3. P. 160–166. doi:10.1007/s10272-010-0332-9
13. Kitson M. The American Economic Model and European Economic Policy // *Regional Studies*. 2005. Vol. 39.7. P. 987–1001. URL: <https://www.researchgate.net/publication/24087910>. doi: 10.1080/00343400500290075
14. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers «Governance of Science and Technology Policies». 2019. № 84. doi:10.1787/2b3bc558-en
15. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. Paris : OECD Publishing, 2018. № 55. doi:10.1787/235c9806-en
16. Gaens B., Venturi B., Ayuso A. Differentiation in ASEAN, ECOWAS and MERCOSUR: A Comparative Analysis // *EU Integration and Differentiation for Effectiveness and Accountability Policy Papers*. 2020. 20 p.
17. Reyes R. A. The ASEAN Model of Economic Integration // *The Jakarta Post*, Monday. 19.07.2004. URL: www.asean.org
18. Baur A., Flach L., Teti F. 30 Years of Mercosur – Status Quo and Future Integration Steps // *EconPol Opinion* 45. 2021. URL: https://www.econpol.eu/opinion_45 (дата обращения: 11.06.2021).
19. Caichiolo C. R. The Mercosur Experience and Theories of Regional Integration // Publication in this collection, *Contexto Internacional*. 2017. Vol. 39. doi:10.1590/S0102-8529.2017390100006
20. Alcorta L., Plonski G. A., Rimoli C. A. The experience of technological collaborations by MERCOSUR companies // *Technology Analysis & Strategic Management*. 1998. Vol. 10, iss. 3. P. 341–362. doi:10.1080/09537329808524321
21. Botelho J. C. A. The Reduction of Asymmetries in MERCOSUR as a Way of Development Aid and South-South Cooperation: The Case of FOCEM // *Geopolítica(s)*. 2013. Vol. 4, № 1. P. 43–62. doi:10.5209/rev_GEOP.2013.v4.n1.40538
22. Larrechea E. M., Castro A. C. New Demands and Policies on Higher Education in the Mercosur: a comparative study on challenges, resources, and trends // *Policy Futures in Education*. 2009. Vol. 7, № 5. doi:10.2304/pfie.2009.7.5.473

References

1. Basnet H.C., Pradhan G. Regional economic integration in Mercosur: The role of real and financial sectors. *Review of Development Finance*. 2017;7(2):107–119.
2. *Evraziyskaya ekonomicheskaya komissiya «Evraziyskiy ekonomicheskii soyuz. Integratsiya i makroekonomika»*. 2020 g. = *Eurasian Economic Commission "Eurasian Economic Union. Integration and Macroeconomics"*. 2020. (In Russ.). Available at: <http://www.eurasiancommission.org>
3. *Sovet Federatsii Federal'nogo Sobraniya Rossiyskoy Federatsii «Nauchno-tekhnicheskoe sotrudnichestvo kak faktor Evraziyskoy ekonomicheskoy integratsii», Ezhegodnyy doklad za 2015 g.* = *Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation "Scientific and technical cooperation as a factor of Eurasian economic integration", Annual Report for 2015*. (In Russ.). Available at: http://council.gov.ru/activity/analytics/analytical_reports/65859/ (accessed 11.06.2021).
4. Shugurov M.V. Formation of a model of scientific and technological integration within the EAEU: theoretical and methodological aspects. *Politika i obshchestvo = Politics and society*. 2020;(4):50–81. (In Russ.). doi:10.7256/2454-0684.2020.4.34137
5. Sargsyan Sh.A., Mirzoyan A.R., Manukyan A.A. [et al.]. Scientific cooperation between Armenia and the EAEU: reality and development trends. *Nauka i nauchnaya informatsiya = Science and Scientific information*. 2019;2(1):6–18. (In Russ.). doi:10.24108/2658-3143-2019-2-1-6-18

6. Pobol' A. The economic potential of the integration processes of the EURASEC countries to stimulate their innovative development. *Tamozhennyi soyuz i Edinoe ekonomicheskoe prostranstvo v EvrAzES: perspektivy dal'neyshey integratsii: tezisy dokladov Mezhdunar. konf. (13–14 oktyabrya 2011 g., g. Almaty) = The Customs Union and the Common Economic Space in the EurAsEC: Prospects for further Integration : abstracts of reports of the International Conference (October 13–14, 2011, Almaty)*. (In Russ.). Available at: https://eabr.org/upload/iblock/278/tes_pobol_14.pdf
7. Knyazeva S.Yu., Slashcheva N.A. Scientific and technical cooperation between Russia and the EU: bibliometric analysis. *Forsayt = Foresight*. 2008;(1). (In Russ.). Available at: <https://foresight-journal.hse.ru/2008-2-1/26547000.html>
8. Budarina N.A. International programs of scientific and technical cooperation within the framework of the European Union and the Eurasian Economic Community. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Polotsk State University*. 2012. (In Russ.). Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/49208715.pdf>
9. Krapohl S., Vasileva-Dienes A. The region that isn't: China, Russia and the failure of regional integration in Central Asia. *Asia Europe Journal*. 2020;18:347–366. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10308-019-00548-0>
10. Kathuria S., Shahid S., Ferrantino M. *Five lessons of regional integration from Asia, America, and Africa*. World Bank. 2015.
11. Nelson A.R., Wei I.P. *The global university: past, present, and future perspectives*. Palgrave Macmillan US. 2012. doi: 10.1057/9780230392465
12. Bongardt A., Torres F. Europe 2020 – A Promising Strategy? The Competitiveness Rationale, Sustainable Growth and the Need for Enhanced Economic Coordination. *Intereconomics*. 2010;(3):160–166. doi:10.1007/s10272-010-0332-9
13. Kitson M. The American Economic Model and European Economic Policy. *Regional Studies*. 2005;39:7:987–1001. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/24087910>. doi: 10.1080/00343400500290075
14. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers «Governance of Science and Technology Policies»*. 2019;(84). doi:10.1787/2b3bc558-en
15. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*. Paris: OECD Publishing, 2018;(55). doi:10.1787/235c9806-en
16. Gaens B., Venturi B., Ayuso A. Differentiation in ASEAN, ECOWAS and MERCOSUR: A Comparative Analysis. *EU Integration and Differentiation for Effectiveness and Accountability Policy Papers*. 2020:20.
17. Reyes R.A. The ASEAN Model of Economic Integration. *The Jakarta Post, Monday*. 19.07.2004. Available at: www.asean.org
18. Baur A., Flach L., Teti F. 30 Years of Mercosur – Status Quo and Future Integration Steps. *EconPol Opinion* 45. 2021. Available at: https://www.econpol.eu/opinion_45 (accessed 11.06.2021).
19. Caichiolo C.R. The Mercosur Experience and Theories of Regional Integration. *Publication in this collection, Contexto Internacional*. 2017;39. doi:10.1590/S0102-8529.2017390100006
20. Alcorta L., Plonski G.A., Rimoli C.A. The experience of technological collaborations by MERCOSUR companies. *Technology Analysis & Strategic Management*. 1998;10(3):341–362. doi:10.1080/09537329808524321
21. Botelho J.C.A. The Reduction of Asymmetries in MERCOSUR as a Way of Development Aid and South-South Cooperation: The Case of FOCEM. *Geopolítica(s)*. 2013;4(1):43–62. doi:10.5209/rev_GEOP.2013.v4.n1.40538
22. Larrechea E.M., Castro A.C. New Demands and Policies on Higher Education in the Mercosur: a comparative study on challenges, resources, and trends. *Policy Futures in Education*. 2009;7(5). doi:10.2304/pfie.2009.7.5.473

Информация об авторах / Information about the authors

Динара Темиржановна Умарова

кандидат экономических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт экономики
Комитета науки
Министерства образования
и науки Республики Казахстан
(Республика Казахстан, г. Алматы,
ул. Шевченко, 26)
E-mail: udt.dinara@mail.ru

Dinara T. Umarova

Candidate of economical sciences,
leading researcher,
Institute of Economics
for the Science Committee
of the Ministry of Education
of the Republic of Kazakhstan
(26 Shevchenko street, Almaty,
Republic of Kazakhstan)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 05.08.2021

Поступила после рецензирования/Revised 12.09.2021

Принята к публикации/Accepted 08.10.2021

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОДАЖ НА РЫНКЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ СУСТАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

И. В. Маланьина¹, А. С. Похвалов²

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

^{1, 2} ecifin@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается проблема повышения эффективности прогнозирования продаж на рынке эндопротезирования крупных суставов человека, решение которой связано с необходимостью учета большого числа количественных и качественных параметров, зависящих от выбора отдельных типов искусственных суставов и технологий протезирования. Показаны условия, при которых традиционный подход к прогнозированию, основанный на простой экстраполяции и методе сценариев, не позволяет учесть особенности продукта и требования целевого рынка. *Материалы и методы.* Информационной базой выступили результаты научных и прикладных исследований специалистов в области прогнозирования рынков медицинских изделий, статистического анализа данных и машинного обучения. В работе показаны направления использования методов классификации и статистического обучения для прогнозирования объемов продаж искусственных суставов человека. *Результаты.* Рассмотрены условия применения древовидных моделей и логистической регрессии с позиции повышения точности прогнозирования на целевом рынке. Показана возможность применения данных моделей для решения обратных задач нахождения оптимального набора признаков классификации сегментов рынка и исследования конкуренции между продуктами с позиции процессов замещения или дополнения. *Выводы.* Результаты исследования позволят эффективнее решать прикладные задачи планирования создания новых продуктов и оценки потенциала увеличения продаж на рынке эндопротезирования. Они могут применяться для выбора оптимальных способов позиционирования и продвижения продукции на рынке.

Ключевые слова: прогнозирование продаж, рынок эндопротезирования, древовидные модели, логистическая регрессия

Финансирование: статья подготовлена при финансовой поддержке конкурса «Ректорские гранты» Пензенского государственного университета, договор № ХП-83/21 от 19 апреля 2021 г.

Для цитирования: Маланьина И. В., Похвалов А. С. Прогнозирование продаж на рынке эндопротезирования суставов с использованием методов анализа данных и машинного обучения // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 41–51. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-4

SALES FORECASTING FOR THE MARKET OF JOINT ENDOPROTHETICS USING METHODS OF DATA ANALYSIS AND MACHINE LEARNING

I.V. Malanyina¹, A.S. Pokhvalov²

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

^{1, 2} ecifin@mail.ru

Abstract. *Background.* The problem of increasing the efficiency of forecasting sales in the market for endoprosthetics of large human joints is considered, the solution of which is associated with the need to take into account a large number of quantitative and qualitative parameters depending on the choice of individual types of artificial joints and prosthetics technologies. The conditions are shown under which the traditional approach to forecasting, based on simple extrapolation and the method of scenarios, does not allow taking into account the features of the product and the requirements of the target market. *Materials and methods.* The information base was the results of scientific and applied research of specialists in the field of forecasting the markets of medical devices, statistical data analysis and machine learning. The paper shows the directions of using the methods of classification and statistical training to predict the volume of sales of artificial human joints. *Results.* The conditions for the application of regression trees models and logistic regression from the standpoint of improving the forecasting accuracy in the target market are considered. The possibility of using these models for solving inverse problems of finding the optimal set of signs for classifying market segments and studying competition between products from the standpoint of substitution or addition processes is shown. *Conclusions.* The results of the study will make it possible to more effectively solve applied problems of planning the creation of new products and assessing the potential for increasing sales in the endoprosthetics market. They can be used to select the best ways to position and promote products on the market.

Keywords: sales forecasting, endoprosthetics market, tree models, logistic regression

Acknowledgment: the article was prepared with the financial support of the competition "Rector's grants" of Penza State University, contract № HP-83/21 dated April 19, 2021.

For citation: Malanyina I.V., Pokhvalov A.S. Sales forecasting for the market of joint endoprosthetics using methods of data analysis and machine learning. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):41–51. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-4

Введение

Рынок эндопротезирования относится к рынку медицинских изделий. Его большая часть приходится на замену крупных суставов человека, к которым относятся тазобедренный и коленный суставы [1]. Годовое количество таких операций в мире превышает 2 млн единиц, а размер глобального рынка эндопротезирования только тазобедренного сустава в 2020 г. составил 6,57 млрд долл. Ожидается, что к 2028 г. размер рынка достигнет 9,91 млрд долл. со среднегодовым темпом роста около 5,3 % [2]. Российский рынок эндопротезов суставов в 2019 г. составил 7,7 млрд руб. (113,2 млн долл.), из них на импорт пришлось почти 96 % [3].

Общее число операций эндопротезирования в США составляет около 500 на 100 тыс. человек населения в год. В Европе эта цифра колеблется от 300 в Швейцарии и ФРГ, до 240 во Франции и 170 в Италии. В России она

составляет от 50 до 60 протезирований на 100 тыс. человек. При емкости рынка в 200–300 тыс. операций ежегодно, в России проводится лишь 100–120 тыс. операций в год, из них около 70 тыс. приходится на протезирование тазобедренного сустава [1, 4, 5].

С учетом размера и масштабов эндопротезирования важной практической задачей становится повышение точности получаемых прогнозов продаж. В прикладных исследованиях прогнозирование объема, емкости рынка и спроса на отдельные виды эндопротезирования чаще всего проводят путем простой экстраполяции прошлых тенденций, используя методы анализа временных рядов или регрессию. Например, для получения консервативного прогноза предлагается использовать линейную парную или множественную регрессию, а для моделирования более агрессивных сценариев – регрессию Пуассона, содержащую экспоненциальный тренд [6]. Для прогнозирования спроса на новые технологические решения в области эндопротезирования допускается применение кривых обучения [7].

Часть работ по прогнозированию основана на исследовании процессов распространения новой продукции с помощью моделей диффузии инноваций, которые приводят к логистической или S-образной кривой спроса с насыщением. С экономической точки зрения процесс диффузии означает принятие нового продукта или технологии и их распространение в некоторой группе потребителей посредством коммуникации. Распространение инновации пропорционально осведомленности потребителей о новом продукте. Имеется положительный опыт применения таких моделей при исследовании эффектов от внедрения IT-решений в системе здравоохранения и в фармакологии [8, 9].

Многие модели распространения инноваций могут быть переопределены в более широкий класс зависимостей спроса с насыщением, к которому относятся кривые роста [10]. Они включают экспоненциальные и логистические зависимости и так же используются для оценки траекторий технологического развития, проникновения на рынок новых продуктов, а также освоения технологий. При этом отмечается невысокая точность получаемых прогнозов в случае возможности появления прорывных технологий или возникновения шоков на рынке [11].

При этом увеличения точности оценок пытаются достигать за счет перекрестной сегментации рынка [2]:

- по процедуре (тотальное, частичное или ревизионное эндопротезирование);
- по материалу пары трения (металл-металл, металл-полиэтилен, керамика-металл, керамика-полиэтилен, керамика-керамика);
- по типу фиксации (цементное, бесцементное, гибридное);
- по конечному пользователю (госпитали и амбулаторные хирургические центры, ортопедические клиники и прочие);
- по географическому размещению или макрорегиону с разбивкой по крупнейшим сегментам.

Более сложной процедурой является сценарный подход, предполагающий последовательное уточнение прогнозной оценки рынка и продаж продукции за счет многошаговой процедуры [12]:

- определение границ и размера рынка;

- уточнение размера рынка с учетом специфических факторов: географии и демографии конкретного региона, целевых сегментов рынка по использованию, ключевой технологии, появления нового продукта и т.д.;

- собственно прогнозирование объема продаж ключевых игроков в рамках выделенного сценария.

Детализация оценки достигается за счет совмещения восходящей и нисходящей оценки. Нисходящая оценка предполагает идентификацию информации по выручке, рыночной доле и темпам роста продаж ключевых игроков, действующих на рынке. Восходящая оценка базируется на идентификации продуктов крупных и небольших предприятий, представленных на рынке. Далее эта оценка используется для прогноза выручки и доли отдельных сегментов. При этом принимают в расчет общее число пациентов, ожидаемые расходы на лечение, число поставленных диагнозов и другую релевантную информацию.

Большинство рассмотренных подходов характеризуются значительным агрегированием данных и не учитывают их скрытую структуру, связанную с многошаговым характером решений при эндопротезировании. Они также не учитывают взаимосвязь технологических факторов и потребительских свойств изделий при формировании спроса на продукцию конкретных производителей. Для того чтобы вскрыть эти взаимосвязи и повысить точность прогнозирования, предлагается использовать современные методы анализа данных, в частности древовидные методы классификации и регрессии.

Материалы и методы

Основная сложность прогнозирования продаж на рынке эндопротезирования связана с высокой степенью его дифференциации из-за большого числа факторов, влияющих на выбор конкретного продукта и используемой технологии. Действительно, причинами, приводящими к необходимости замены суставов человека, могут служить заболевания (на эту причину приходится около 90 % операций), травмы и врожденные патологии. При этом возможна полная (тотальная) или частичная замена сустава, предполагающая замену отдельных частей.

Для установки протеза важна технология крепления и используемые материалы пар трения. Крепление элементов протеза возможно на базе цементной, бесцементной и гибридной технологии. Пары трения образуются соприкасающимися поверхностями имплантов и могут выполняться в следующих сочетаниях: металл-полиэтилен, керамика-полиэтилен, металл-металл, керамика-керамика. Наиболее износостойкими являются последние два варианта, на которые приходится более 40 % операций среди всех пациентов и около 70 % пациентов до 55 лет.

В то же время технология крепления зависит от возраста, веса и пола пациента, состояния костной ткани, предпочтений хирурга. Выбор технологии крепления предопределяет материал протеза, его покрытие и стоимость. Цементный способ характеризуется низкой стоимостью и возможностью установки при наличии сопутствующих заболеваний и слабости костной ткани. Однако в этом случае возможно использование только пары трения металл-полиэтилен. Бесцементный способ позволяет более свободно выбирать пару трения, обеспечивает более длительную эксплуатацию протеза, а также

Дерево решений разбивает множество всех наблюдений в выборке на отдельные относительно однородные сегменты, каждому из которых можно поставить в соответствие некоторую количественную оценку (например, константу).

Основными задачами при построении дерева решений являются:

- обоснование набора объясняющих переменных;
- выбор числа разбиений для каждой независимой переменной (глубины дерева), чтобы обеспечивалась максимальная однородность наблюдений в группе.

При выборе числа разбиений следует отдавать предпочтение тем шагам, при которых выделение нового сегмента существенно уменьшает разнородность данных. Для этого рекомендуется последовательно протестировать несколько вариантов разбиений для каждого дерева и выбрать наилучший.

Оценка однородности выделенных сегментов может проводиться на основе коэффициента разнородности Джини или показателя энтропии. В случае предсказания непрерывных зависимых переменных, как в исследуемой ситуации, однородность измеряется величиной квадратической ошибки.

В табл. 1 представлен перечень возможных независимых переменных для решения задач классификации и прогнозирования на основе модели деревьев решений.

Таблица 1

Независимые переменные по наборам данных об эндопротезировании

Наименование переменной	Значение	Тип переменной
1. Причина замены сустава	Заболевание, перелом, врожденные патологии	Качественный
2. Вариант эндопротезирования	Тотальное, частичное	Качественный
3. Технология крепления	Цементная, бесцементная, гибридная	Качественный
4. Материал пары трения	Металл–полиэтилен, керамика–полиэтилен, металл–металл, керамика–керамика	Качественный
5. Возраст	До 55 лет, после 55 лет	Количественный
6. Сопутствующие заболевания	По факту	Качественный
7. Состояние костной ткани	По факту	Качественный
8. Цена эндопротеза и стоимость сопутствующих материалов	По факту	Количественный

В процессе классификации множество данных разбивается на области в соответствии с выбранными значениями узлов (правил разделения). Пример выделения областей данных по результатам разбиения для двумерного пространства признаков (переменных) показан на рис. 2.

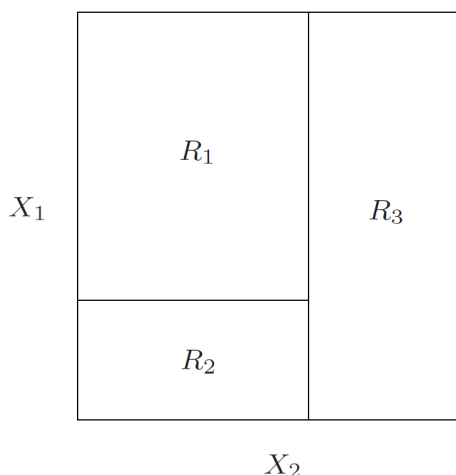


Рис. 2. Разбиение двумерного пространства признаков X_1 и X_2 на три области R_1 , R_2 и R_3 , соответствующих конечным узлам (листьям) дерева решений

Разбиение на рис. 2 можно интерпретировать следующим образом. Если переменная X_2 находится ниже некоторого порогового значения, действие фактора X_1 будет приводить к результатам R_1 и R_2 в заданной пропорции. В противном случае результат будет равен R_3 .

Для прогнозирования непрерывных зависимых переменных построение дерева решений происходит в форме деревьев регрессий [14]. Общая последовательность шагов при построении дерева регрессий имеет вид:

- разбиение пространства переменных $X_1, \dots, X_n$ на k непересекающихся областей $R_1, \dots, R_k$;
- для любых наборов данных, отнесенных к некоторой области R_i , прогнозное значение находится в виде средней величины отклика по обучающей выборке;
- предпочтительно первоначально построить большое дерево решений и в дальнейшем провести обрезку его ветвей, что позволяет регулировать уровень квадратической ошибки.

На практике прогнозирование на базе деревьев решений обычно показывает лучшие результаты, если используются ансамбли моделей, т.е. наборы деревьев решений в виде случайных лесов или бэггинга, полученные в результате последовательного отбора и данных, и переменных [13, 15].

В качестве альтернативного инструмента прогнозирования объема и структуры продаж на рынке эндопротезирования можно принять еще одну модель машинного обучения – логистическую регрессию [16].

Бинарная логистическая регрессия может быть использована для оценки вероятности некоторого события в диапазоне от 0 до 1. Она позволяет спрогнозировать вероятность выбора конкретной технологии или производителя изделия на рынке эндопротезирования по набору исходных признаков. Для этого используется логит-преобразование, которое позволяет отобразить вероятность на расширенную шкалу, подходящую для линейного моделирования. Логит-преобразование имеет вид [16]

$$f(x) = (1 + \exp(-q))^{-1}, \quad (1)$$

где $f(x)$ – логистическая функция, принимающая значение в диапазоне от 0 до 1; q – линейная функция предиктивных переменных, которая находится из соотношения:

$$q = g_0 + g_1x_1 + g_2x_2 + \dots + g_mx_m, \quad (2)$$

где $g_0, g_1, \dots, g_m$ – параметры регрессионной модели; x_1, x_2, x_m – значения предиктивных переменных.

В качестве факторов модели для оценки вероятности выбора конкретной технологии могут быть приняты переменные из табл. 1.

Более общим вариантом является использование мультиномиальной логистической регрессии (модели с множественным откликом). В этом случае зависимая переменная не будет бинарной, а будет иметь больше двух категорий, отражающих различные варианты эндопротезирования. При использовании логистической регрессии прямое решение отсутствует, и подгонка модели осуществляется на базе метода максимального правдоподобия.

Результаты и обсуждение

Реализация представленных моделей машинного обучения требует наличия минимального объема данных в виде выборки по реальным операциям эндопротезирования (количество операций за определенный срок, их пространственное распределение) и при наличии сведений по независимым переменным. В этом случае модели последовательно тестируются на двух наборах данных – обучающем и тестовом. Оба получены из исходного набора данных. Лучшая модель выбирается исходя из минимизации ошибки прогноза на тестовом наборе данных. С целью повышения точности прогнозных моделей проводят кросс-валидацию за счет разделения набора данных на несколько блоков для поочередной проверки [13, 15].

Сегодня подобное моделирование может быть выполнено с использованием готовых библиотек машинного обучения в рамках свободно распространяемых языков программирования R и Python. В качестве альтернативы может использоваться открытая платформа Microsoft Azure Machine Learning Studio, на базе которой можно протестировать различные варианты и конфигурации моделей и выбрать тот вариант, который обладает лучшим качеством подгонки.

В любом случае для моделирования с использованием методов машинного обучения применяются большие наборы данных. Сбор информации может осуществляться на базе медицинских информационных систем, аккумулирующих детальные данные о пациентах и выполненных операциях эндопротезирования, включая наименование производителя изделия и его технико-экономические характеристики. Такой подход становится стандартной практикой в большинстве стран и используется для построения систем предсказательной аналитики [17, 18].

Заключение

Таким образом, применение методов анализа данных и машинного обучения дает возможность:

- повысить качество получаемых прогнозов;
- выявить наличие скрытой структуры данных, которая обычно теряется при отборе переменных и их агрегировании;

– за счет последовательного комбинирования прогнозов, полученных на основе разных методов, более эффективно структурировать в модели влияние специфических для рынка эндопротезирования факторов.

В свою очередь, это способно повысить эффективность решений о способах позиционирования и продвижения эндопротезов на рынке, обоснования ценовой и сбытовой политики на рынке эндопротезирования крупных суставов человека.

Список литературы

1. Ferguson R. J., Palmer A. J., Taylor A. [et al.]. Hip replacement // Lancet. 2018. Vol. 392, № 10158. P. 1662–1671.
2. Hip Replacement Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, by Procedure, by End User and Regional Forecast (2021 to 2028). URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/hip-replacement-implants-market-100247> (дата обращения: 10.04.2021).
3. Текущая ситуация на рынке эндопротезов суставов в России. URL: <https://drgroup.ru/press-relizy/2070-tekushchaya-situatsiya-na-rynke-endoprotezov-sustavov-v-rossii.html> (дата обращения: 18.04.2021).
4. Безуглова В. Эндопротезы возвращаются на родину // Эксперт. 2020. № 30. С. 34–35.
5. Белостоцкая С. Лист ожидания // Коммерсант, «Здравоохранение», Приложение № 88 от 24.05.2018. С.14.
6. Schwartz A. M., Farley K., Guild G. N., Bradbury T. L. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030 // The Journal of Arthroplasty. 2020. Vol. 35, № 6S. P. 79–85.
7. Robotics in Knee and Hip Arthroplasty: Current Concepts, Techniques and Emerging Uses / ed. Jess H. Lonner. Springer, 2019. 252 p.
8. Daim T. U., Behkami N., Basoglu N. [et al.]. Healthcare Technology Innovation Adoption. Springer, 2016. 257 p.
9. Reinhardt R., Hietschold N., Spyridonidis D. Adoption and Diffusion of Innovations in Health Care / Challenges and Opportunities in Health Care Management, ed. S. Gurtner, K. Soye. Springer, 2015. P. 211–221.
10. Park Y., Yoon B., Kim M.-S. On the Selection of Growth-Curve Models for Forecasting the Diffusion of IT Technologies // Journal of Scientific and Industrial Research. 2000. Vol. 59. P. 912–918.
11. Ko Y.-H., Hong S. P., Jun C. H. On Parameter Estimation of Growth Curves for Technological Forecasting by Using Non-linear Least Squares // Management Science and Financial Engineering. 2008. Vol. 14, № 2. P. 89–104.
12. Homer C., Bates L. Market sizing and forecasting in the medical device & diagnostic markets (MD&D). URL: https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-11/ipsos_paper_mdd_market_sizing_forecasting_november_2020.pdf (дата обращения: 15.05.2021).
13. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2009. 767 p.
14. Loh W.Y. Classification and regression trees // Data Mining and Knowledge Discovery. 2011. Vol. 1, № 1. P. 14–23.
15. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. Foundations of Machine Learning. MIT Press, 2018. 432 p.
16. Hilbe J. M. Logistic Regression Models. CRC Press, 2009. 656 p.
17. Sidey-Gibbons J. A. M., Sidey-Gibbons C. J. Machine learning in medicine: a practical introduction // BMC Medical Research Methodology. 2019. Vol. 19. P. 1–18.

18. Altmann-Richer L. Using Predictive Analytics to Improve Health Care Demand Forecasting. URL: <https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/Using%20Predictive%20Analytics%20to%20Improve%20Health%20Care%20Demand%20Forecasting%202018.pdf> (дата обращения: 17.05.2021).

References

1. Ferguson R.J., Palmer A.J., Taylor A. [et al.]. Hip replacement. *Lancet*. 2018; 392(10158):1662–1671.
2. *Hip Replacement Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, by Procedure, by End User and Regional Forecast (2021 to 2028)*. Available at: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/hip-replacement-implants-market-100247> (accessed 10.04.2021).
3. *Tekushchaya situatsiya na rynke endoprotezov sustavov v Rossii = The current situation on the market of endoprotheses of joints in Russia*. (In Russ.). Available at: <https://drgroup.ru/press-relizy/2070-tekushchaya-situatsiya-na-rynke-endoprotezov-sustavov-v-rossii.html> (accessed 18.04.2021).
4. Bezuglova V. Endoprotheses are returning to their homeland. *Ekspert = Expert*. 2020;(30):34–35. (In Russ.)
5. Belostotskaya S. Waiting list. *Kommersant*, «Zdravookhranenie», *Prilozhenie № 88 ot 24.05.2018. S.14. = Kommersant, "Healthcare", Appendix No. 88 of 24.05.2018. p.14.* (In Russ.)
6. Schwartz A.M., Farley K., Guild G.N., Bradbury T.L. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030. *The Journal of Arthroplasty*. 2020;35(6S):79–85.
7. Lonner Jess H. (ed.). *Robotics in Knee and Hip Arthroplasty: Current Concepts, Techniques and Emerging Uses*. Springer, 2019:252.
8. Daim T.U., Behkami N., Basoglu N. [et al.]. *Healthcare Technology Innovation Adoption*. Springer, 2016:257.
9. Reinhardt R., Hietschold N., Spyridonidis D. *Adoption and Diffusion of Innovations in Health Care*. Challenges and Opportunities in Health Care Management, ed. S. Gurtner, K. Soye. Springer, 2015:211–221.
10. Park Y., Yoon B., Kim M.-S. On the Selection of Growth-Curve Models for Forecasting the Diffusion of IT Technologies. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2000;59:912–918.
11. Ko Y.-H., Hong S.P., Jun C.H. On Parameter Estimation of Growth Curves for Technological Forecasting by Using Non-linear Least Squares. *Management Science and Financial Engineering*. 2008;14(2):89–104.
12. Homer C., Bates L. *Market sizing and forecasting in the medical device & diagnostic markets (MD&D)*. Available at: https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-11/ipsos_paper_mdd_market_sizing_forecasting_november_2020.pdf (accessed 15.05.2021).
13. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning*. Springer, 2009:767.
14. Loh W.Y. Classification and regression trees. *Data Mining and Knowledge Discovery*. 2011;1(1):14–23.
15. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. *Foundations of Machine Learning*. MIT Press, 2018:432.
16. Hilbe J.M. *Logistic Regression Models*. CRC Press, 2009:656.
17. Sidey-Gibbons J.A.M., Sidey-Gibbons C.J. Machine learning in medicine: a practical introduction. *BMC Medical Research Methodology*. 2019;19:1–18.

18. Altmann-Richer L. *Using Predictive Analytics to Improve Health Care Demand Forecasting*. Available at: [https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/Using %20Predictive %20Analytics %20to %20Improve %20Health %20Care %20Demand %20Forecasting %202018.pdf](https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/Using%20Predictive%20Analytics%20to%20Improve%20Health%20Care%20Demand%20Forecasting%202018.pdf) (accessed 17.05.2021).

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Вячеславовна Маланьина

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

Irina V. Malanyina

Master degree student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Андрей Сергеевич Похвалов

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры экономики и финансов,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ecifin@mail.ru

Andrey S. Pokhvalov

Candidate of economical sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of economics and finance,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 12.09.2021

Поступила после рецензирования/Revised 14.10.2021

Принята к публикации/Accepted 04.11.2021

Раздел 2 МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

Section 2 MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

УДК 004.934
doi:10.21685/2227-8486-2021-4-5

СПОСОБ СЕГМЕНТАЦИИ РЕЧЬ/ПАУЗА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА ТИГЕРА

А. К. Алимуратов

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
alansapfir@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Сегментация речи на вокализованные, невокализованные участки и паузы является основной задачей практически для всех речевых приложений. Особенно это важно в системах оценки психоэмоционального состояния человека по речи, так как длительности вокализованных, невокализованных участков и пауз являются информативными параметрами, релевантными естественно выраженным эмоциям человека. *Материалы и методы.* Использовался дифференциальный энергетический оператор Тигера 2-го порядка, обладающий хорошей восприимчивостью к изменению амплитуды и частоты сигнала. Способ реализован посредством программы © Matlab (MathWorks). *Результаты.* Разработан способ сегментации речь/пауза, суть которого заключается в линейном разделении речевого сигнала на фрагменты, вычислении энергетической характеристики с помощью энергетического оператора Тигера, вычислении значений кратковременной энергии и определении статуса «речь/пауза» фрагментов на основе рассчитанных пороговых значений кратковременной энергии. Проведено исследование разработанного способа, в рамках которого оценивалась эффективность сегментации речь/пауза в сравнении с классическим способом на основе анализа кратковременной энергии. *Выводы.* В соответствии с полученными результатами исследований отмечается повышение эффективности сегментации речь/пауза на 5,26 % и 5,51 % для ошибок 1-го и 2-го рода соответственно. Предложенный способ сегментации речь/пауза может успешно тестироваться в системах оценки психоэмоционального состояния человека, так как обладает хорошей восприимчивостью к резким изменениям амплитуды и частоты сигнала в условиях нестабильной моторики речевого аппарата.

Ключевые слова: обработка речевых сигналов, сегментация речи, вокализованная и невокализованная речь, кратковременная энергия, энергетический оператор Тигера

© Алимуратов А. К., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Алимуратов А. К. Способ сегментации речь/пауза на основе энергетического оператора Тигера // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 52–63. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-5

SPEECH/PAUSE SEGMENTATION METHOD BASED ON TEAGER ENERGY OPERATOR

A.K. Alimuradov

Penza State University, Penza, Russia
alansapfir@yandex.ru

Abstract. *Background.* Speech segmentation into voiced, unvoiced sections and pauses is the key task for the majority of speech applications. This is especially important in systems for assessing human psycho-emotional state by speech, since duration of voiced, unvoiced sections and pauses are informative parameters being relevant to naturally expressed human emotions. *Materials and methods.* The second-order differential Teager energy operator was used, which has a good amplitude that is highly susceptible to changes in signal amplitude and frequency. The method is implemented by means of the program © Matlab (MathWorks). *Results.* There has been developed a method for speech/pause segmentation to linearly divide a speech signal into fragments, to calculate the energy characteristic using the Teager energy operator, to calculate the values of short-term energy, and determine the «speech/pause» status of fragments based on the calculated threshold values of the short-term energy. There has been carried out a research on the developed method to assess the effectiveness of speech/pause segmentation over the classical method based on the analysis of short-term energy, has been carried out. *Conclusions.* In accordance with the obtained research results, there is an increase in the efficiency of speech/pause segmentation by 5.26 % and 5.51 % for the 1st and 2nd kind errors, respectively. The proposed speech/pause segmentation method can be effectively tested in systems for assessing human psycho-emotional state due to its good susceptibility to sudden changes in signal amplitude and frequency with unstable vocal motor skills.

Keywords: speech signal processing, speech segmentation, voiced and unvoiced speech, Short-Time Energy, Teager Energy Operator

For citation: Alimuradov A.K. Speech/pause segmentation method based on teager energy operator. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;(4):52–63. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-5

Введение

В соответствии с физиологией речевого аппарата слитная речь человека состоит из следующих информативных участков: дыхание и паузы, вокализованная и невокализованная речь. Задача сегментации речь/пауза представляет собой классификацию информативных участков, характеризующихся определенной длительностью. Длительности участков дыхания и пауз, вокализованной и невокализованной речи являются важными информативными параметрами речи, релевантными естественно выраженным эмоциям человека [1].

В настоящее время задача сегментации речь/пауза решается разными подходами. Наиболее распространенными являются способы, реализованные с помощью анализа значений:

- кратковременной энергии (Short Time Energy, STE) [2];

– количества пересечения сигнала через нулевую ось (Zero-Crossing Rate, ZCR) [3].

Однако данные способы становятся малоэффективны при повышении уровня окружающего шума. Относительной помехоустойчивостью обладают способы сегментации, реализованные с помощью анализа:

- спектральных характеристик [5];
- мел-частотных кепстральных коэффициентов и их первого и второго приращений (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, MFCC) [8];
- мощности в ограниченном диапазоне частот [6];
- отклонения автокорреляционной функции (Autocorrelation Function, ACR) [4];
- одномерного расстояния Махаланобиса (One Dimensional Mahalanobis Distance, ODMD) [7].

Также для повышения устойчивости к шуму в некоторых способах сегментации анализируются несколько упомянутых выше акустических характеристик в сочетании с алгоритмами моделирования, такими как искусственная нейронная сеть (Artificial Neural-Network, ANN) [9] и дерево классификации и регрессии (Classification and Regression Tree, CART) [10].

В данной статье представлен способ сегментации речь/пауза, основанный на анализе фрагментов речи посредством энергетического оператора Тигера (Teager energy operator, TEO) [11] с последующим анализом значений STE. В последнее время TEO широко применяется в задачах обработки речевых сигналов [12, 13].

Статья является результатом научной работы, посвященной разработке новых высокоэффективных способов сегментации речи на информативные участки [14, 15].

Сегментация на основе анализа кратковременной энергии

Значение STE определяется по следующей формуле:

$$E_s = \sum_{n=-\infty}^{\infty} [x(n)w(s-n)]^2, \quad (1)$$

где $x(n)$ – исследуемый речевой сигнал; n – дискретный отсчет времени; s – номер фрагмента; $w(k)$ – функция анализируемого окна.

Для прямоугольного анализируемого окна формула (1) принимает следующий вид:

$$E_s = \sum_{n=1}^N [x(s-1)N+n]^2, \quad (2)$$

где N – количество дискретных отсчетов во фрагменте.

Способ сегментации речь/пауза на основе анализа STE построен на предположении, что значение STE участков речи больше, чем энергия пауз с фоновым шумом. В работе М. А. Гринвуда и А. Кингхорна [16] представлены и обоснованы пороговые значения STE, соответствующие вокализованной, невокализованной речи и паузам. Точность сегментации составила 65 % в сравнении с сегментацией, осуществленной вручную.

Энергетический оператор Тигера

ТЕО – дифференциальный энергетический оператор 2-го порядка, позволяющий оценивать энергетические характеристики сигнала. Решение задачи сегментации речь/пауза с помощью ТЕО представлено в работах В. Я. Жуйкова и А. Н. Харченко и др. [17, 18]. Для дискретных сигналов функция ТЕО имеет следующий вид:

$$\text{ТЕО}(n) = x(n)^2 - x(n-1)x(n+1). \quad (3)$$

При эмоциональном возбуждении вследствие неполного смыкания голосовых связок работа речевого аппарата человека характеризуется нерегулярностью. Предполагается, что хорошая восприимчивость ТЕО к резкому изменению амплитуды и частоты сигнала обеспечит высокую точность сегментации речь/пауза даже в условиях нестабильной моторики речевого аппарата.

Описание способа сегментации речь/пауза

Структурно предложенный способ сегментации речь/пауза представлен на рис. 1.

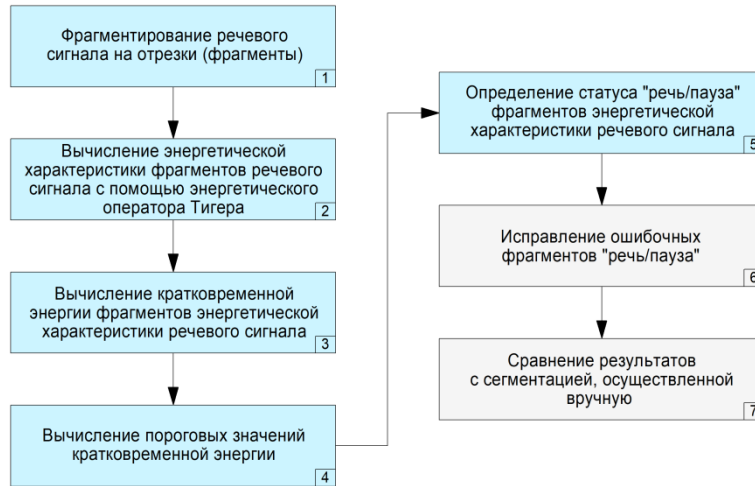


Рис. 1. Структура способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа фрагментов речевого сигнала с помощью ТЕО и STE

Блок 1. Фрагментирование речевого сигнала на отрезки (фрагменты) равной длительности осуществляется по формулам:

$$S = \frac{x(n)}{L}, \quad (4)$$

$$x_{s+1}[n_{first} : n_{final}] = x[(sL) + 1 : (s+1)L], \quad (5)$$

где S – количество фрагментов; $x(n)$ – исследуемый речевой сигнал; L – количество дискретных отсчетов времени в одном фрагменте; $s = 0, 1, 2, \dots S$ – номер фрагмента, n_{first} – первый дискретный отсчет фрагмента; n_{final} – последний дискретный отсчет фрагмента.

Блоки 2, 3. Вычисление энергетической характеристики речевого сигнала с помощью ТЕО, а также значений STE фрагментов энергетической характеристики осуществляется по формулам (2) и (3) соответственно.

Блок 4. В соответствии с физиологией воспроизведения речи человек перед произношением выдерживает вынужденную начальную паузу длительностью не менее 200 мс, которая соответствует фоновому шуму. Начальная пауза используется в качестве исходных данных для формирования пороговых значений STE. По аналогии с методикой, представленной в работе С. Чакроборти и др. [19], вычисляются математическое ожидание μ_E и дисперсия σ_E значений STE для фрагментов, соответствующих начальной паузе 200 мс (фоновому шуму):

$$\mu_E = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S E_s, \quad (6)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{s=1}^S (E_s - \mu_E)^2}, \quad (7)$$

где E_s – значение STE исследуемого фрагмента; S – количество фрагментов, соответствующих фоновому шуму.

Блок 5. Определение статуса «речь/пауза» фрагментов заключается в проверке следующего условия:

$$|E_s - \mu_E| \geq K \sigma_E, \quad (8)$$

где выражение $|E_s - \mu_E|$ является естественной мерой одномерного расстояния Махаланобиса [19] от текущего значения кратковременной энергии фрагмента E_s к среднему значению кратковременной энергии фрагментов μ_E , соответствующих фоновому шуму; K – коэффициент порога, численная вероятность которого подчиняется следующим выражениям: $|E_s - \mu_E| \leq \sigma = 0,68$, $|E_s - \mu_E| \leq 2\sigma = 0,95$ и $|E_s - \mu_E| \leq 3\sigma = 0,997$ (K всегда больше 1).

Если разница между текущим и средним значениями STE больше или равна $K\sigma_E$, то фрагмент соответствует речи. И наоборот, если условие не выполняется, то фрагмент соответствует паузе.

Блок 6. В основе исправления ошибок сегментации (поиска некорректно определенных фрагментов речь/пауза) заложен следующий физиологический аспект: невозможность человеком кратковременно изменять воспроизводимую речь на паузу и наоборот (в течение 20 мс). На рис. 2 представлен пример, иллюстрирующий ошибки сегментации речь/пауза.

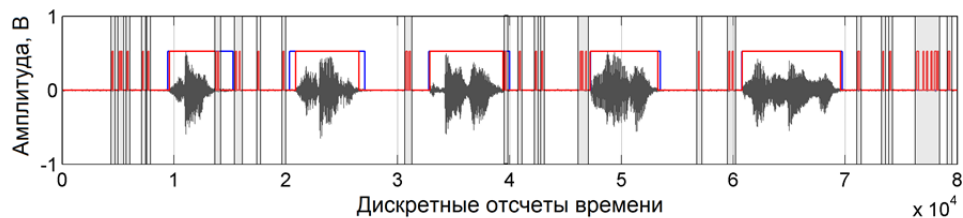


Рис. 2. Ошибки сегментации речь/пауза (линией красного цвета обозначен результат сегментации, линией синего цвета – результат сегментации, осуществленной вручную, фоном серого цвета обозначены некорректно определенные фрагменты)

Блок 7. Вручную сегментация речевых сигналов на информативные участки осуществлялась посредством многоплатформенного аудиоредактора звуковых файлов «Audacity» (производитель «Audacity Team», audacityteam.org).

Исследование способа сегментации речь/пауза

Для оценки предложенного способа сегментации речь/пауза сформирована база речевых сигналов. Количество дикторов – 20 человек из числа мужчин и женщин. Регистрация осуществлялась в обычном лабораторном помещении без специальных средств звукоизоляции и шумоподавления. Психологическое состояние дикторов – условно нейтральное. Параметры и пространственные характеристики микрофона не изменялись для всех регистрируемых дикторов.

Для оценки эффективности предложенного способа сегментации речь/пауза вычислялись значения ошибок 1-го (α) и 2-го (β) рода. В рамках исследования предложенного способа оценивалось влияние коэффициента порога на эффективность сегментации речь/пауза в сравнении со способом на основе анализа значений STE.

В табл. 1 представлены усредненные значения ошибок 1-го и 2-го рода для способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE и предложенного способа. Фоном зеленого цвета отмечены наилучшие достигнутые результаты сегментации речь/пауза. Фоном синего цвета отмечены значения ошибок 1-го и 2-го рода, которые необходимо детализировать.

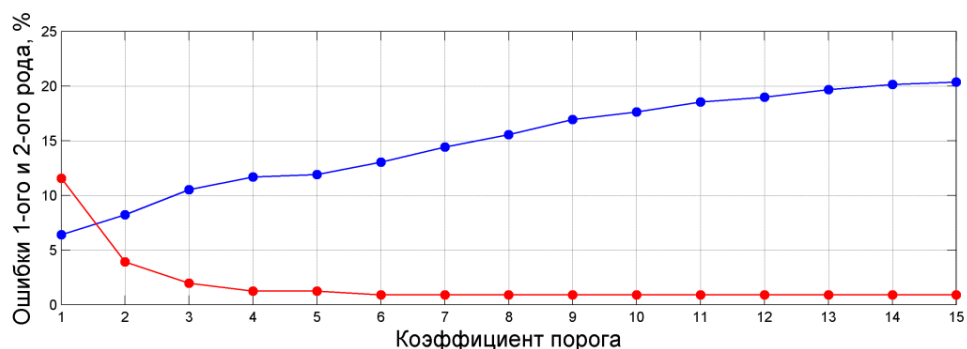
Результаты и обсуждение

В соответствии с данными из табл. 1 на рис. 3 представлены кривые зависимости ошибок 1-го и 2-го рода от коэффициента порога для способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE и предложенного способа.

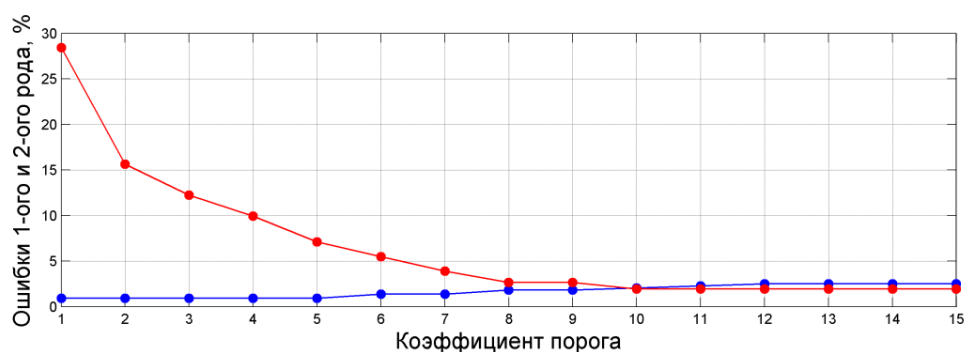
Таблица 1

Усредненные значения ошибок 1-го и 2-го рода для способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE и способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью TEO и STE

Способ сегментации	Ошибка, %	Значение коэффициента порога														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Способ сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE	α	6,41	8,24	10,53	11,67	11,90	13,04	14,42	15,56	16,93	17,62	18,54	18,99	19,68	20,14	20,37
	β	11,55	3,91	1,95	1,24	1,24	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Способ сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью TEO и STE	α	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	1,37	1,37	1,83	1,83	2,06	2,29	2,52	2,52	2,52	2,52
	β	28,42	15,63	12,26	9,95	7,10	5,51	3,91	2,66	2,66	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95



а)



б)

Рис. 3. Зависимость ошибок 1-го и 2-го рода от коэффициента порога:
 а – способ сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE; б – способ сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью ТЕО и STE (линией синего цвета обозначены значения ошибок 1-го рода, линией красного цвета – значения ошибок 2-го рода)

Анализ полученных результатов в табл. 1 и кривых зависимостей на рис. 3 выявил, что наиболее оптимальные значения ошибок 1-го (2,06 %) и 2-го рода (1,95 %) достигаются предложенным способом при значении коэффициента порога равном 10.

Для способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE оптимальные значения ошибок 1-го и 2-го рода достигаются при значении коэффициента порога от 1 до 2 и находятся в промежутках 6,41–8,24 % и 3,91–11,55 % соответственно. В табл. 2 представлены детализированные усредненные значения ошибок 1-го и 2-го рода для способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE для значений коэффициента порога от 1 до 2 с шагом 0,1.

В соответствии с данными в табл. 2 и кривыми зависимости на рис. 4 следует, что наиболее оптимальные значения ошибок 1-го (7,32 %) и 2-го рода (7,46 %) для способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE достигаются при значении коэффициента порога равном 1,7.

Таблица 2

Детализированные усредненные значения ошибок 1-го и 2-го рода
для способа сегментации речь/пауза на основе
энергетического анализа с помощью STE

Способ сегментации	Ошибка, %	Значение коэффициента порога										
		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Способ сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE	α	7,32	7,32	7,32	7,32	7,32	7,32	7,32	7,32	7,78	7,78	7,78
	β	7,82	7,82	7,82	7,82	7,82	7,82	7,82	7,46	7,28	7,28	7,10

На рис. 4 представлены кривые зависимости ошибок 1-го и 2-го рода от коэффициента порога.

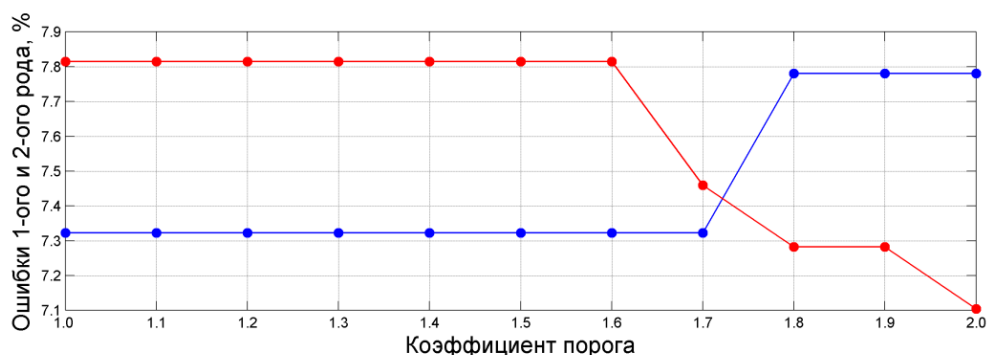


Рис. 4. Зависимость ошибок 1-го и 2-го рода от коэффициента порога для способа сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE (линией синего цвета обозначены значения ошибок 1-го рода, линией красного цвета – значения ошибок 2-го рода)

На рис. 5 представлен пример, иллюстрирующий результаты сегментации речь/пауза.

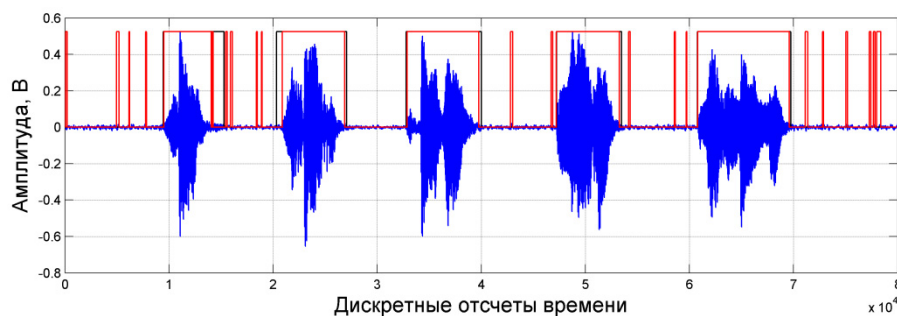
Выводы и перспективы

Подводя итоги анализа, можно сделать следующие выводы:

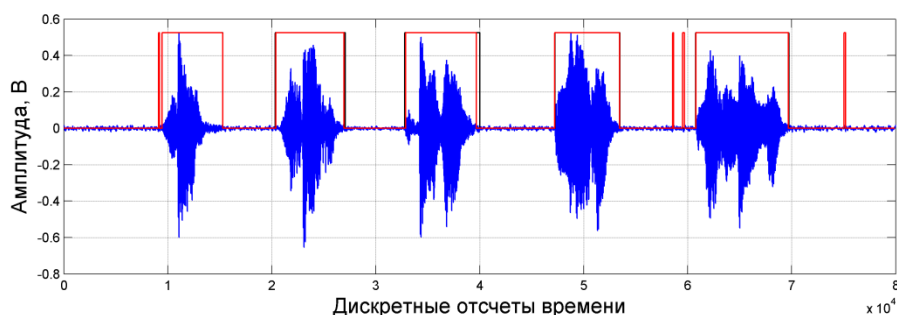
1. При сравнении оптимальных значений ошибок 1-го и 2-го рода предложенный способ на основе энергетического анализа с помощью ТЕО и STE обеспечивает повышение эффективности сегментации речь/пауза на 5,26 % и 5,51 % соответственно. Это обеспечивается за счет хорошей восприимчивости ТЕО к резким изменениям амплитуды и частоты сигнала.

2. Детализированный анализ результатов сегментации речь/пауза, выявил, что ошибки сегментации 1-го рода в основном наблюдаются в пограничных областях между участками речи и пауз (см. рис. 5). Ошибочно сегментированные участки имеют длительность менее 20 мс. Следовательно, мелкими ошибками сегментации в пограничных областях можно пренебречь.

3. Предложенный способ сегментации речь/пауза может успешно тестироваться в системах оценки психоэмоционального состояния человека, так как обладает хорошей восприимчивостью к резким изменениям амплитуды и частоты сигнала в условиях нестабильной моторики речевого аппарата.



а)



б)

Рис. 5. Пример, иллюстрирующий результаты сегментации речь/пауза: а – способ сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью STE; б – способ сегментации речь/пауза на основе энергетического анализа с помощью ТЕО и STE (линией красного цвета обозначены достигнутые результаты сегментации, линией черного цвета – результат сегментации, осуществленной вручную)

В перспективе планируется провести дополнительное исследование помехоустойчивости и быстродействия предложенного способа сегментации речь/пауза.

Список литературы

1. Schuller B. W., Batliner A. M. Computational Paralinguistics: Emotion, Affect and Personality in Speech and Language Processing // New York : Wiley, 2013. P. 344.
2. Childers D. G., Hand M., Larar J. M. Silent and voiced/unvoiced/ mixed excitation (four-way), classification of speech // IEEE Transaction on ASSP. 1989. Vol. 37, № 11. P. 1771–1774.
3. Atal B., Rabiner L. R. A pattern recognition approach to voiced unvoiced-silence classification with applications to speech recognition // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. 1976. Vol. 24, № 3. P. 201–212.

4. Kristjansson T., Deligne S., Olsen P. Voicing features for robust speech detection // INTERSPEECH 2005 – Eurospeech, 9th European Conference on Speech Communication and Technology (September 4–8, 2005). Lisbon, Portugal : IEEE, 2005. P. 369–372.
5. Martin A., Charlet D., Mauuary L. Robust speech/non-speech detection using LDA applied to MFCC // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No.01CH37221) (ICASSP2001) (May 7–11, 2001). Salt Lake City, UT, USA, 2001. Vol. 1. P. 237–240.
6. Marzinik M., Kollmeier B. Speech pause detection for noise spectrum estimation by tracking power envelope dynamics // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. 2002. № 10. P. 109–118.
7. Huang X., Acero A., Hon H.-W. Spoken Language Processing. Guide to Algorithms and System Developmen. New Jersey : Prentice Hall, 2001. 980 p.
8. Duda R. O., Hart P. E., Strok D. G. Pattern Classification. 2nd ed. New Jersey : A Wiley-Interscience Publ. John Wiley & Sons, Inc., 2001. 688 p.
9. Shin W. H., Lee B. S., Lee Y. K., Lee J. S. Speech/non-speech classification using multiple features for robust endpoint detection // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing : proceedings (Cat. No.00CH37100) (June 5–9, 2000). Istanbul, Turkey : IEEE, 2000. Vol. 1. P. 1399–1402.
10. Wuand G. D., Lin C. T. Word boundary detection with mel scale frequency bank in noisy environment // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. 2000. Vol. 8, № 5. P. 541–554.
11. Kaiser J. F. On a simple algorithm to calculate the ‘energy’ of a signal // International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (April 3–6, 1990). Albuquerque, NM, USA : IEEE, 1990. Vol. 2. P. 381–384.
12. Abu-Shikhah N., Deriche M. A novel pitch estimation technique using the Teager energy // International Symposium on Signal Processing and Its Applications (ISSPA) (IEEE Cat. No.99EX359) (Aug. 22–25, 1999). Brisbane, Queensland, Australia : IEEE, 1999. Vol. 1. P. 135–138.
13. Kvedalen E. Signal Processing Using the Teager Energy Operator and Other Nonlinear Operators : PhD dissertation, Department of Informatics. Oslo : University of Oslo, 2003. 121 p.
14. Алимуратов А. К., Тычков А. Ю., Чураков П. П., Торгашин С. И. Способ сегментации речевого сигнала для систем оценки психогенных состояний // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2017. № 3. С. 81–93.
15. Алимуратов А. К., Тычков А. Ю., Чураков П. П. Способ автоматизированной сегментации речевых сигналов для определения временных паттернов естественно выраженных психоэмоциональных состояний // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 3. С. 48–60.
16. Greenwood M. A., Kinghorn A. SUVing: automatic silence/unvoiced/voiced classification of speech // Undergraduate Coursework, Department of Computer Science, The University of Sheffield, UK, 1999. 4 p.
17. Жуйков В. Я., Харченко А. Н. Алгоритм классификации сегментов речевого сигнала // Электроника и Связь, тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». 2009. Ч. 1, № 2–3. С. 130–137.
18. Bahoura M., Rouat J. Wavelet speech enhancement based on the teager energy operator // IEEE Signal Processing Letter. 2001. Vol. 8, № 1. P. 10–12.
19. Saha G., Chakroborty S., Senapat S. A new silence removal and endpoint detection algorithm for speech and speaker recognition applications // Eleventh National Conference on Communications (NCC-2005) (Jan. 28–30, 2005). Kharagpur, India : IEEE, 2005. P. 51–61.

References

1. Schuller B.W., Batliner A.M. *Computational Paralinguistics: Emotion, Affect and Personality in Speech and Language Processing*. New York: Wiley, 2013:344.
2. Childers D.G., Hand M., Larar J.M. Silent and voiced/unvoiced/ mixed excitation (four-way), classification of speech. *IEEE Transaction on ASSP*. 1989;37(11):1771–1774.
3. Atal B., Rabiner L.R. A pattern recognition approach to voiced unvoiced-silence classification with applications to speech recognition. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*. 1976;24(3):201–212.
4. Kristjansson T., Deligne S., Olsen P. Voicing features for robust speech detection. *INTERSPEECH 2005 – Eurospeech, 9th European Conference on Speech Communication and Technology (September 4–8, 2005)*. Lisbon, Portugal: IEEE, 2005:369–372.
5. Martin A., Charlet D., Mauuary L. Robust speech/non-speech detection using LDA applied to MFCC. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No.01CH37221) (ICASSP2001) (May 7–11, 2001)*. Salt Lake City, UT, USA, 2001;1:237–240.
6. Marzinik M., Kollmeier B. Speech pause detection for noise spectrum estimation by tracking power envelope dynamics. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*. 2002;(10):109–118.
7. Huang X., Acero A., Hon H.-W. *Spoken Language Processing. Guide to Algorithms and System Developmen*. New Jersey: Prentice Hall, 2001:980.
8. Duda R.O., Hart P.E., Strok D.G. *Pattern Classification*. 2nd ed. New Jersey: A Wiley-Interscience Publ. John Wiley & Sons, Inc., 2001:688.
9. Shin W.H., Lee B.S., Lee Y.K., Lee J.S. Speech/non-speech classification using multiple features for robust endpoint detection. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing: proceedings (Cat. No.00CH37100) (June 5–9, 2000)*. Istanbul, Turkey: IEEE, 2000;1:1399–1402.
10. Wuand G.D., Lin C.T. Word boundary detection with mel scale frequency bank in noisy environment. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*. 2000;8(5):541–554.
11. Kaiser J.F. On a simple algorithm to calculate the ‘energy’ of a signal. *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (April 3–6, 1990)*. Albuquerque, NM, USA: IEEE, 1990;2:381–384.
12. Abu-Shikhah N., Deriche M. A novel pitch estimation technique using the Teager energy. *International Symposium on Signal Processing and Its Applications (ISSPA) (IEEE Cat. No.99EX359) (Aug. 22–25, 1999)*. Brisbane, Queensland, Australia: IEEE, 1999;1:135–138.
13. Kvedalen E. *Signal Processing Using the Teager Energy Operator and Other Nonlinear Operators: PhD dissertation, Department of Informatics*. Oslo: University of Oslo, 2003:121.
14. Alimuradov A.K., Tychkov A.Yu., Churakov P.P., Torgashin S.I. A method of segmentation of a speech signal for systems of assessment of psychogenic states. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = The institutions of higher education. Volga region. Technical sciences*. 2017;(3):81–93. (In Russ.)
15. Alimuradov A.K., Tychkov A.Yu., Churakov P.P. Method of automated segmentation of speech signals for determining time patterns of naturally expressed psychoemotional states. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2019;(3):48–60. (In Russ.)
16. Greenwood M.A., Kinghorn A. SUVing: automatic silence/unvoiced/voiced classification of speech. *Undergraduate Coursework, Department of Computer Science, The University of Sheffield, UK*, 1999:4.

17. Zhuykov V.Ya., Kharchenko A.N. Algorithm of classification of speech signal segments. *Elektronika i Svyaz', tematicheskiy vypusk «Elektronika i nanotekhnologii» = Electronics and Communications, thematic issue "Electronics and Nanotechnologies"*. 2009;1(2–3):130–137. (In Russ.)
18. Bahoura M., Rouat J. Wavelet speech enhancement based on the teager energy operator. *IEEE Signal Processing Letter*. 2001;8(1):10–12.
19. Saha G., Chakroborty S., Senapat S. A new silence removal and endpoint detection algorithm for speech and speaker recognition applications. *Eleventh National Conference on Communications (NCC-2005) (Jan. 28–30, 2005)*. Kharagpur, India: IEEE, 2005:51–61.

Информация об авторах / Information about the authors

Алан Казанферович Алимуратов

кандидат технических наук,
директор студенческого
научно-производственного
бизнес-инкубатора,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: alansapfir@yandex.ru

Alan K. Alimuradov

Candidate of technical sciences,
director of student research
and production business incubator,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 07.05.2021

Поступила после рецензирования/Revised 08.09.2021

Принята к публикации/Accepted 24.09.2021

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА ОТ ПОЖАРОВ

М. В. Загуменнова¹, А. А. Порошин², А. Г. Фирсов³

^{1, 2, 3} Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт
противопожарной обороны министерства Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий, Балашиха, Московская область, Россия
^{1, 2, 3} otдел-16@vniipo.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* С введением в действие Федерального закона № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» возникла необходимость разработки методологии определения вреда (ущерба) различного масштаба и тяжести охраняемым законом ценностям, в том числе в области оценок материальных последствий пожаров. В этой связи одной из ключевых целей деятельности органов государственного пожарного надзора является объективная и достоверная оценка материального ущерба пожаров. *Материалы и методы.* В работе исследуются проблемы построения объективной оценки контрольно-надзорной деятельности в области пожарной безопасности на основе статистических данных о материальном ущербе от пожаров. Наряду с этим рассматриваются вопросы, связанные с разработкой расчетных методов по определению материального ущерба от пожаров. *Результаты.* Предложены два расчетных метода по определению материального ущерба от пожаров. *Выводы.* Предложенные методы позволят более полно определять материальный ущерб от пожаров, что будет способствовать, с одной стороны, определению величины реального материального ущерба от пожаров в целом по России, а с другой стороны, более эффективному управлению деятельностью органов государственного пожарного надзора, направленной на минимизацию (сокращение) материального ущерба охраняемым законом ценностей от пожаров.

Ключевые слова: контроль (надзор), материальный ущерб, расчетно-аналитический метод, прямой расчетный метод, эффективность, государственный пожарный надзор

Благодарности: авторы статьи выражают благодарность сотрудникам отдела пожарной статистики научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России за предоставленные статистические материалы.

Для цитирования: Загуменнова М. В., Порошин А. А., Фирсов А. Г. Методологический подход к определению материального ущерба от пожаров // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 64–79. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-6

METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINING MATERIAL DAMAGE FROM FIRES

M.V. Zagumennova¹, A.A. Poroshin², A.G. Firsov³

^{1, 2, 3} All-Russian Order «Badge of Honor» Research Institute of Fire Defense
of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Disaster Management, Balashikha, Moscow Region, Russia

^{1, 2, 3} otchel-16@vniipo.ru

Abstract. *Background.* With the enactment of Federal Law No. 248-FZ «On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation» the need arose to develop a methodology for determining harm (damage) of varying magnitude and severity to legally protected values, including in the area of assessing the material consequences of fires. In this connection, one of the key purposes of activity of state fire supervision authorities is objective and reliable assessment of material damage of fires. *Materials and methods.* In the paper the problems of building of objective estimation of control and supervising activity in the field of fire safety on the basis of statistical data on material damage from fires are investigated. At the same time, the issues related to the development of calculation methods of determining the material damage from fires are considered. *Results.* Two computational methods for determining the material damage from fires are proposed. *Conclusions.* The offered methods will allow to define more fully the material damage from fires, which will contribute, firstly, to determination of the size of the real material damage from fires throughout Russia, and secondly, to more effective management of activity of bodies of the state fire supervision aimed at the minimization (reduction) of material damage from fires.

Keywords: control (supervision), material damage, calculation-analytical method, direct calculation method, efficiency, state fire supervision

Acknowledgment: the authors of the article express their gratitude to the employees of the Fire Statistics Department of the Research Center for Organizational and Management Problems of Fire Safety of the Federal State Budgetary Institution VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the statistical materials provided.

For citation: Zagumennova M.V., Poroshin A.A., Firsov A.G. Methodological approach to determining material damage from fires. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):64–79. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-6

Введение

Вопросы реформирования контрольно-надзорной деятельности (далее – КНД), в том числе и в области пожарной безопасности, относятся к одной из активно обсуждаемых тем как среди экспертного сообщества, так и среди представителей бизнеса и контрольно-надзорных органов [1]. С 1 июля 2021 г. вступил в силу Федеральный закон № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» (далее – Закон № 248-ФЗ), которым установлен новый подход к организации контрольно-надзорной деятельности на основе риск-ориентированного подхода, а также порядок проведения контрольных (надзорных) мероприятий, направленных на снижение административной нагрузки на бизнес [2]. Предложенная в законе модель государственного контроля (надзора) основывается на следующих принципах. Во-первых, основой регулирования рисков причине-

ния вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям должно стать стимулирование добросовестности контролируемых лиц, а также профилактика. Во-вторых, основными механизмами, которые должны обеспечить внедрение данного подхода в практику государственного контроля, должны стать новые методы оценки результативности и эффективности КНД по показателям, характеризующим минимизацию риска причинения вреда (ущерба) [3]. Важно, что Законом № 248-ФЗ предусмотрены деятельность контрольного (надзорного) органа по определению вероятности возникновения риска и масштаба вреда (ущерба) для охраняемых законом ценностей (оценка риска), а также проведение на основе оценки рисков профилактических и контрольных (надзорных) мероприятий в целях обеспечения допустимого уровня риска [4]. Оценка вероятности наступления негативных событий, которые могут повлечь причинение вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям, проводится с учетом предшествующих данных о фактическом причинении вреда (ущерба) вследствие наступления событий, вызванных определенными источниками и причинами возникновения риска причинения вреда (ущерба) с выделением видов объектов контроля, характеризующихся схожей или различной частотой случаев фактического причинения вреда (ущерба).

В развитие положений Закона 248-ФЗ разработана методология [5, 6] и математическая модель [7] отнесения объектов защиты к определенным категориям риска причинения вреда (ущерба) различного масштаба и тяжести охраняемым законом ценностям в результате пожара. В рассматриваемом подходе в качестве показателя последствий причинения вреда (ущерба) рассмотрены жизнь и здоровье граждан. Экономические последствия пожаров не рассмотрены по причине отсутствия в нормативных документах такого показателя, как «допустимый уровень риска» по экономической компоненте последствий пожара. Это связано с тем, что в настоящее время в российской практике отсутствует методология оценки экономических последствий пожара. При этом формирование показателей материальных последствий пожаров основано на учете значений и анализе существующей статистики по пожарам и их последствий.

Проблематика исследования

По данным федеральной государственной информационной системы «Федеральный банк данных "Пожары"» (далее – ФГИС «ФБД Пожары»), сформированной в соответствии с приказами МЧС России [8, 9], в период с 2015 по 2018 г. доля количества пожаров без материального ущерба составляла около 77,2 %, а с 2019 г. доля таких пожаров уже составляет 94,9 %. Это связано с тем, что при заполнении карточек учета пожаров сбор данных о материальном ущербе носит справочный характер и регистрируется только на основании документов, представляемых пострадавшими (или лицами, представляющими их интересы) и регистрация документально не подтвержденных данных об ущербе от пожара не допускается. Информация о доле соотношении количества пожаров с ущербом и без него представлена на рис. 1. На рисунке видна динамика роста количества пожаров без прямого материального ущерба и соответственно снижения количества пожаров с подтвержденным (зафиксированным) материальным ущербом. Рост числа пожаров без материального ущерба обусловлен изменением правил учета пожаров и

их последствий в соответствии с приказом МЧС России [9]. Все случаи горения, ранее относившиеся к загораниям, не требующие фиксации материального ущерба, с 2019 г. подлежат официальному статистическому учету как пожары. Тем не менее пожары с зафиксированным прямым материальным ущербом составляют всего 15–20 % от общего количества пожаров. Поэтому статистические данные о сумме материального ущерба в официальных данных значительно занижены. В этой связи проблематично оценить влияние КНД на минимизацию (сокращение) последствий пожара по материальной составляющей, так как сам материальный ущерб не определен.

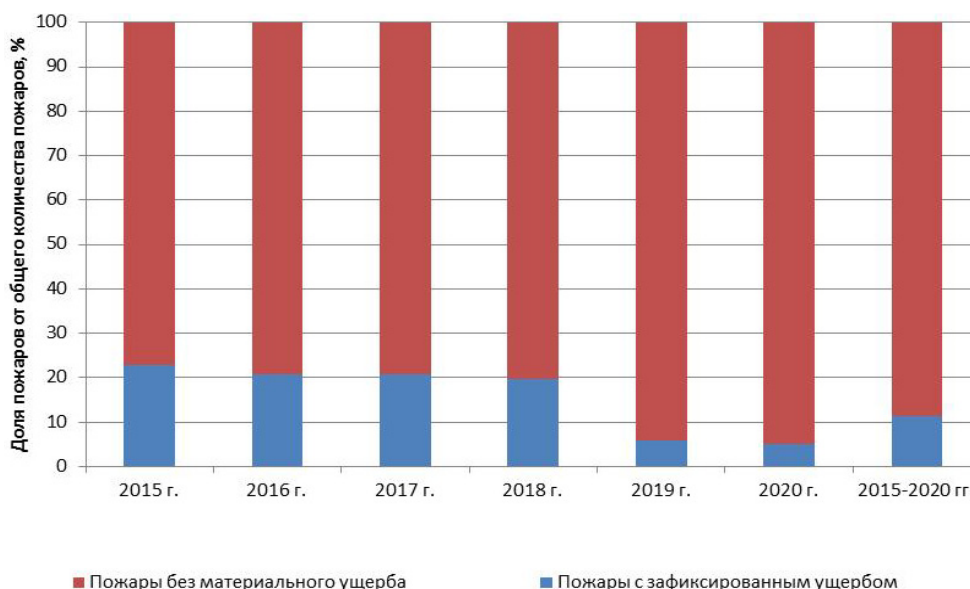


Рис. 1. Долевое распределение количества пожаров с подтвержденным (зафиксированным) материальным ущербом и без материального ущерба в целом по России за 2015–2020 гг.

Законом № 248-ФЗ предусмотрена разработка и внедрение механизмов сбора достоверных данных, необходимых для расчета соответствующих показателей. В докладе, озвученном на Гайдаровском форуме в 2020 г., проблема учета и фиксации случаев причинения вреда (ущерба) органами государственного контроля определена как одна из ключевых проблем реформы КНД. Авторы статей [10–12] при сопоставлении результатов социологических опросов с данными ведомственной статистики, характеризующими частоту и масштабы причинения вреда (ущерба) в сфере деятельности контрольно-надзорных органов, делают выводы о том, что оценка эффективности КНД и ее реформы на основе данных ведомственной статистики значительно искажает реальную ситуацию и не может быть использована в полной мере. В этой связи необходимо расширение источников данных для проведения оценки эффективности КНД, в том числе за счет иных более объективных расчетных методов или независимых источников.

Анализ зарубежного опыта [13] по восьми странам по четырем сферам контроля (надзора), в том числе и пожарного надзора, показал, что показатель материального ущерба, с одной стороны, рассчитывается, но с другой сторо-

ны, не используется как контрольный показатель для оценки результативности и эффективности деятельности органов надзора. Между тем показатель материального ущерба необходим, прежде всего, для определения приоритетов расходования бюджетных средств, так как главным условием эффективности противопожарной защиты является то, что расходы на ее содержание не могут превышать потери от пожаров. В статье Крутковой О. В. и др. [14] отмечено, что если размер истинных потерь от пожаров уменьшается в отчетах на порядок, то и на защиту от этих потерь не могут выделяться необходимые финансовые средства.

Обзор методик и научных подходов

В ретроспективном плане к проблемам расчета материального ущерба от пожаров и исследованию его влияния на устойчивость функционирования экономики в разные периоды социально-экономического развития Российской Федерации всегда было пристальное внимание. Потребность в оценке ущерба возникала в связи с необходимостью экономического обоснования принятия управленческих решений или для обоснования экономической эффективности мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объектов защиты.

Так, в 1990 г. были разработаны методические рекомендации [15] по оценке экономических потерь от пожаров, в которых была представлена структура экономических потерь от пожаров и их расчеты. Структура экономических потерь от пожаров включала в себя:

- потери части национального богатства от пожара, руб.;
- потери в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий пожара, руб.;
- потери из-за неиспользования возможностей вследствие пожара, руб.;
- социально-экономические потери от пожара и др.

Кроме прямых потерь от пожаров, в рекомендациях [15] рассматривались и косвенные экономические потери от пожаров.

На основе бухгалтерской отчетности оценка ущерба осуществлялась по основным производственным и непроизводственным фондам исходя из стоимости восстановления поврежденных основных фондов. В условиях плановой экономики переоценка основных фондов была обязательной и расчет, основанный на бухгалтерских документах, был вполне правомерен.

В 2008 г. были проведены исследования по разработке расчетных методов определения экономических последствий пожаров, содержащихся в Единой государственной системе учета пожаров в Российской Федерации [16]. Особое внимание в данных исследованиях было уделено определению материального ущерба от пожаров по незастрахованному имуществу. Были предложены два метода определения расчетного ущерба от пожара. Первый был основан на оценке ущерба, приходящегося на один квадратный метр (далее – 1 кв.м) уничтоженной и (или) поврежденной площади. Второй строился на определении расчетного ущерба от пожара на основании оценок материальных потерь, приходящихся на 1 минуту времени тушения пожара. Оба этих расчета основывались на статистических данных ФГИС «ФБД «Пожары».

В 2018 г. Институтом государственного и муниципального управления Национального исследовательского университета «Высшая школа экономи-

ки» была предложена Методика унифицированного расчета материального ущерба [13]. По итогам проведенной работы был сделан вывод о том, что для случаев оценок реального ущерба (т.е. ущерба, при котором происходит сокращение общественного благосостояния) необходима единая методика, максимально гармонизированная с подходами оценки стоимости имущества для коммерческого сектора. В ходе исследования был разработан как общий подход учета и оценки (для всех типов объектов имущества, например, зданий, объектов природы, машин и оборудования, объектов культурного наследия и проч.), так и индивидуальные методики для отдельных федеральных органов исполнительной власти. В частности, для МЧС России были установлены положения, на основе которых рекомендовалось проведение оценки материального ущерба на поднадзорных объектах. В основе расчета лежал такой показатель, как стоимость объекта ущерба. Данную стоимость необходимо определять на основе пошагового алгоритма, представленного в табл. 1.

Таблица 1

Пошаговый алгоритм определения стоимости объекта надзора
(в рамках определения материального ущерба по группам активов)

Условие	Стоимость объекта	Примеры
1. Объект застрахован	Стоимость указана в договоре о страховании	Для зданий, оборудования и т.д.
2. По объекту определена кадастровая стоимость	Кадастровая стоимость	Для зданий, помещений, сооружений и земельных участков
3. Объект отражен в составе активов организации	Остаточная балансовая стоимость, ведущей бухгалтерский учет: – по международным стандартам финансовой отчетности; – по российским стандартам бухгалтерского учета в случае, если срок принятия к учету или переоценки не более 3–5 лет	Для машин, транспортных средств, оборудования и т.д.
4. При наличии развитого рынка аналогов	Средняя рыночная цена аналога	Для машин, транспортных средств, оборудования и т.д.
5. В остальных случаях	Вероятная рыночная цена объекта, установленная экспертами	Для уникальных объектов, объектов культурного и исторического наследия и т.д.

Стоит отметить такую особенность проведения оценки ущерба. Практика оценки ущерба на основе бухгалтерских документов показывает, что в силу того, что многие отечественные предприятия экономики не переоцени-

вают свои основные фонды, на многих предприятиях вполне работоспособное оборудование имеет нулевую остаточную балансовую стоимость. При этом рыночная стоимость этого оборудования, с учетом реального износа, может составлять значительную величину. Подобные расхождения между балансовой и рыночной стоимостью могут исчисляться в несколько раз [17]. Владельцы зданий с заниженной стоимостью по бухгалтерской отчетности не спешат выполнять требования о приведении стоимости недвижимости в соответствие с рыночными условиями, чтобы не платить повышенный налог на недвижимость [18]. То же касается и страхового дела. При страховании имущества существует такая особенность, как определение стоимости застрахованного имущества (страховой суммы). Она может быть занижена как и самим страховщиком с целью уменьшения возможных страховых выплат, так и страхователем.

Проведенный анализ показал, что в разные периоды социально-экономического развития России проводились научные исследования и предпринимались попытки применить расчетные методы для определения материального ущерба от пожаров. Но эти методы остались лишь теоритической основой и в силу различных обстоятельств и изменившейся экономической ситуации не могут быть применены на практике [19, 20].

Материалы и методы

В настоящее время проводятся исследования по разработке методологии расчета материального ущерба от пожаров, которая предназначена для применения на практике органами государственного пожарного надзора МЧС России (далее – ГПН). В соответствии с приказом МЧС России [9] сотрудники ГПН не являются субъектами оценочной деятельности. Для оценки материального ущерба привлекаются экспертные организации. Основной целью исследований является создание удобного и простого в использовании инструмента расчета, позволяющего определить материальный ущерб от пожара для целей статистического учета, в независимости от того, есть ли документальное подтверждение материального ущерба или нет. Как сказано выше, ущерб фиксируется и учитывается только на основании официальных документов, но такой подход не дает возможности оценить реальный уровень материальных потерь от пожаров.

Методологический подход предполагает расчет по двум направлениям: ущерб, нанесенный пожаром объекту строительства (здание, сооружение), и ущерб, нанесенный пожаром имуществу (материальные ценности, не относящиеся к объектам строительства).

Предлагаемая математическая модель расчета материального ущерба от пожара следующая. Базовая формула расчета материального ущерба имеет вид

$$Y = Y_{\text{об. стр}} + Y_{\text{им}}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{об. стр}}$ – ущерб, нанесенный пожаром объектам строительства, руб.; $Y_{\text{им}}$ – ущерб, нанесенный пожаром имуществу, руб.

Для расчета ущерба, нанесенного пожаром объектам строительства, предлагается формула вида:

$$Y_{\text{об. стр}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{об. стр}}} (Y_{\text{ун. об. стр. } i} + Y_{\text{пов. об. стр. } i}), \quad (2)$$

где $N_{\text{обь. стр}}$ – число объектов строительства, на которых пожаром была уничтожена и (или) повреждена их площадь, ед.; $Y_{\text{ун.об.стр.}i}$ и $Y_{\text{пов.об.стр.}i}$ – ущерб, причиненный в результате соответственно уничтожения и повреждения пожаром площади i -го объекта строительства, руб.

Ущерб, нанесенный пожаром имуществу, рассчитывается по формуле вида:

$$Y_{\text{им}} = Y_{\text{об.стр.им}} + Y_{\text{тр.ср}} + Y_{\text{тр.ср.им}} + Y_{\text{с/х,лес}} + Y_{\text{отк.тер.им}} + Y_{\text{жив}}, \quad (3)$$

где $Y_{\text{об.стр.им}}$ – ущерб, нанесенный имуществу на объектах строительства, руб.; $Y_{\text{тр.ср}}$ – ущерб, нанесенный транспортным средствам, руб.; $Y_{\text{тр.ср.им}}$ – ущерб, нанесенный имуществу на транспортных средствах, руб.; $Y_{\text{с/х,лес}}$ – ущерб в результате уничтожения сельскохозяйственных посевов, лесных насаждений, руб.; $Y_{\text{отк.тер.им}}$ – ущерб, нанесенный имуществу на открытой территории, руб.; $Y_{\text{жив}}$ – ущерб, нанесенный животным, руб.

Расчет ущерба основывается на двух методах. Первый – расчетно-аналитический, который основан на базисно-индексном методе [21] и предназначен для оценки стоимости строительства, при котором цены, зафиксированные на определенную дату (далее – базисный уровень), по которым рассчитывается текущая стоимость, умножаются на индекс роста цен за период с 2001 г. Указанные индексы рассчитываются в соответствии с Методикой расчета индексов изменения сметной стоимости строительства [22] и публикуются Минстроем России ежеквартально. За базисный уровень приняты укрупненные показатели восстановительной стоимости строительства 1 кв.м здания (сооружения) по объектам-аналогам, зафиксированные на 2001 г. [23]. На основании полученной информации сформирована электронная база данных в виде справочных таблиц, содержащих стоимость 1 кв.м для различных зданий (сооружений): жилых, общественных и промышленных, а также справочные таблицы индексов, необходимых для корректировки стоимости. Такие же таблицы сформированы и для расчета ущерба по имуществу.

Отметим, что разделение имущества на различные компоненты связано со спецификой учета и расчета ущерба по различным видам имущества. Ущерб, нанесенный имуществу на объектах строительства, рассчитывается исходя из стоимости имущества, приходящегося на 1 кв.м объекта строительства. Расчет ущерба по транспортным средствам основывается на стоимости транспортного средства и определении степени повреждения транспортного средства. Расчет ущерба от пожара, в результате гибели животных, рассчитывается относительно количества голов разного вида животных и стоимости животного в живом весе.

Так как получить информацию о стоимости определенных категорий зданий и сооружений или имуществу не представляется возможным (например, уникальные объекты, объекты культурного и исторического наследия и др.), предлагается использовать прямой расчетный метод, основанный на расчете с использованием официальных документов (кадастровая стоимость, страховая стоимость и пр.), определяющих стоимость объекта строительства и стоимость имущества.

Далее представлена математическая модель расчета материального ущерба от пожара в результате уничтожения площади объекта строительства для определения ущерба расчетно-аналитическим и прямым расчетным методом.

Общая формула расчета материального ущерба в результате уничтожения пожаром площади i -го объекта строительства имеет вид

$$Y_{\text{ун.об.стр.}i} = Y_{\text{м}^2\text{ун.об.стр.}i} \cdot S_{\text{ун.об.стр.}i}, \quad (4)$$

где $Y_{\text{1 кв.м ун. обь. стр.}i}$ – ущерб от уничтожения 1 кв.м площади i -го объекта строительства, руб./кв.м; $S_{\text{ун.об.стр.}i}$ – уничтоженная пожаром площадь i -го объекта строительства, кв.м, определяемая в соответствии с Порядком заполнения и представления карточки учета пожара, утвержденным приказом МЧС России [9].

При определении ущерба от уничтожения 1 кв.м площади i -го объекта строительства расчетно-аналитическим методом используется формула вида:

$$Y_{\text{1 м}^2\text{ун.об.стр.}i} = C_{\text{1 м}^2\text{об.стр.}i} (1 - K_{\text{ан.изн.}i} / 100) \cdot K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{гр к}} \cdot K_{\text{рег}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{1 м}^2\text{об.стр.}i}$ – восстановительная стоимость 1 м² i -го объекта строительства, определяемая по справочным таблицам, руб./м²; $K_{\text{ан. изн.}i}$ – коэффициент аналитического износа i -го объекта строительства, определяемый в соответствии со справочными таблицами, %; $K_{\text{пер}}$ – коэффициент пересчета восстановительной стоимости от базового субъекта Российской Федерации к уровню текущих цен субъекта Российской Федерации, на территории которого расположен i -й объект строительства, безразм., определяемый в соответствии со справочными таблицами; $K_{\text{гр к}}$ – коэффициент пересчета восстановительной стоимости в соответствии с фактической группой капитальности i -го объекта строительства, безразм., определяемый в соответствии со справочными таблицами; $K_{\text{рег}}$ – поправочный климатический коэффициент, учитывающий влияние природно-климатических факторов на стоимость i -го объекта строительства, исходя из того, на территории какого субъекта Российской Федерации расположен i -й объект строительства, безразм., определяемый в соответствии со справочными таблицами.

При определении ущерба от уничтожения 1 кв.м площади i -го объекта строительства прямым расчетным методом используется формула вида:

$$Y_{\text{1 м}^2\text{ун.об.стр.}i} = C_{\text{общ.об.стр.}i} / S_{\text{общ.об.стр.}i}, \quad (6)$$

где $C_{\text{общ.об.стр.}i}$ – общая стоимость i -го объекта строительства, руб.; $S_{\text{общ.об.стр.}i}$ – общая площадь i -го объекта строительства, кв.м, определяемая в соответствии с Порядком заполнения и представления карточки учета пожара, утвержденным приказом МЧС России [9].

При определении общей стоимости i -го объекта строительства $C_{\text{общ. обь. стр.}i}$ может использоваться кадастровая стоимость, остаточная балансовая стоимость объекта строительства, договор страхования и прочие.

Результаты и обсуждения

Применение предложенных математических моделей показало следующее. С использованием расчетно-аналитического метода на основе информации, содержащейся в ФГИС «ФБД Пожары», были выбраны пожары, где была зафиксирована уничтоженная и поврежденная площадь объекта строительства. Расчет стоимости материального ущерба от пожаров с использованием расчетно-аналитического метода по различным группам объектов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет материального ущерба от пожаров
с использованием расчетно-аналитического метода
по различным группам объектов (на примере 2019 г.)

Наименование объекта пожара	Уничтоженная и поврежденная площади, кв.м.	Расчет по данным ФБД «Пожары»		Расчет по расчетно- аналитическому методу	
		Средняя стоимость 1 кв.м., руб.	Прямой ущерб, млн руб.	Средняя стоимость 1 кв. м., руб.	Прямой расчетный ущерб, млн руб.
Здание, сооружение жилого назначения, надворная постройка	7 826 496	626,1	4900,4	64 863	507 652,7
Здание предприятия торговли	306 694	3619,4	1110,0	94 924	29 112,8
Здание учебно-воспитательного назначения	13 555	2894,4	39,2	61 340	831,5
Здание здравоохранения и социального обслуживания населения	7282	2910,3	21,2	82 979	604,3
Здание сервисного обслуживания населения	61 429	3120,5	191,7	87 339	5365,1
Административное здание	35 502	4103,3	145,7	88 563	3144,2
Здание для культурно-досуговой деятельности населения и религиозных обрядов	20 309	4224,4	85,8	78 948	1603,4
Здания и помещения для временного пребывания (проживания) людей	21 968	7023,1	154,3	69 361	1523,7

Сравнительный анализ полученных данных показал (см. графу 4 и графу 6), что материальный ущерб, основанный на оценках стоимости 1 м² здания (сооружения) и определенный расчетно-аналитическим методом, значительно выше, чем прямой материальный ущерб, информация о котором содержится в ФГИС «ФБД Пожары». Из табл. 2 видно, что материальный ущерб по расчетно-аналитическому методу больше в 100 раз в жилом секторе, почти в 10 раз в зданиях для временного пребывания людей и почти в 30 раз по другим группам анализируемых объектов. Используя для оценок материальных последствий пожаров лишь только стоимость строительства 1 м² здания (сооружения) без учета имущества, видим, что значения ущерба имеют более высокий уровень в сравнении с ведомственными данными об ущербе.

Экспериментально-статистическая апробация методологического подхода по определению материального ущерба от пожаров показала, что расчетно-аналитический метод в отличие от прямого расчетного метода дает более достоверные результаты по конечной величине материального ущерба. Поэтому расчеты, связанные с определением материального ущерба от пожаров, должны изначально осуществляться по расчетно-аналитическому методу. В случае отсутствия необходимых для расчета эксплуатационных характеристик объекта пожара по расчетно-аналитическому методу целесообразно использовать прямой расчетный метод.

Заключение

Исследования показывают, что существует необходимость в создании расчетных методов определения материального ущерба от пожара. При этом сложившаяся система учета пожаров и их последствий, в данном случае материального ущерба, не отражает реальный уровень материальных потерь по охраняемым законом ценностям. В результате исследования получены два метода расчета материального ущерба от пожара – это расчетно-аналитический и прямой расчетный методы. Предлагаемые методы позволяют рассчитать величину материального ущерба от пожара для конкретного объекта пожара с учетом его эксплуатационных характеристик, климатических параметров и других особенностей для целей статистического учета и оценки уровня материальных потерь от пожаров. Применение расчетных методов даст возможность более полно оценить реальный материальный ущерб от пожаров и значительно снизить процент количества пожаров без подтвержденного ущерба. Правильно подсчитанный ущерб дает возможность экономически обосновывать эффективность пожарной защиты и сосредоточить силы и средства на обеспечение пожарной безопасности объектов защиты, где наиболее значителен материальный ущерб.

Список литературы

1. Чепунов О. И. Некоторые проблемы «регуляторной гильотины» // *Nomothetika: Философия. Социология. Право*. 2020. Т. 45, № 1. С. 130–140.
2. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации : федер. закон № 248-ФЗ от 31 июля 2020 г. URL: <http://ivo.garant.ru/proxy/share?data=q4Og0aLnpN5Pvp> (дата обращения: 23.10.2021).
3. Плаксин С. М., Абузярова И. А., Кашанин А. В. [и др.]. Контрольно-надзорная и разрешительная деятельность в Российской Федерации : аналитический доклад. М. : НИУ ВШЭ, 2020. 138 с.
4. Кловач Е. В., Печеркин А. С., Шалаев В. К., Сидоров В. И. «Регуляторная гильотина» в области промышленной безопасности // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 11. С. 22–28.
5. Зобков Д. В., Порошин А. А., Кондашов А. А. [и др.]. Методология отнесения объектов защиты к определенной категории риска в области пожарной безопасности // *Пожарная безопасность*. № 4. 2020. С. 26–25.
6. Зобков Д. В., Рыжиков А. И., Порошин А. А. Методология отнесения объектов защиты к определенной категории риска // *Технологии техносферной безопасности*. 2020. Вып. 4. С. 8–18.
7. Зобков Д. В., Порошин А. А., Кондашов А. А. Модель отнесения объектов защиты к определенной категории риска в области пожарной безопасности // *Технологии техносферной безопасности*. 2020. № 4. С. 19–31.

8. Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий : приказ МЧС России № 714 от 21.11.2008. Зарегистрирован в Минюсте России 12 декабря 2008 г. № 12842. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82616/ (дата обращения: 29.10.2021).
9. О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий : приказ МЧС России № 625 от 24.12.2018. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_317860/ (дата обращения: 01.11.2021).
10. Южаков В. Н., Добролюбова Е. И., Покида А. Н., Зыбуновская Н. В. Результативность контрольно-надзорной деятельности государства с позиции граждан // Экономическая политика. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultativnost-kontrolno-nadzornoj-deyatelnosti-gosudarstva-s-pozitsii-grazhdan> (дата обращения: 21.09.2021).
11. Масленникова Е. В., Добролюбова Е. И., Южаков В. Н. Статистика и социология результатов контрольно-надзорной деятельности // Экономическая политика. 2020. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statistika-i-sotsiologiya-rezultatov-kontrolno-nadzornoj-deyatelnosti> (дата обращения: 23.09.2021).
12. Скоробогачкий В. В. Новый взгляд на оценку реформы государственного контроля // Вопросы государственного и муниципального управления. 2020. № 1. С. 224–231. Рец. на кн.: Южаков В. Н., Добролюбова Е. И., Покида А. Н. [и др.]. Оценка динамики результативности контрольно-надзорной деятельности государства с позиции граждан как ее конечных бенефициаров. М. : Дело, 2020. 123 с. ISSN 1999-5431.
13. Центр анализа деятельности органов исполнительной власти. URL: http://gos.hse.ru/news/412/?IBLOCK=6&sphrase_id=950 (дата обращения: 23.09.2021).
14. Присяжнюк Н. Л., Вечтомов Д. А., Кружкова О. В., Малько В. А. Алгоритм оценки эффективности государственного пожарного надзора // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений : сб. материалов Второго межвузовского научного семинара. М. : Академия ГПС МЧС России, 2018. С. 12–15.
15. Определение экономических потерь от пожаров : метод. рекомендации. М. : ВНИИПО СССР, 1990. 39 с.
16. Совершенствование методов определения экономических последствий пожаров в Единой государственной системе учета пожаров в Российской Федерации : отчет о НИР/ФГУ ВНИИПО МЧС РФ; науч. рук. С. А. Лупанов; исполн.: Г. Г. Иванова, В. Н. Копченков. М., 2008. 128 с. Инв. № 5634.
17. Ковалев А. П., Кушель А. А., Хомяков В. С. [и др.]. Оценка стоимости машин, оборудования и транспортных средств. М. : Интерреклама, 2003. 488 с. URL: http://www.labrate.ru/20160614/2003_interreklama-ocenka-mio.pdf (дата обращения: 15.09.2021).
18. Фомина Л. В. Совершенствование методов определения материального ущерба от пожаров и подготовка специалистов в этой области // Известия ВУЗов Кыргызстана. 2009. № 3. Р. 35–39. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26534504> (дата обращения: 15.09.2021).
19. Сатонина Е. Е., Киселева Л. М. Анализ методик для оценки ущерба от пожара // Достижения науки – агропромышленному производству : материалы LV Междунар. науч.-техн. конф. Секции 12-16: Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. Физика, химия и нанотехнология. Механика и математические методы. Безопасность жизнедеятельности и техническая эксплуатация автотранспорта. Тепловодогазоснабжение сельского хозяйства (г. Челябинск, 27–29 января 2016 г.). Челябинск : Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2016. С. 223–229.
20. Малемина Е. Н., Загуменнова М. В., Чечетина Т. А. [и др.]. Обзор существующих методик и научных подходов к определению материального ущерба от пожаров в Российской Федерации // Актуальные проблемы обеспечения пожарной

- безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций : сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. (г. Железнодорожск, 23 апреля 2021 г.). Железнодорожск : Сибирская пожарно-спасательная академия, 2021. С. 222–225.
21. Заболоцкая Е. Н., Евтюхова И. Н., Докучаева И. Н., Березин В. П. Официальные термины и определения в строительстве, архитектуре и жилищно-коммунальном комплексе // Минрегион России; ВНИИТПИ. М., 2008. URL: <http://www.gosstroy.ru/books/definitions.html> (дата обращения: 19.09.2021).
 22. Об утверждении Методики расчета индексов изменения сметной стоимости строительства : приказ Минстроя России № 326/пр от 05.06.2019. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/19040> (дата обращения: 07.11.2021).
 23. Загуменнова М. В., Фирсов А. Г., Сибирко В. И., Порошин А. А. Оценка материального ущерба от пожаров на основе базисно-индексного метода // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Году науки и технологий (г. Москва, 12–16 мая 2021 г.). М., 2021. С. 299–306.

References

1. Chepunov O.I. Some problems of the "regulatory guillotine". *Nomothetika: Filosofiya. Sotsiologiya. Pravo = Nomothetika: Philosophy. Sociology. Right*. 2020;45(1):130–140. (In Russ.)
2. *O gosudarstvennom kontrole (nadzore) i munitsipal'nom kontrole v Rossiyskoy Federatsii: feder. zakon № 248-FZ ot 31 iyulya 2020 g. = On State control (Supervision) and municipal control in the Russian Federation: feder. Law No. 248-FZ of July 31, 2020.* (In Russ.). Available at: <http://ivo.garant.ru/proxy/share?data=q4Og0aLnpN5Pvp> (accessed 23.10.2021).
3. Plaksin S.M., Abuzyarova I.A., Kashanin A.V. [et al.]. *Kontrol'no-nadzornaya i razreshitel'naya deyatel'nost' v Rossiyskoy Federatsii: analiticheskiy doklad = Control, supervision and licensing activities in the Russian Federation : analytical report*. Moscow: NIU VShE, 2020:138. (In Russ.)
4. Klovach E.V., Pecherkin A.S., Shalaev V.K., Sidorov V.I. "Regulatory discipline" in the field of industrial safety. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Occupational safety in industry*. 2020;(11):22–28. (In Russ.)
5. Zobkov D.V., Poroshin A.A., Kondashov A.A. [et al.]. Methodology for assigning protection objects to a certain risk category in the field of fire safety. *Pozharnaya bezopasnost' = Fire safety*. 2020;(4):25–26. (In Russ.)
6. Zobkov D.V., Ryzhikov A.I., Poroshin A.A. Methodology for assigning protection objects to a certain risk category. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti = Technosphere safety technologies*. 2020;4:8–18. (In Russ.)
7. Zobkov D.V., Poroshin A.A., Kondashov A.A. Model of attribution of objects of protection to a certain category of risk in the field of fire safety. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti = Technologies of technosphere safety*. 2020;4:19–31. (In Russ.)
8. *Ob utverzhdenii Poryadka ucheta pozharov i ikh posledstviy: prikaz MChS Rossii № 714 ot 21.11.2008. Zaregistrirovann v Minyuste Rossii 12 dekabrya 2008 g. № 12842 = On approval of the Accounting Procedure for fires and their consequences : Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 714 of 21.11.2008. Registered with the Ministry of Justice of Russia on December 12, 2008. No. 12842.* (In Russ.). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82616/ (accessed 29.10.2021).
9. *O formirovani elektronnykh baz dannykh ucheta pozharov i ikh posledstviy: prikaz MChS Rossii № 625 ot 24.12.2018 = On the formation of electronic databases of records of fires and their consequences : the order of EMERCOM of Russia No. 625 dat-*

- ed 24.12.2018. (In Russ.). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_317860/ (accessed 01.11.2021).
10. Yuzhakov V.N., Dobrolyubova E.I., Pokida A.N., Zybunovskaya N.V. The performance of the control and Supervisory activities of the state from the perspective of citizens. *Ekonomicheskaya politika = Economic policy*. 2019;(1). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultativnost-kontrolno-nadzornoy-deyatelnosti-gosudarstva-s-pozitsii-grazhdan> (accessed 21.09.2021).
11. Maslennikova E.V., Dobrolyubova E.I., Yuzhakov V.N. Statistics and sociology of the results of control and supervisory activities. *Ekonomicheskaya politika = Economic policy*. 2020;(1). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/statistika-i-sotsiologiya-rezultatov-kontrolno-nadzornoy-deyatelnosti> (accessed 23.09.2021).
12. Skorobogatkiy V.V. A new look at the assessment of the reform of state control. *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya = Issues of state and municipal administration*. 2020;(1):224–231. Rets. na kn.: Yuzhakov V.N., Dobrolyubova E.I., Pokida A.N. [et al.]. *Otsenka dinamiki rezul'tativnosti kontrol'no-nadzornoy deyatelnosti gosudarstva s pozitsii grazhdan kak ee konechnykh benefitsiarov = Evaluation of the dynamics of the effectiveness of control and supervisory activities of the state from the position of citizens as its ultimate beneficiaries*. Moscow: Delo, 2020:123. ISSN 1999-5431. (In Russ.)
13. *Tsentralnaya analiza deyatelnosti organov ispolnitel'noy vlasti = Center for Analysis of the activities of Executive authorities*. (In Russ.). Available at: http://gos.hse.ru/news/412/?IBLOCK=6&sphrase_id=950 (accessed 23.09.2021).
14. Prisyazhnyuk N.L., Vechtomov D.A., Kruzhkova O.V., Mal'ko V.A. Algorithm for evaluating the effectiveness of the state fire supervision. *Sotsial'no-ekonomicheskie aspekty prinyatiya upravlencheskikh resheniy: sb. materialov Vtorogo mezhvuzovskogo nauchnogo seminara = Socio-economic aspects of managerial decision-making : proceedings of the Second inter-University scientific seminar*. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 2018:12–15. (In Russ.)
15. *Opreделение ekonomicheskikh poter' ot pozharov: metod. Rekomendatsii = Definition of economic loss from fire : method. recommendations*. Moscow: VNIPO SSSR, 1990:39. (In Russ.)
16. *Sovershenstvovanie metodov opredeleniya ekonomicheskikh posledstviy pozharov v Edinoy gosudarstvennoy sisteme ucheta pozharov v Rossiyskoy Federatsii: otchet o NIR/FGU VNIPO MChS RF; nauch. ruk. S. A. Lupanov; ispoln.: G. G. Ivanova, V. N. Kopchenov = Improvement of methods for the determination of the economic impact of the fires in the Unified state system of accounting for fires in the Russian Federation: research report/FSU VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation; scientific director S.A. Lupanov; executor: G.G. Ivanova, V.N. Kopchenov*. Moscow, 2008:128. Inv. № 5634. (In Russ.)
17. Kovalev A.P., Kushel' A.A., Khomyakov V.S. [et al.]. *Otsenka stoimosti mashin, oborudovaniya i transportnykh sredstv = Cost of machinery, equipment and vehicles*. Moscow: Interreklama, 2003:488. (In Russ.). Available at: http://www.labrate.ru/20160614/2003_interreklama-ocenka-mio.pdf (accessed 15.09.2021).
18. Fomina L.V. Improvement of methods for the determination of physical damage from fires and training in this area. *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana = News of universities of Kyrgyzstan*. 2009;(3):35–39. (In Russ.). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26534504> (accessed 15.09.2021).
19. Satonina E.E., Kiseleva L.M. Analysis of methods for assessing fire damage. *Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu: materialy LV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Sektsii 12-16: Primenenie elektricheskoy energii v sel'skom khozyaystve. Fizika, khimiya i nanotekhnologiya. Mekhanika i matematicheskie metody. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti i tekhnicheskaya ekspluatatsiya aviotransporta*.

- Teplovodogazosnabzhenie sel'skogo khozyaystva (g. Chelyabinsk, 27–29 yanvarya 2016 g.) = Achievements of science – agro-industrial production : materials LV Interdunar. sci.-tech. conf. Sections 12-16: Application of electric energy in agriculture. Physics, chemistry and nanotechnology. Mechanics and mathematical methods. Life safety and technical operation of vehicles. Heat and gas supply of agriculture (Chelyabinsk, January 27-29, 2016).* Chelyabinsk: Yuzhno-Ural'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2016:223–229. (In Russ.)
20. Malemina E.N., Zagumennova M.V., Chechetina T.A. [et al.]. Review of existing methods and scientific approaches to determining material damage from fires in the Russian Federation. *Aktual'nye problemy obespecheniya pozharной bezopasnosti i zashchity ot chrezvychaynykh situatsiy: sbornik materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. (g. Zheleznogorsk, 23 aprelya 2021 g.) = Actual problems of fire safety and protection from emergencies : collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Zheleznogorsk, April 23, 2021).* Zheleznogorsk: Sibirskaya pozharно-spasatel'naya akademiya, 2021:222–225. (In Russ.)
 21. Zabolotskaya E.N., Evtyukhova I.N., Dokuchaeva I.N., Berezin V.P. Official terms and definitions in the construction, architecture and housing and communal complex. *Minregion Rossii; VNIINTPI = Ministry of regional development of Russia; VNIINTPI.* Moscow, 2008. (In Russ.). Available at: <http://www.gosstroy.ru/books/definitions.html> (accessed 19.09.2021).
 22. *Ob utverzhdenii Metodiki rascheta indeksov izmeneniya smetnoy stoimosti stroitel'stva: prikaz Ministroya Rossii № 326/pr ot 05.06.2019 = On approval of the Methodology for the calculation of indices of changes in the estimated cost of construction : the order of the Ministry of construction of Russia No. 326/PR from 05.06.2019.* (In Russ.). Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/19040> (accessed 07.11.2021).
 23. Zagumennova M.V., Firsov A.G., Sibirko V.I., Poroshin A.A. Assessment of material damage from fires based on the basic index method. *Aktual'nye problemy pozharной bezopasnosti: materialy XXXIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy Godu nauki i tekhnologii (g. Moskva, 12–16 maya 2021 g.) = Actual problems of fire safety : materials of the XXXIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Science and Technology (Moscow, May 12-16 2021).* Moscow, 2021:299–306. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Марина Викторовна Загуменнова
начальник научно-исследовательского сектора отдела пожарной статистики научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности, аспирант, Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)
E-mail: otde1-16@vniipo.ru

Marina V. Zagumennova
Head of the research sector of the department fire statistics of the research center of organizational and management problems of fire safety, postgraduate student, All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (12, VNIPO microdistrict, Balashikha, Moscow Region, Russia)

Александр Алексеевич Порошин

доктор технических наук,
главный научный сотрудник
научно-исследовательского центра
организационно-управленческих
проблем пожарной безопасности,
Всероссийский ордена «Знак почета»
научно-исследовательский институт
противопожарной обороны
Министерства Российской Федерации
по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий
(Россия, Московская область,
г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)
E-mail: otchel-16@vniipo.ru

Alexander A. Poroshin

Doctor of technical sciences,
chief researcher of the research center
of organizational and management
problems of fire safety,
All-Russian Research Institute for Fire
Protection of the Ministry of the Russian
Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences
of Natural Disasters
(12, VNIIP0 microdistrict, Balashikha,
Moscow Region, Russia)

Александр Георгиевич Фирсов

ведущий научный сотрудник
отдела пожарной статистики
научно-исследовательского центра
организационно-управленческих
проблем пожарной безопасности,
Всероссийский ордена «Знак почета»
научно-исследовательский институт
противопожарной обороны
Министерства Российской Федерации
по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий
(Россия, Московская область,
г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)
E-mail: otchel-16@vniipo.ru

Alexander G. Firsov

Leading researcher of the department
fire statistics of the research center
of organizational and management
problems of fire safety,
All-Russian Research Institute for Fire
Protection of the Ministry of the Russian
Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences
of Natural Disasters
(12, VNIIP0 microdistrict, Balashikha,
Moscow Region, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 01.10.2021

Поступила после рецензирования/Revised 22.11.2021

Принята к публикации/Accepted 07.12.2021

КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗКИ ПассаЖИРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

С. И. Носков¹, А. А. Хоняков²

^{1, 2} Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

¹ noskov_s@irgups.ru, ² anton_khonyakov@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается проблема моделирования перевозки пассажиров железнодорожным транспортом в зависимости от показателей, характеризующих результаты функционирования туристической отрасли. *Материалы и методы.* Для достижения цели моделирования была применена кусочно-линейная регрессионная модель с минимумом в правой части, называемая также функцией Леонтьева. Для повышения качества аппроксимации моделей был применен способ преобразования регрессоров. Оценка адекватности полученных моделей производилась путем расчета средней относительной ошибки аппроксимации и вектора срабатываний. Исходные данные для моделирования получены из официальных витрин статистических данных. *Результаты.* В результате моделирования были получены кусочно-линейные модели перевозки пассажиров железнодорожным транспортом для Российской Федерации в целом и федеральных округов. *Выводы.* Полученные модели обладают высокой адекватностью и позволяют выявить взаимосвязь показателей деятельности туристической отрасли и объемов перевозки пассажиров железнодорожным транспортом.

Ключевые слова: кусочно-линейная регрессия, преобразование регрессоров, задача линейно-булевого программирования, железнодорожный транспорт, перевозка пассажиров

Для цитирования: Носков С. И., Хоняков А. А. Кусочно-линейные регрессионные модели объемов перевозки пассажиров железнодорожным транспортом // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 80–89. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-7

PIECEWISE LINEAR REGRESSION MODELS OF PASSENGER TRANSPORTATION VOLUMES BY RAILWAY

S.I. Noskov¹, A.A. Khonyakov²

^{1, 2} Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

¹ noskov_s@irgups.ru, ² anton_khonyakov@mail.ru

Abstract. *Background.* The paper deals with the problem of modeling the transportation of passengers by rail, depending on the indicators characterizing the results of the functioning of the tourism industry. *Materials and methods.* To achieve the goal of modeling, a piecewise linear regression model with a minimum on the right side, also called the Leontief function, was applied. To improve the quality of approximation of the models, the method of transforming regressors was applied. The assessment of the adequacy of the ob-

tained models was carried out by calculating the average relative error of approximation and the vector of operations. The initial data for modeling are obtained from official statistics showcases. *Results.* As a result of modeling, piecewise-linear models of passenger transportation by rail were obtained for the Russian Federation as a whole and for the federal districts. *Conclusions.* The obtained models are highly adequate and make it possible to identify the relationship between the performance indicators of the tourism industry and the volume of passenger transportation by railway.

Keywords: piecewise linear regression, regressor transformation, boolean partial boolean linear programming problem, railway transport, passenger transportation

For citation: Noskov S.I., Khonyakov A.A. Piecewise linear regression models of passenger transportation volumes by railway. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):80–89. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-7

Введение

Согласно официальной статистике [1–3] доля пассажирооборота, которая приходится на перевозки железнодорожным транспортом, за период 2010–2020 гг. в среднем составляет более двадцати процентов, что позволяет сделать вывод о высокой значимости железнодорожных перевозок как для страны в целом, так и для ее отдельных регионов. Однако, если обратить внимание на график, представленный на рис. 1, можно заметить, что за указанный период времени эта доля имеет некоторую тенденцию к снижению.

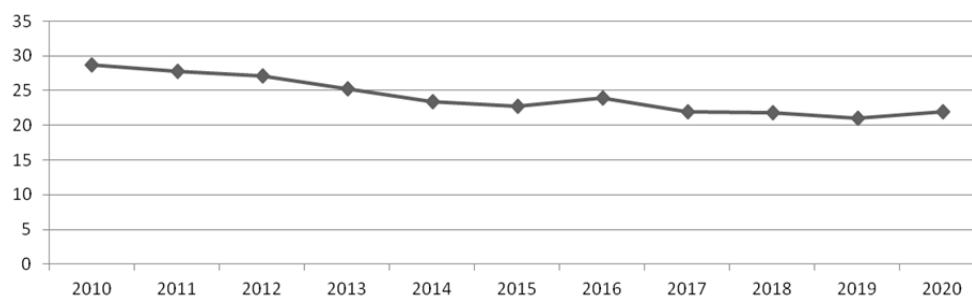


Рис. 1. Доля пассажирооборота железнодорожного транспорта в общем объеме перевозок пассажиров

Моделирование показателей перевозочного процесса на железнодорожном транспорте играет важную роль при анализе и планировании деятельности подразделений ОАО «РЖД». Это обусловлено в том числе тем, что одной из ключевых целей функционирования компании является предоставление качественных и безопасных транспортных услуг населению страны.

При исследовании закономерностей функционирования железнодорожного транспорта успешно применяются методы математического моделирования, в том числе регрессионного анализа. Можно, в частности, указать на зарубежные [4–6] и отечественные [7, 8] работы.

Цель данного исследования – моделирование пассажиропотока на железнодорожном транспорте при помощи кусочно-линейной регрессионной модели, характеризующейся тем отличительным свойством, что значение результирующего показателя в ней ограничено лимитирующим фактором, при

этом любое наращивание других независимых факторов не приводит к росту этого показателя.

Материалы и методы

В работах С. Н. Носкова и др. [9–12] рассмотрена кусочно-линейная регрессионная модель (функция Леонтьева) вида:

$$y_k = \min\{\alpha_1 x_{k1}, \alpha_2 x_{k2}, \dots, \alpha_m x_{km}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где y – зависимая переменная, $x_i, i = \overline{1, m}$ – независимые переменные, $\alpha_i, i = \overline{1, m}$ – подлежащие оцениванию параметры, $\varepsilon_k, k = \overline{1, n}$ – ошибки аппроксимации, n – количество наблюдений (длина выборки).

Идентификация параметров такой модели может быть осуществлена при помощи метода наименьших модулей, реализация которого сводится к задаче линейно-булевого программирования [10–12].

Верификация модели (1) может быть осуществлена при помощи двух показателей – средней относительной ошибки аппроксимации E :

$$E = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{y_k - \min\{\alpha_1 x_{k1}, \alpha_2 x_{k2}, \dots, \alpha_m x_{km}\}}{y_k} \right| 100\%,$$

а также вектора так называемых срабатываний $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$, где $\lambda_k = s$, если $\min\{\alpha_1 x_{k1}, \alpha_2 x_{k2}, \dots, \alpha_m x_{km}\} = \alpha_s x_{ks}$. Таким образом, k -й элемент вектора срабатываний равен номеру переменной, на которой реализовалась операция $\min$ в модели (1). Вектор срабатываний, который содержит в себе номера всех переменных, указывает на высокое качество модели – каждая из независимых переменных вносит свой вклад в формирование выходного фактора. Если же какая-то из переменных не попадает в вектор срабатываний, она может быть исключена из модели как незначимая.

В качестве исследуемого показателя (зависимой переменной модели (1)) y примем отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в Российской Федерации за период с 2006 по 2019 г. Согласно методологическим пояснениям [13], этот показатель определяется по числу проездных билетов, проданных и выданных бесплатно в данном отчетном периоде с учетом приходящихся на этот период поездок, совершенных по групповым билетам, грузовым документам, по абонементным и другим билетам. К транспорту общего пользования относят транспорт, удовлетворяющий потребности организаций всех видов экономической деятельности и населения в перевозках грузов и пассажиров, перемещающий различные виды продукции между производителями и потребителями, осуществляющий общедоступное транспортное обслуживание населения. В качестве независимых переменных определим показатели, связанные с функционированием туристической отрасли:

- x_1 – число турфирм;
- x_2 – число мест в санаторно-курортных организациях;
- x_3 – число мест в гостиницах и аналогичных средствах размещения.

Таким образом, этот набор факторов в модели должен позволить выяснить, каким образом уровень развития туристической отрасли отражается на интенсивности пассажирских перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом.

Исходные данные для моделирования представлены в табл. 1. Они взяты из официальных витрин статистических данных [1–3], для показателей, представленных в квартальной или месячной разбивке, было проведено их предварительное агрегирование.

Таблица 1

Исходные данные для моделирования

Год	y	x_1	x_2	x_3
2006	1 338 643	5842	441 482	429 173
2007	1 281 943	6639	432 725	447 126
2008	1 295 567	6477	445 924	498 414
2009	1 136 925	6897	428 250	487 449
2010	946 510	9133	422 886	529 554
2011	993 144	10 266	424 669	571 226
2012	1 058 799	10 773	419 980	617 849
2013	1 079 565	11 324	407 388	675 515
2014	1 076 407	11 614	443 405	814 913
2015	1 024 645	11 893	447 035	922 951
2016	1 039 993	12 395	445 994	1 045 972
2017	1 121 283	13 579	430 400	1 137 335
2018	1 160 425	13 674	434 089	1 299 457
2019	1 201 483	12 690	437 481	1 348 006

Возможность применения кусочно-линейной регрессионной модели (1) для выбранного набора переменных можно объяснить тем, что каждый из независимых факторов может ограничивать значение выходного показателя, т.е. возрастание значений зависимой переменной может обеспечиваться только ростом значений всех независимых переменных, а не только какой-то одной из них. Кроме того, все независимые переменные в целом способствуют росту зависимой переменной.

Результаты

Расчет параметров модели (1) производился в несколько этапов. Прежде всего, на основе соответствующего алгоритмического и программного обеспечения [14, 15] эти параметры были оценены методом наименьших модулей посредством решения иницируемой им задачи линейно-булевого программирования. В результате была получена модель:

$$y = \min(123,2649x_1; 2,65x_2; 1,6019x_3). \quad (2)$$

Для модели (2) ошибка аппроксимации E составила 16,55 % с вектором срабатываний $\lambda = (3, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$. Отметим, что высокая ошибка аппроксимации не позволяет считать полученную модель вполне адекватной исследуемому объекту.

Совершенствование модели (2) будем проводить в двух направлениях. Первое из них связано с моделированием пассажиропотока не только для страны в целом, но и для отдельных федеральных округов, поскольку они различаются плотностью населения, сетью железнодорожного транспорта и другими важными показателями. Второе направление связано с использованием при моделировании различных преобразований регрессоров. Этот прием часто применяется при регрессионных исследованиях для повышения качества моделей [16]. Он позволяет, используя элементарные функции, расширять исходный набор независимых переменных, тем самым увеличивая количество альтернативных моделей с последующим выбором лучшей из них для реализации.

Модели пассажиропотоков для федеральных округов РФ, за исключением Северо-Кавказского федерального округа, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Модели пассажиропотоков для федеральных округов РФ

Федеральный округ	Модель
	Значения критериев адекватности
Центральный федеральный округ	$y = \min(269,4418x_1; 12,8493x_2; 3,9192x_3)$
	$E = 10,54 \%$
	$\lambda = (1, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 1, 1, 1, 2, 2, 1)$
Северо-Западный федеральный округ	$y = \min(197,5707x_1; 3,8312x_2; 1,5266x_3)$
	$E = 13,92 \%$
	$\lambda = (1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Приволжский федеральный округ	$y = \min(79,9563x_1; 1,1043x_2; 1,4742x_3)$
	$E = 15,72 \%$
	$\lambda = (2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Уральский федеральный округ	$y = \min(89,3226x_1; 1,3518x_2; 1,5445x_3)$
	$E = 14,34 \%$
	$\lambda = (3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Сибирский федеральный округ	$y = \min(101,7217x_1; 1,4946x_2; 1,8244x_3)$
	$E = 15,20 \%$
	$\lambda = (1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Дальневосточный федеральный округ	$y = \min(64,6399x_1; 1,6084x_2; 0,94x_3)$
	$E = 33,79 \%$
	$\lambda = (3, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Южный федеральный округ	$y = \min(63,749x_1; 0,3021x_2; 0,7218x_3)$
	$E = 17,12 \%$
	$\lambda = (3, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$

Таким образом, наиболее точной можно считать модель для Центрального федерального округа: ошибка аппроксимации имеет допустимое значение (до 15 %), в векторе срабатываний содержатся все независимые переменные. Несмотря на допустимую ошибку аппроксимации моделей для Северо-Западного и Уральского округов, их нельзя считать адекватно описывающими поведение реального объекта из-за того, что вектор срабатываний не содержит в себе срабатывания одной из переменных – x_3 и x_1 соответственно.

Воспользуемся способом преобразования регрессоров для уточнения модели (2), введя обозначения:

$$t_1 = \lg(x_1), \quad t_2 = \frac{x_2}{x_1}, \quad t_3 = \frac{x_3}{x_1}.$$

Данный вариант преобразований был получен в результате проведения так называемого конкурса моделей [17]. Указанные преобразования можно трактовать следующим образом: t_2 – число мест в санаторно-курортных организациях, приходящихся на одну турфирму, t_3 – число мест в гостиницах и аналогичных средствах размещения, приходящихся на одну турфирму.

Тогда после оценивания параметров с помощью упомянутых выше методов модель (2) преобразуется к виду

$$y = \min(339921,255t_1; 29595,92t_2; 17848,638t_3). \quad (3)$$

При этом значения критериев адекватности существенно улучшатся по сравнению с моделью (2): $E = 7,28 \%$, $\lambda = (1, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$. На рис. 2 приведен график фактических значений зависимой переменной, а также расчетных значений, полученных по моделям (2) и (3), который подтверждает этот вывод.

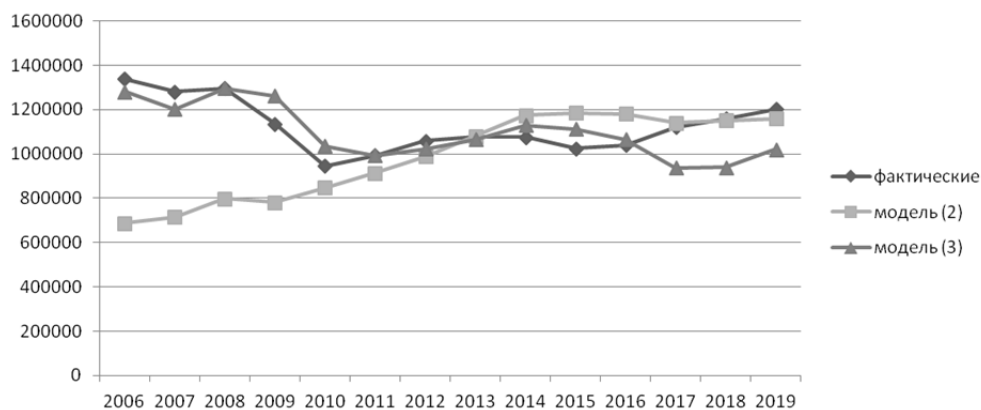


Рис. 2. Фактические и расчетные значения отправления пассажиров железнодорожным транспортом в Российской Федерации

Анализ вектора срабатываний модели (3) показывает, что в последние шесть лет фактором, сдерживающим рост объема пассажирооборота железнодорожного транспорта, был комбинированный показатель $t_2 = \frac{x_2}{x_1}$, следова-

тельно, для наращивания значений выходной переменной необходимо в первую очередь увеличивать число мест в санаторно-курортных организациях.

Применим способ преобразования регрессоров для моделей федеральных округов РФ.

Для всех моделей были введены преобразования переменных вида

$$t_1 = x_1, \quad t_2 = \frac{x_2}{x_1}, \quad t_3 = \frac{x_3}{x_1}.$$

Полученные в результате модели представлены в табл. 3.

Таблица 3

Модели пассажиропотоков для федеральных округов РФ
после преобразования регрессоров

Федеральный округ	Модель
	Значения критериев адекватности
Центральный федеральный округ	$y = \min(403,8488t_1; 35537,8564t_2; 9882,2616t_3)$
	$E = 6,31 \%$
	$\lambda = (3, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2)$
Северо-Западный федеральный округ	$y = \min(282,4030t_1; 7268,4926t_2; 1245,3565t_3)$
	$E = 8,09 \%$
	$\lambda = (1, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2)$
Приволжский федеральный округ	$y = \min(125,7418t_1; 2711,8515t_2; 2538,6864t_3)$
	$E = 6,08 \%$
	$\lambda = (1, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Уральский федеральный округ	$y = \min(90,8785t_1; 1616,8759t_2; 818,5677t_3)$
	$E = 6,18 \%$
	$\lambda = (3, 3, 1, 1, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2)$
Сибирский федеральный округ	$y = \min(182,0338t_1; 2401,3849t_2; 2324,5149t_3)$
	$E = 7,47 \%$
	$\lambda = (3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Дальневосточный федеральный округ	$y = \min(81,5847t_1; 813,8445t_2; 475,632t_3)$
	$E = 18,29 \%$
	$\lambda = (3, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$
Южный федеральный округ	$y = \min(64,1813t_1; 411,6783t_2; 554,108t_3)$
	$E = 9,35 \%$
	$\lambda = (1, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$

Сравнивая данные табл. 2 и 3, можно сделать вывод о том, что применение преобразования регрессоров позволило значительно повысить адекватность всех моделей.

Так, для модели Центрального федерального округа существенно уменьшилась средняя относительная ошибка аппроксимации. Вектора срабатываний для моделей Северо-Западного и Уральского федеральных округов стали включать в себя все задействованные переменные. Модели для Южного и Приволжского округов также можно считать вполне адекватными анализируемым объектам.

И лишь две модели, несмотря на некоторые улучшения значений критериев адекватности, тем не менее нельзя считать вполне приемлемыми – для Сибирского федерального округа (вектор срабатываний содержит не все переменные) и для Дальневосточного федерального округа (все еще высокое значение средней относительной ошибки аппроксимации). Однако такой результат не противоречит реальному положению дел – эти два округа находятся на значительном удалении от центральной части страны и характеризуются низкой плотностью населения и неразвитостью сети железнодорожных магистралей. Поэтому для улучшения качества моделей для этих регионов исследования необходимо продолжать, возможно, в направлении расширения для них круга независимых переменных.

Заключение

В работе выполнено моделирование отправления пассажиров железнодорожным транспортом в зависимости от показателей, характеризующих развитие туристической сферы. Построены регрессионные модели кусочно-линейного типа как для Российской Федерации в целом, так и для отдельных федеральных округов.

Оценка адекватности моделей производилась путем расчета средней относительной ошибки аппроксимации и вектора срабатываний. Для повышения качества моделей был применен способ преобразования регрессоров. Исходные данные для моделирования были получены из официальных источников. Методика применения кусочно-линейной регрессионной модели, а также результаты моделирования могут быть эффективно использованы соответствующими планирующими органами для повышения научной обоснованности принимаемых управленческих решений. Эти решения могут быть, в частности, связаны с увеличением количества подвижного состава, частоты рейсов, необходимых людских и материальных ресурсов.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic>
2. Витрина статистических данных статистики. URL: <https://showdata.gks.ru/finder/>
3. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://www.fedstat.ru/>
4. Zhang Y. Linear Regression Model of Railway Passenger Traffic Volume and Its Influencing Factors // Journal of Physics: Conference Series. 2021;(1): 012005. doi: 10.1088/1742-6596/1903/1/012005
5. Arshad M., Ahmed M. Train delay estimation in Indian railways by including weather factors through machine learning techniques // Recent Advances in Computer Science and Communications. 2021. № 14. P. 1300–1307.
6. Wang Z., Chen Z., Shi Y., Huang L. Extracting the relationship and evolutionary rule connecting residents' travel demand and traffic supply using multisource data // Sensors. 2021. Vol. 21, № 6. P. 1–21.
7. Караулова А. В., Базилевский М. П. Применение регрессионного анализа при решении реальных задач технического характера // Молодая наука Сибири. 2020. № 3. С. 229–236.
8. Егорова И. Н., Зубков В. Н. Влияние социально-экономических показателей на прогнозный объем железнодорожных пассажирских перевозок // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2019. № 2. С. 90–97.
9. Носков С. И. Оценивание параметров аппроксимирующей функции с постоянными пропорциями // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2. С. 135–136.
10. Иванова Н. К., Лебедева С. А., Носков С. И. Идентификация параметров некоторых негладких регрессий // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2016. № 17. С. 107–110.
11. Носков С. И., Лоншаков Р. В. Идентификация параметров кусочно-линейной регрессии // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2008. № 6. С. 63–64.
12. Носков С. И., Хоняков А. А. Программный комплекс построения некоторых типов кусочно-линейных регрессий // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2019. № 3. С. 47–55.

13. Методологические пояснения. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b13_14p/IssWWW.exe/Stg/d3/17-15met.htm
14. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021613936 Программный комплекс построения кусочно-линейных регрессий с максимумом в правой части / С. И. Носков, А. А. Хоняков (Россия); Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИргУПС); заявка № 2021613052 12.03.2021; дата регистр. 16.03.2021
15. Хоняков А. А. Особенности разработки программного обеспечения для построения кусочно-линейных регрессий // Молодая наука Сибири. 2021. № 2. С. 305–312.
16. Носков С. И., Врублевский И. П. Регрессионная модель динамики эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 2. С. 192–197.
17. Носков С. И. Реализация конкурса регрессионных моделей с применением критерия согласованности поведения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. С. 153–160. doi:10.17308/sait.2021.2/3511

References

1. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service.* (In Russ.). Available at: <https://rosstat.gov.ru/statistic>
2. *Vitrina statisticheskikh dannykh statistiki = Showcase of statistics statistics.* (In Russ.). Available at: <https://showdata.gks.ru/finder/>
3. *Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema (EMISS) = Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS).* (In Russ.). Available at: <https://www.fedstat.ru/>
4. Zhang Y. Linear Regression Model of Railway Passenger Traffic Volume and Its Influencing Factors. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;(1):012005. doi: 10.1088/1742-6596/1903/1/012005
5. Arshad M., Ahmed M. Train delay estimation in Indian railways by including weather factors through machine learning techniques. *Recent Advances in Computer Science and Communications*. 2021;(14):1300–1307.
6. Wang Z., Chen Z., Shi Y., Huang L. Extracting the relationship and evolutionary rule connecting residents' travel demand and traffic supply using multisource data. *Sensors*. 2021;21(6):1–21.
7. Karaulova A.V., Bazilevskiy M.P. Application of regression analysis in solving real problems of a technical nature. *Molodaya nauka Sibiri = The young science of Siberia*. 2020;(3):229–236. (In Russ.)
8. Egorova I.N., Zubkov V.N. The influence of socio-economic indicators on the projected volume of railway passenger traffic. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya = Bulletin of the Rostov State University of Railways*. 2019;(2):90–97. (In Russ.)
9. Noskov S.I. Estimation of parameters of the approximating function with constant proportions. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2013;(2):135–136. (In Russ.)
10. Ivanova N.K., Lebedeva S.A., Noskov S.I. Identification of parameters of some non-smooth regressions. *Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem = Information technologies and problems of mathematical modeling of complex systems*. 2016;(17):107–110. (In Russ.)
11. Noskov S.I., Lonshakov R.V. Identification of parameters of piecewise linear regression. *Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem = Information technologies and problems of mathematical modeling of complex systems*. 2008;(6):63–64. (In Russ.)

12. Noskov S.I., Khonyakov A.A. A software package for constructing some types of piecewise linear regressions. *Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami = Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems*. 2019;(3):47–55. (In Russ.)
13. *Metodologicheskie poyasneniya = Methodological explanations*. (In Russ.). Available at: https://www.gks.ru/bgd/regl/b13_14p/IssWWW.exe/Stg/d3/17-15met.htm
14. Certificate of state registration of computer programs No. 2021613936 A software package for constructing piecewise linear regressions with a maximum in the right part. S.I. Noskov, A.A. Khonyakov (Rossiya); Pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Irkutskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya» (FGBOU VO IrGUPS); zayavka № 2021613052 12.03.2021; data registr. 16.03.2021. (In Russ.)
15. Khonyakov A.A. Features of software development for constructing piecewise linear regressions. *Molodaya nauka Sibiri = The young science of Siberia*. 2021;(2): 305–312. (In Russ.)
16. Noskov S.I., Vrublevskiy I.P. Regression model of dynamics of operational indicators of railway transport functioning. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2016;(2):192–197. (In Russ.)
17. Noskov S.I. Implementation of the competition of regression models using the criterion of consistency of behavior. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii = Bulletin of the Voronezh State University. Series: System analysis and information technologies*. 2021;(2):153–160. (In Russ.). doi:10.17308/sait.2021.2/3511

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Иванович Носков

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационных
систем и защиты информации,
Иркутский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Иркутск,
ул. Чернышевского, 15)
E-mail: noskov_s@irgups.ru

Sergey I. Noskov

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department
of information systems
and information protection,
Irkutsk State Transport University
(15 Chernyshevskogo street,
Irkutsk, Russia)

Антон Андреевич Хоняков

аспирант,
Иркутский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Иркутск,
ул. Чернышевского, 15)
E-mail: anton_khonyakov@mail.ru

Anton A. Khonyakov

Postgraduate student,
Irkutsk State Transport University
(15 Chernyshevskogo street,
Irkutsk, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 09.11.2021

Поступила после рецензирования/Revised 05.12.2021

Принята к публикации/Accepted 07.12.2021

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В. А. Листюхин¹, Е. А. Печерская²

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

¹Vladyan4iklist@yandex.ru, ²pea1@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается вопрос обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей, которое напрямую зависит от надежного функционирования воздушных линий электропередачи. Основные аварии в электро-сетевом комплексе РФ происходят на воздушных линиях электропередачи и ведут к существенным экономическим затратам. В то же время современные методы контроля параметров воздушных линий электропередачи не позволяют оперативно выявлять недостатки эксплуатации воздушных линий электропередачи. *Материалы и методы.* При разработке информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи использованы методы теории электрических цепей, схемотехники, теоретической метрологии. *Результаты.* Авторами предложена структура информационно-измерительной системы (ИИС) контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени. *Выводы.* Внедрение ИИС позволит своевременно выявлять дефектные участки, повысить уровень оперативно-технологического управления электрическими сетями, а также обеспечить высокий уровень надежности оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии.

Ключевые слова: электроэнергетика, контроль параметров, воздушные линии электропередачи, информационно-измерительные системы, цифровая трансформация

Для цитирования: Листюхин В. А., Печерская Е. А. Система контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 90–95. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-8

REAL-TIME MONITORING SYSTEM FOR OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES

V.A. Listyukhin¹, E.A. Pecherskaya²

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

¹Vladyan4iklist@yandex.ru, ²pea1@list.ru

Abstract. *Background.* The issue of ensuring uninterrupted power supply to consumers, which directly depends on the reliable operation of overhead power transmission lines, is being considered. Major accidents in the power grid complex of the Russian Federation occur on overhead power lines and lead to significant economic costs. At the same time, modern methods of monitoring the parameters of overhead power lines do not allow to quickly identify shortcomings in the operation of overhead power lines. *Materials and*

methods. When developing an information-measuring system, methods of the theory of electrical circuits, circuitry, metrological analysis were used. *Results.* The authors proposed the development and implementation of an information-measuring system (IMS) for monitoring the parameters of overhead power lines in real time. *Conclusions.* The introduction of IMS will make it possible to timely identify defective areas, increase the level of operational and technological management of electric grids, and also ensure a high level of reliability of services for the transmission of electrical energy provided to consumers.

Keywords: electric power industry, parameter control, overhead power lines, information-measuring systems, digital transformation

For citation: Listyukhin V.A., Pecherskaya E.A. Real-time monitoring system for overhead power transmission lines. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):90–95. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-8

Введение

Обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей является важнейшей задачей не только компаний электросетевого комплекса РФ (ЭСК), но и органов государственной власти. Например, сегодня в Российской Федерации издан ряд нормативно-правовых актов (НПА), направленных на достижение национальных задач экономики и социальной сферы [1, 2]. В ПАО «Россети» разработана и принята к исполнению Концепция «Цифровая трансформация 2030», одной из задач которой является повышение надежности электроснабжения потребителей [3].

Бесперебойное функционирование ЭСК в большей степени зависит от надежного функционирования воздушных линий электропередачи (ВЛ), что обосновывается следующим:

- передача электроэнергии от места производства до потребителей осуществляется в основном по ВЛ;
- ВЛ являются наиболее повреждаемыми элементами ЭСК ввиду своего открытого конструктивного исполнения.

Анализ технологических нарушений (аварий) в электросетевом комплексе Российской Федерации

Согласно Захаренко С. Г. и др. [4], практически 66 % аварий в электрических сетях происходит на ВЛ. Основными повреждениями на ВЛ являются:

- обрыв провода – 31,53 %;
- повреждение изоляторов – 19,56 %;
- попадание посторонних предметов (падение деревьев, попадание животных и т.д.) – 14,36 %.

На рис. 1 представлен анализ основных причин аварий ВЛ 0,4–110 кВ ЭСК. С целью ранжирования причин по уровню значимости могут применяться методы управления качеством, например методы, приведенные в работах Голубкова П. Е. и др. [5, 6].

Аварии на ВЛ ведут к существенному росту экономических затрат, которые характеризуются следующими показателями:

- экономические затраты на восстановление поврежденных элементов;
- недоотпуск электроэнергии потребителям;
- рост индикативных показателей качества оказываемых потребителям услуг SAIDI и SAIFI.



Рис. 1. Анализ основных причин аварий ВЛ 0,4–110 кВ ЭСК

Согласно «Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации», а также работе З. Ли и др. [7, 8], сегодня техническое состояние ВЛ определяется следующими методами:

- пеший обход-осмотр линии электропередачи (ЛЭП) электротехническим персоналом с периодичностью один раз в год;
- выборочный пеший обход-осмотр участков ЛЭП инженерно-техническим персоналом с периодичностью один раз в год, а все участки, подлежащие капитальному ремонту, должны быть осмотрены полностью;
- верховые осмотры ВЛ напряжением 35 кВ и выше или их участков, имеющих срок службы 20 лет и более или проходящих в зонах интенсивного загрязнения, а также по открытой местности, должны производиться не реже одного раза в шесть лет; на остальных ВЛ 35 кВ и выше (участках) – не реже одного раза в 12 лет. На ВЛ напряжением от 0,38 до 20 кВ верховые осмотры должны производиться при необходимости.

Данные методы контроля технического состояния ВЛ мало эффективны, что подтверждает анализ числа и причин аварий в электроэнергетической системе. Также выполнение данных мероприятий, в частности верхового осмотра, требует выполнения ряда условий. Так, например, при проведении верхового осмотра для безопасного производства работ необходим вывод осматриваемой ВЛ в ремонт (снятие напряжения), в результате чего снижается надежность оперативной схемы сети. Снижение надежности оперативной схемы сети требует подготовки резервных схем электроснабжения потребителей, что в свою очередь:

- усложняет процесс оперативно-технологического управления сетями;
- увеличивает загруженность оперативного персонала;
- требует большого числа операций с коммутационными аппаратами, тем самым снижается коммутационный ресурс оборудования.

Также проведение обходов-осмотров ВЛ и их участков требует использования специальной техники.

Разработка информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи

В целях снижения высокого уровня аварийности в электросетевом комплексе, улучшения показателей качества оказываемых потребителям услуг по

передаче электроэнергии, реализации технического обслуживания и ремонта оборудования ЭЭС по фактическому техническому состоянию, а также в целях повышения уровня оперативно-технологического управления электрическими сетями авторами предлагается разработать информационно-измерительную систему контроля параметров воздушных линий электропередачи (ИИС). К ИИС предъявляются следующие требования:

- устойчивость к внешним природным условиям [9];
- бесконтактный способ питания («паразитное» питание от электромагнитного поля провода);
- интеграция индикатора короткого замыкания (ИКЗ) в состав разрабатываемого устройства;
- оповещение при неисправностях (самодиагностика);
- автоматическая калибровка измерительных каналов в процессе функционирования.

На рис. 2 представлена структурная схема ИИС.

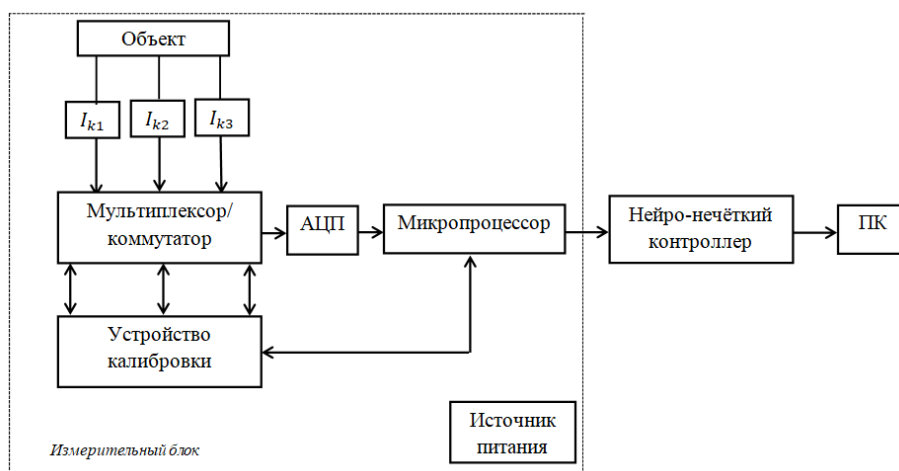


Рис. 2. Структурная схема ИИС

ИИС реализуется путем установки первичных измерительных преобразователей на провод ВЛ в месте наибольшего провеса (середина пролета между опорами). По каналу связи, организованному через встроенный GSM-модуль, полученная с измерительных каналов (ИК) информация передается на сервер диспетчерского центра, где обрабатывается с помощью искусственной нейронной сети (система поддержки принятия решений). Результаты в виде сигнальных сообщений выводятся на экран автоматизированного рабочего места диспетчерского персонала. На основе результатов измерений системой поддержки принятия решений производится анализ данных и на ПК персонала выводятся следующие сообщения, характеризующие состояние контролируемого объекта:

1. Нормальный режим (горизонтальное положение провода и положение провода с учетом отклонения от горизонтального положения при воздействии некритичных ветровых нагрузок).
2. Начальный этап разрегулировки провода (некритический провес провода относительно нормального положения).

3. Предаварийный режим (критический провес провода, обусловленный возможным схлестом с другими проводами и землей).

4. Аварийный режим (схлест провода с другими проводами или соприкосновение провода с землей).

Заключение

На основании результатов анализа основных причин технологических нарушений (аварий) в ЭСК авторами предложена структура и описано функциональное назначение информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени. Данная система позволит своевременно выявлять дефектные участки посредством детектирования этапа начального образования дефекта; повысить уровень технологического управления распределительными электрическими сетями; производить ремонт и техническое обслуживание ВЛ по техническому состоянию. Также внедрение ИИС позволит повысить качество оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии.

Список литературы

1. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы : указ Президента Российской Федерации № 203 от 09.05.2017. 2017. 29 с.
2. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года : указ Президента Российской Федерации № 204 от 07.05.2018. 2018. 19 с.
3. ПАО «Россети» Концепция «Цифровая трансформация 2030». М., 2018. 31 с.
4. Захаренко С. Г., Малахова Т. Ф., Захаров С. А. [и др.]. Анализ аварийности в электросетевом комплексе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 4. С. 95–98.
5. Artamonov D. V., Golubkov P. E., Pecherskaya E. A. [et al.]. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124(8). P. 081014.
6. Голубков П. Е., Печерская Е. А., Мартынов А. В. Применение инструментов контроля качества для анализа процесса микродугового оксидирования // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : тезисы докладов третьей Всерос. молод. науч. конф. Тамбов, 2018. С. 111–113.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. № 229. 169 с.
8. Li Z., Tang W., Lian X. [et al.]. A resilience-oriented two-stage recovery method for power distribution system considering transportation network // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2022. Vol. 135. P. 107497.
9. Alberdi R., Fernandez E., Albizu I. [et al.]. Overhead line ampacity forecasting and a methodology for assessing risk and line capacity utilization // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2021. Vol. 133. P. 107305.

References

1. *O Strategii razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii na 2017–2030 gody: ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii № 203 ot 09.05.2017 = On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017–2030 : Decree of the President of the Russian Federation No. 203 of 09.05.2017. 2017:29. (In Russ.)*

2. *O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda: ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii № 204 ot 07.05.2018 = On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024: Decree of the President of the Russian Federation No. 204 dated 07.05.2018.* 2018:19. (In Russ.)
3. *PAO «Rosseti» Kontseptsiya «Tsifrovaya transformatsiya 2030» = PJSC ROSSETI Concept "Digital Transformation 2030".* Moscow, 2018:31. (In Russ.)
4. Zakharenko S.G., Malakhova T.F., Zakharov S.A. [et al.]. Analysis of accidents in the electric grid complex. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2016;(4):95–98. (In Russ.)
5. Artamonov D.V., Golubkov P.E., Pecherskaya E.A. [et al.]. Methods of applying the reliability theory for the analysis of micro-arc oxidation process. *Journal of Physics: Conference Series.* 2018;1124(8):081014.
6. Golubkov P.E., Pecherskaya E.A., Martynov A.V. Application of quality control tools for the analysis of micro-arc oxidation process. *Radioelektronika. Problemy i perspektivy razvitiya: tezisy dokladov tret'ey Vseros. molod. nauch. konf. = Electronics. Problems and prospects of development:abstracts of the third All-Russian young. scientific conf.* Tambov, 2018:111–113. (In Russ.)
7. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii elektricheskikh stantsiy i setey Rossiyskoy Federatsii. Utv prikazom Minenergo RF ot 19 iyunya 2003 g. № 229. 169 s. = Rules of technical operation of electric power stations and networks of the Russian Federation. Approved by the Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated June 19, 2003 No. 229. 169 p.* (In Russ.)
8. Li Z., Tang W., Lian X. [et al.]. A resilience-oriented two-stage recovery method for power distribution system considering transportation network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems.* 2022;135:107497.
9. Alberdi R., Fernandez E., Albizu I. [et al.]. Overhead line ampacity forecasting and a methodology for assessing risk and line capacity utilization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems.* 2021;133:107305.

Информация об авторах / Information about the authors

Владислав Александрович Листюхин
аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: Vladyan4iklist@yandex.ru

Vladislav A. Listyukhin
Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Екатерина Анатольевна Печерская
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
информационно-измерительной
техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: peal@list.ru

Ekaterina A. Pecherskaya
Doctor of technical sciences,
associate professor,
head of the sub-department
of information-measuring
equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 25.10.2021

Поступила после рецензирования/Revised 01.12.2021

Принята к публикации/Accepted 07.12.2021

ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ САЙТОВ ОНЛАЙН-АУКЦИОНОВ

Н. С. Рассказов¹, М. А. Кривцов², М. А. Митрохин³

^{1, 2, 3, 4} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
¹nikita_serdobsk12@mail.ru, ²mikkri58@gmail.com, ³mmax83@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматриваются способы защиты площадок интернет-аукционов от автоматизированного программного обеспечения (ПО), использование которого приводит к недобросовестной конкуренции. *Методы.* Проводится анализ существующих методов защиты интернет-площадок от ботов, акцентируется внимание на инструментах, основанных на анализе поведения пользователя на сайте, таких как reCAPTCHA v3, и сторонних сервисах, предоставляющих услуги по защите. Также рассматривается существующий подход к анализу сетевой активности, базирующийся на основе техник машинного обучения. Описываются основные инструменты, используемые разработчиками ПО, предназначенного для автоматизации действий на сайтах, в том числе веб-драйвер Selenium, а также приемы, позволяющие обнаружить использование подобных инструментов. *Результаты и выводы.* В результате исследования был разработан программный модуль автоматизации, предназначенный для проверки защищенности выбранных сайтов двумя способами. При тестировании площадки с установленной reCAPTCHA v3 степень уязвимости сайта к работе автоматизированного ПО составила 75 %. Были выработаны и предложены наиболее эффективные способы обнаружения и блокировки ботов на сайтах, позволяющие значительно снизить уровень недобросовестной конкуренции на площадках интернет-аукционов.

Ключевые слова: интернет-аукцион, reCAPTCHA, WAF, защита от ботов, Selenium, Python

Для цитирования: Рассказов Н. С., Кривцов М. А., Митрохин М. А. Технологии защиты сайтов онлайн-аукционов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 96–105. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-9

SITE PROTECTION TECHNOLOGIES ON THE EXAMPLE OF ONLINE AUCTION SITES

N.S. Rasskazov¹, M.A. Krivtsov², M.A. Mitrokhin³

^{1, 2, 3, 4} Penza State University, Penza, Russia
¹nikita_serdobsk12@mail.ru, ²mikkri58@gmail.com, ³mmax83@mail.ru

Abstract. *Background.* The methods of protecting Internet auction sites from automated software, the use of which leads to unfair competition, are considered. *Materials and methods.* The analysis of existing methods of protecting Internet sites from bots is carried out, the attention is focused on tools based on the analysis of user behavior on the site, such as reCAPTCHA v3 and third-party services that provide protection services. The existing approach to the analysis of network activity based on machine learning techniques is also

© Рассказов Н. С., Кривцов М. А., Митрохин М. А., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

considered. It describes the main tools used by developers of software designed to automate actions on websites, including the Selenium web driver, as well as techniques to detect the use of such tools. *Results and conclusions.* As a result of the study, an automation software module was developed designed to check the security of selected sites in two ways, when testing a site with reCAPTCHA v3 installed, the vulnerability of the site to the work of automated software was 75 %. The most effective ways of detecting and blocking bots on websites have been developed and proposed, which significantly reduce the level of unfair competition on Internet auction sites.

Keywords: online auction, reCAPTCHA, WAF, protection from bots, Selenium, Python

For citation: Rasskazov N.S., Krivtsov M.A., Mitrokhin M.A. Site protection technologies on the example of online auction sites. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):96–105. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-9

Введение

Электронный аукцион – аукцион, проводящийся посредством интернет-ресурсов, где ставки производятся через сайт или компьютерную программу аукциона. Последнее время наблюдается бурный рост электронной коммерции в виде интернет-аукционов, этому способствует рост числа пользователей глобальной сети, простота организации и возможность использования разнообразных бизнес-моделей, в том числе стандартной, голландской, двойной и т.д. [1].

Следует отметить, что одновременно с ростом аудитории возрастает количество программных решений, помогающих получать конкурентное преимущество на данных площадках. Так, согласно исследованию Bad Bot Report 2021, сегодня до 50 % всего онлайн-трафика составляют не люди, а боты [2].

Причиной, по которой все больше людей используют ботов, является то, что в подобных программах по сравнению с реальным оператором сведено к минимуму время на принятие решения и совершение ставки. Таким образом, автоматизация принятия решений и совершения действий на торговой площадке способна принести значительное преимущество относительно остальных участников аукциона.

Работа ботов основывается на имитации действий реального человека, при этом используются HTTP-запросы, автоматизировано отправляемые от имени пользователя, или драйвер для веб-браузеров, позволяющий осуществить практически полное мимикрирование под клиента сайта. Наиболее популярные – Selenium Webdriver, Phantomjs, Puppeteer. Они позволяют программно взаимодействовать с браузером, управлять его поведением, получать со страницы нужные данные и выполнять различные действия: переход по ссылкам, извлечение текста страницы, поиск и нажатие кнопок и др.

Многие площадки онлайн-аукционов во избежание нечестной борьбы проводят политику запрета программного обеспечения, позволяющего автоматически размещать ставки. В такой ситуации администраторы площадок сталкиваются с проблемой идентификации нечестных пользователей и защи-

ты сайта от ботов. Ниже будут рассмотрены наиболее эффективные методы защиты.

Обновление html-структуры сайта

Временно приостановить работу ботов на сайте возможно частичной или полной заменой структуры html-кода страниц, а также изменением логики работы отдельных элементов или добавлением новых функций (окно подтверждения, деактивация блоков, находящихся вне экранного пространства). При жесткой привязке ПО к структуре документа в данном случае его работа будет парализована до полной реорганизации программного кода. Эффективность данного способа будет зависеть от соотношения потраченных ресурсов на изменение верстки (или логики) сайта и возможного причиненного ущерба за период времени, в течение которого активность ботов будет восстановлена.

Стоимость переработки сайта определяется временем работы программиста и размером оплаты его труда. Оценка ущерба оценивается индивидуально для каждой площадки и может складываться из многих факторов: отток новых аукционистов, уход текущих игроков, повышенная нагрузка на сервер и т.д.

Строгий отбор и мониторинг активности

Противостоять нечестной игре на аукционах возможно путем мониторинга игроков, причем как в автоматическом режиме, так и в ручном. Встает проблема организации достаточной степени отслеживания и анализа поведения участников, что требует при большом охвате соответствующих значительных вычислительных мощностей или объема человеко-часов.

Ограничение трафика без существенного ущерба компании возможно путем повышения порога входа на площадку, который позволит остаться на последней только фактически заинтересованным лицам. Доступ в данном случае осуществляется только после прохождения определенных шагов верификации на этапе регистрации. Уровень проверок определяется организаторами. Это может быть документ, удостоверяющий личность, собеседование и т.д. Так, например, на портале «РРТ-Аукцион» перед участием в торгах производится обязательная проверка по паспорту.

Анализ сетевой активности

Существуют различные методы обнаружения веб-ботов в сетевом трафике, в том числе ограничение частоты запросов к узлу, занесение IP-адресов в черный список, анализ значения HTTP-заголовка User-Agent, идентификация устройства путем снятия отпечатка.

Для выявления и классификации ботов также возможно использовать техники машинного обучения, включающие в себя, в общем, три этапа: обучение и тестирование, предсказание, анализ результатов. Так, в исследовании SecurityLab рассматривались HTTP-сессии (последовательность запросов от одного узла в определенном интервале времени, в данном случае 30 минут). Концептуально подход следует классической схеме обучения и применения моделей машинного обучения. Сначала определяют метрики

качества и признаки для классификации. После формируют вектор признаков и проводят серии экспериментов (различные перекрестные проверки) для валидации модели и подбора гиперпараметров. На последнем этапе выбирают наилучшую модель и проверяют качество модели на отложенной выборке (рис. 1) [3].

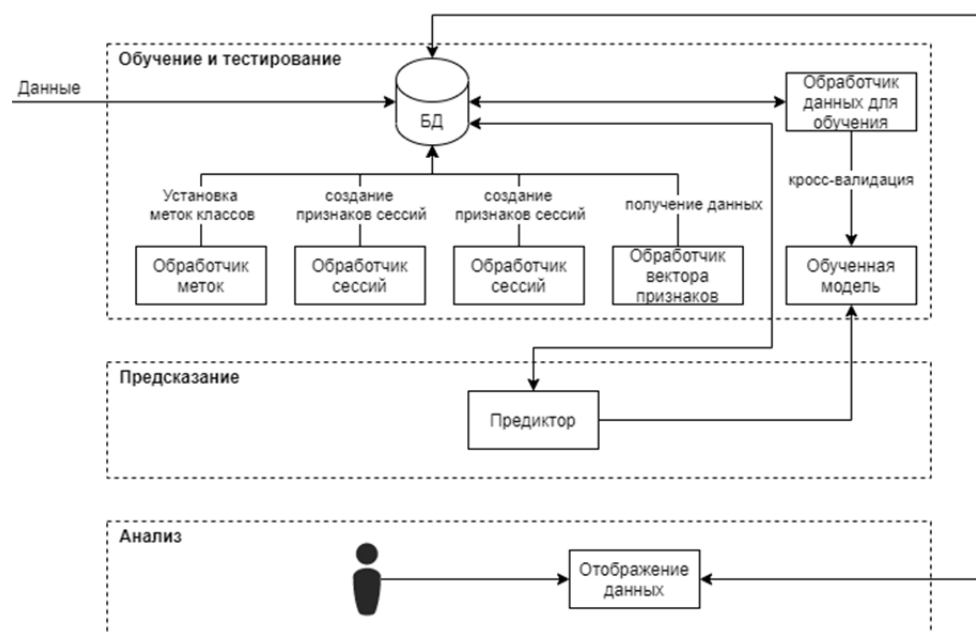


Рис. 1. Концептуальная схема подхода анализа HTTP-сессии, основанного на машинном обучении

Данное решение было проверено на трафике портала SecurityLab.ru. Объем данных – более 15 ГБ, более 130 часов. Количество сессий – более 10 000. На полученных данных средняя точность и полнота для бинарной классификации – более 95 % [3].

Введение reCAPTCHA

К концу января 2021 г. более 6 млн веб-сайтов используют виджет reCAPTCHA, и более 1,3 млн из них используют последнюю невидимую версию – reCAPTCHA v3 [4]. Третья версия данной технологии была представлена в мае 2018 г., в ней используется система поведенческого анализа пользователей «advanced risk analysis». Данная система работает в фоне и оценивает действия пользователя по шкале от 0.0 (вероятный бот) до 1.0 (вероятный человек), в том числе движение курсором мыши, нажатия мыши, но никакой информации о внутренней работе системы Google не дает, что снижает вероятность опасности.

Однако существует уязвимость, продемонстрированная в исследовании [5], заключающаяся в обходе reCAPTCHA v3 с помощью сервиса по рас-

познаванию Google «Text-to-Speech» альтернативного способа прохождения «капчи» через аудиофайл. В данном исследовании представлен скрипт, который перехватывает аудиофайл с голосовым сообщением и отправляет его в сервис «Text-to-Speech», после чего результат распознавания вставляется обратно в сервис reCAPTCHA. На версии reCAPTCHA v2 код распознается должным образом более чем в 90 % случаев [5], с reCAPTCHA v3 скрипт также справляется.

Использование сторонних сервисов

Существует множество готовых сервисов, предоставляющих услуги по защите сайта от подозрительной активности, такие как BotGuard, STRUST. Многие из них предоставляют услуги по комплексному анализу и сбору статистики пользователей. В их основе лежат различные методы поведенческого анализа, а также мониторинг через Web Application Firewall. На российском рынке подобные решения обойдутся владельцу площадки от одной копейки за пользователя. Данные сервисы имеют доступную процедуру внедрения и предоставляют множество возможностей, в том числе журналирование, анализ, исследование трафика, поведенческий анализ конкретных пользователей. Так, сервис «STRUST» используется более чем на 10 000 сайтах по всему миру. В среднем после установки данного модуля нагрузка на сервер падает на 30–50 %, а количество спама сокращается на 90 % [6].

Обнаружение ботов, использующих веб-драйвер

Симуляторы браузера, основанные на использовании веб-драйвера, позволяют маскироваться под реального оператора путем гибкой настройки параметров клиента (user-agent, ip, размер экрана и т.д.), а также возможности эмуляции поведения человека – постепенное заполнение форм, намеренное создание ошибок, нажатие кнопок по определенным координатам и т.д., поэтому простые методы защиты («ловушки», скрытые поля, время на ввод формы) могут не работать против данных ботов.

Однако существуют методы определения Selenium-ботов, в основном заключающиеся в проверке заранее определенных переменных JavaScript, которые появляются при работе веб-драйвера. Сценарии обнаружения ботов обычно ищут все, что содержит слово «selenium» / «webdriver» в любой из переменных (на объекте окна), а также переменные документа, называемые \$cdc_ и \$wdc_.

Экспериментальная проверка защищенности некоторых онлайн-площадок

Для проверки защищенности существующих сайтов был реализован модуль автоматизации, реализующий покупку товара на двух онлайн-площадках с аукционами двумя различными способами. Модуль реализует запросы к удаленному серверу для выявления механизмов защиты.

На первом сайте для автоматизации действий оператора была использована библиотека Selenium языка Python. На данном сайте не установлено ни одного из видов «капчи», поэтому весь функционал бота заключен в перехо-

дах на страницу активного аукциона, выполнении JavaScript кода на странице (введение цен, нажатие кнопки подтверждения) и анализа текущего состояния аукциона путем разбора HTML-кода страницы с помощью библиотеки BeautifulSoup. Единственным ограничением для автоматизированного ПО на данном сайте является блокировка слишком частых запросов, в связи с чем можно сделать вывод, что на данном сайте реализован самый минимальный уровень защиты от ботов.

В ходе анализа второго сайта было выявлено, что в запросе на покупку товара используется reCaptcha v3. Для ее прохождения было принято решение воспользоваться сторонними сервисами, такими как RuCaptcha, Xevil, Captcha.Guru. Так как взаимодействие с данными сервисами происходит посредством HTTP-запросов, покупку товара было решено реализовать также с помощью запросов, для этого применялась библиотека requests языка Python. На вход данные сервисы принимают следующие необходимые параметры:

- **sitekey** – находящийся в html в значении аргумента render при загрузке api.js, в параметре k в URI iframe, в который грузится reCAPTCHA, либо в javascript в функции grecaptcha.execute или в конфигурационном объекте `__grecaptcha_cfg`;
- **action** – событие, находящееся в функции grecaptcha.execute;
- **pageurl** – полный URL страницы с reCAPTCHA V3.

На выходе был получен результат решения, который необходимо корректно использовать на сайте, в данном случае он был вставлен в заголовки HTTP-запроса на покупку товара. Так, запрос за решение reCAPTCHA будет выглядеть следующим образом:

```
body = {
    «key»: apiKey,
    «method»: 'userrecaptcha',
    «version»: «v3»,
    «action»: «submit»,
    «googlekey»: sitekey,
    «pageurl»: urlProduct,
}
r = requests.post('https://rucaptcha.com/in.php', data = body).text
requestID = json.loads(r) ['request']
```

Запрос на получение результата, соответственно, выглядит так:

```
urlRes = 'https://rucaptcha.com/res.php'
dataRes = {
    «key»: apiKey,
    «action»: 'get',
    «id»: requestID,
    «header_acao»: 1,
    «domain»: 'recaptcha.ru'
}
r = json.loads(requests.post(urlRes, data=dataRes).text)
```

После получения результата был отправлен тестовый запрос на покупку товара, если этот запрос блокировался, то решение «капчи» не удовлетворяло

требованиям, установленным на сайте, и отправлялся отчет о неудовлетворительном решении, иначе отправлялся отчет о положительном результате. В данном эксперименте успешность решения составила 75 % (рис. 2).

В 25 % случаев значение параметра score в полученном токене было меньше порога, установленного на сайте (на текущий момент с помощью сервисов по решению reCaptcha сложно получить значение выше 0.3 [7]).

Таким образом, можно сделать вывод, что вполне современная защита от ботов, такая как Google reCAPTCHA v3, обладает уязвимостью к решению при помощи сторонних сервисов с успешностью решения 75 %.



Рис. 2. Статистика успешности решения reCaptcha v3 при помощи сторонних сервисов

Рекомендации владельцам сайтов

На данный момент защита сайтов от ботов, маскирующихся под реальных пользователей, обретает все большую актуальность. Автоматизация действий в сети позволяет ускорять рабочие процессы и увеличивать прибыль, поэтому становится все больше ботов, а их логика работы и паттерны поведения в сети все больше становятся похожими на реальных людей. О защите своих порталов владельцы должны задумываться на этапе разработки. Таким образом, были сформулированы следующие рекомендации организаторам сайтов онлайн-аукционов:

- в форме регистрации/авторизации и других критичных местах следует добавить reCAPTCHA v3, ее использование для разработчика является бесплатным и позволит изрядно сократить объем спама;

- внедрить систему блокировки пользователей, использующих подозрительные ip-адреса и user-agent, а также систему проверки трафика с эмуляторов браузера, использование которых свидетельствует о автоматизированном ПО, что позволит установить начальный уровень защиты от ботов;

- установить систему сбора и отображения статистики запросов для определения в поведении пользователей аномалий (слишком быстрое осуществление ставок, слишком быстрый ввод в формы и т.д.), которые не характерны для реального человека с последующей блокировкой данных пользователей на площадке в ручном режиме, что позволит при оптимальных затратах избавиться от большей части ботов;

- внедрить систему полного анализа запросов пользователей, например на основе техник машинного обучения, которая позволит на уже имеющейся статистике классифицировать ботов и блокировать их. Сбор статистики возможно осуществлять также с помощью сторонних WAF сервисов или хостингов (Cloudflare), предоставляющих такие возможности.

Наиболее эффективным будет являться комбинирование данных техник.

Заключение

Таким образом, защита от автоматизированного ПО на площадках интернет-аукционов является важной составляющей в борьбе с недобросовестной конкуренцией. В данной статье было продемонстрировано два способа обхода блокировок на сайтах: с использованием библиотеки Selenium и использованием сторонних сервисов для решения reCAPTCHA v3. При тестировании защиты существующей площадки вторым способом эффективность решения reCAPTCHA составила 75 %. Использование сформулированных в данной работе рекомендаций по защите сайта позволит снизить уровень нечестной конкуренции, вызванной применением ботов.

Список литературы

1. Аровина М. П. Интернет-аукционы в электронном бизнесе Украины // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності <http://tpa.pstu.edu/article/view/74640> : збірник наукових праць : у 2 вип. / ПДТУ. Маріуполь, 2015. Вип. 1, Т. 1. С. 34–40. (дата обращения: 10.09.2021).
2. Bad Bot Report 2021: The Pandemic of the Internet. URL: <https://www.imperva.com/resources/resource-library/reports/bad-bot-report/> (дата обращения: 17.09.2021).
3. Один подход к обнаружению веб-ботов – SecurityLab. 19.08.2020. URL: <https://www.securitylab.ru/blog/company/pt/349258.php> (дата обращения: 15.09.2021).
4. reCAPTCHA Usage Statistics – BUILTWITH. 15.09.2021. URL: <https://trends.builtwith.com/widgets/reCAPTCHA> (дата обращения: 15.09.2021).
5. Breaking the Google Audio reCAPTCHA with Google's own Speech to Text API – incolumitas. 01.09.2021. URL: <https://incolumitas.com/2021/01/02/breaking-audio-recaptcha-with-googles-own-speech-to-text-api/> (дата обращения: 15.09.2021).
6. Защита сайта от ботов. Защита от спама и DDOS атак, защита от ботов – STRUST.ru. 10.10.2021. URL: <https://strust.ru/services/bad-bot-protection/> (дата обращения: 10.10.2021).
7. Документация API сервиса rucaptcha. URL: https://rucaptcha.com/api-rucaptcha#solving_recaptchav3 (дата обращения: 15.09.2021).

8. Полтавец А. И., Петров И. П., Федотова А. С., Девицкий Н. Е. Проблемы безопасности RECAPTCHA'S. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65576/1/978-5-7996-2404-0_2018-14.pdf (дата обращения: 15.09.2021).

References

1. Arovina M.P. Online auctions in electronic business of Ukraine. *Teoretichni i praktichni aspekti ekonomiki ta intelektual'noi vlasnosti* <http://tpa.pstu.edu/article/view/74640>: zbirnik naukovikh prats': u 2 vip. PDTU. Mariupol', 2015;1(1):34–40. (accessed 10.09.2021).
2. *Bad Bot Report 2021: The Pandemic of the Internet*. Available at: <https://www.imperva.com/resources/resource-library/reports/bad-bot-report/> (accessed 17.09.2021).
3. *Odin podkhod k obnaruzheniyu veb-botov – SecurityLab. 19.08.2020 = One approach to detecting web bots is SecurityLab. 19.08.2020.* (In Russ.). Available at: <https://www.securitylab.ru/blog/company/pt/349258.php> (accessed 15.09.2021).
4. *reCAPTCHA Usage Statistics – BUILTWITH.* 15.09.2021. Available at: <https://trends.builtwith.com/widgets/reCAPTCHA> (accessed 15.09.2021).
5. *Breaking the Google Audio reCAPTCHA with Google's own Speech to Text API – incolumitas.* 01.09.2021. Available at: <https://incolumitas.com/2021/01/02/breaking-audio-recaptcha-with-googles-own-speech-to-text-api/> (accessed 15.09.2021).
6. *Zashchita sayta ot botov. Zashchita ot spama i DDOS atak, zashchita ot botov – STRUST.ru. 10.10.2021 = Protection of the site from bots. Protection from spam and DDOS attacks, protection from bots – STRUST.ru . 10.10.2021.* (In Russ.). Available at: <https://strust.ru/services/bad-bot-protection/> (accessed 10.10.2021).
7. *Dokumentatsiya API servisa rucaptcha = Documentation of the API of the rucaptcha service.* (In Russ.). Available at: https://rucaptcha.com/api-rucaptcha#solving_recaptchav3 (accessed 15.09.2021).
8. Poltavets A.I., Petrov I.P., Fedotova A.S., Devitskiy N.E. *Problemy bezopasnosti RECAPTCHA'S = RECAPTCHA's security problems.* (In Russ.). Available at: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65576/1/978-5-7996-2404-0_2018-14.pdf (accessed 15.09.2021).

Информация об авторах / Information about the authors

Никита Сергеевич Рассказов

студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: nikita_serdobsk12@mail.ru

Nikita S. Rasskazov

Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Михаил Андреевич Кривцов

студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: mikkri58@gmail.com

Mikhail A. Krivtsov

Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Максим Александрович Митрохин

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
вычислительной техники,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: mmax83@mail.ru

Maxim A. Mitrokhin

Doctor of technical sciences, professor,
head of the sub-department
of computer engineering,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 16.09.2021

Поступила после рецензирования/Revised 17.11.2021

Принята к публикации/Accepted 10.12.2021

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

**Е. А. Бадеева¹, К. Д. Целикин²,
А. Г. Кабанов³, Г. С. Куклин⁴**

^{1, 2, 3, 4} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹badeeva_elena@mail.ru, ²kdts777@yandex.ru,

³kaban300699@mail.ru, ⁴kuklingeorg@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Военно-политическая ситуация в современном миропорядке претерпевает значительные изменения. Военные конфликты затрагивают национальные интересы Российской Федерации. В сложившихся условиях есть необходимость создания качественно новых приборов для отечественных образцов военной и специальной техники на базе использования безопасных, надежных, энергосберегающих технологий. К таким перспективным технологиям относятся волоконно-оптические технологии и разрабатываемые на их базе измерительные устройства. Целью данного исследования является адаптация, обобщение и классификация конструктивных исполнений приборов и элементов информационно-измерительных и управляющих систем на основе волоконной оптики для военных целей. *Материалы и методы.* Оцениваются перспективы применения волоконно-оптических технологий и средств в войсках России. Раскрыты их назначение, тактико-технические характеристики и возможности. Для проведенного исследования были избраны комбинации следующих методов: анализ научно-технической литературы, статистические данные, деконструкция. *Результаты.* Раскрыты волоконно-оптические системы военного назначения и их конструктивные элементы, отличительной особенностью которых является простота и надежность конструкции, безопасность применения, точность измерения, долговечность. *Выводы.* Новые технические решения средств измерений и управления на основе волоконно-оптического принципа действия позволят обеспечить безопасное, точное и надежное измерение требуемых физических величин на объектах военного назначения в разных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: оптическое волокно, волоконно-оптическая технология, волоконно-оптическая система военного назначения, измерительный прибор, система связи, система контроля, гироскоп, интегрированная система безопасности управления

Для цитирования: Бадеева Е. А., Целикин К. Д., Кабанов А. Г., Куклин Г. С. Волоконно-оптические системы военного назначения и их элементы // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 106–120. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-10

FIBER-OPTIC SYSTEMS FOR MILITARY PURPOSES AND THEIR ELEMENTS

**E.A. Badeeva¹, K.D. Tselikin²,
A.G. Kabanov³, G.S. Kuklin⁴**

^{1, 2, 3, 4} Penza State University, Penza, Russia

¹badeeva_elena@mail.ru, ²kdts777@yandex.ru,

³kaban300699@mail.ru, ⁴kuklingeorg@mail.ru

Abstract. *Background.* The military-political situation in the modern world order is undergoing significant changes. Military conflicts affect the national interests of the Russian Federation. Under the current conditions, it has become an objective necessity to create qualitatively new domestic models of military and special equipment devices based on the use of safe, reliable, energy-saving technologies. Such modern promising methods and measuring instruments include fiber-optic technologies and measuring devices developed on their basis. The purpose of this study is to adapt, generalize and classify the designs of devices and elements of information-measuring and control systems based on fiber optics for military purposes. *Materials and methods.* Prospects of application of fiber-optic technologies and means in the Russian troops are evaluated. Their purposes, tactical and technical characteristics and capabilities are disclosed. Combinations of methods were chosen for the study: analysis of scientific literature and statistical data, deconstruction. *Results.* The models of fiber-optic systems for military purposes and their structural elements are grouped, the distinctive feature of which is the simplicity and reliability of the design, safety of use, measurement accuracy, durability. *Conclusions.* New technical solutions of measuring and control devices based on the fiber-optic principle of operation will ensure safe, accurate and reliable measurement of the required physical quantities at military facilities in different operating conditions.

Keywords: optical fiber, fiber-optic technology, military fiber-optic system, measuring instrument, communication system, control system, gyroscope, integrated control security system

For citation: Badeeva E.A., Tselikin K.D., Kabanov A.G., Kuklin G.S. Fiber-optic systems for military purposes and their elements. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):106–120. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-10

Введение

Современная военная техника, вооруженные комплексы Российской Федерации (РФ) оснащены различными радиоэлектронными автоматизированными информационно-измерительными системами контроля и управления. К вооруженным силам РФ (ВС РФ) относятся сухопутные войска, воздушно-космические силы, военно-морской флот. Военно-политическая ситуация в современном миропорядке претерпевает значительные изменения. Военные конфликты затрагивают и национальные интересы России. В сложившихся условиях для России стало объективной необходимостью создание качественно новых образцов вооружений и военной техники [1–7]. К основным направлениям в развитии радиоэлектронных приборов и средств измерений образцов вооружения, военной и специальной техники относятся: снижение их массогабаритных характеристик, увеличение сроков службы до 15 лет при непрерывном функционировании в условиях воздействия внешних агрессивных факторов среды, повышение точности действия оружия, увеличение скорости и объемов обработки и передачи информации по военным каналам связи, снижение энергопотребления [7]. Тенденции дальнейшего развития военной техники России диктуют требования внедрения безопасных, надежных, точных, энергосберегающих, экономических отечественных технологий для обеспечения противодействия внешним угрозам и защите национальных интересов. На службу вооруженных сил РФ приходят волоконно-оптические приборы и системы, интегрированные или совместимые с различными радиоэлектронными объектами [6, 9–10].

Материал и методика

Преимущества волоконно-оптических технологий основаны на качествах, присущих оптическому волокну (ОВ) – основному элементу волоконно-оптических приборов и систем, это хорошая пропускная способность, возможность получения высоких скоростей передачи информации, безопасность передачи данных, стойкость к химическому влиянию и пожаробезопасность, нечувствительность к электромагнитным помехам, отсутствие электромагнитного излучения, малый вес. Расстояния, на которые можно передавать данные посредством ОВ, достигают 1000 км. С практической стороны оптическое волокно легкое, компактное, гибкое, надежное, недорогое, сращиваемое, прочное и коммерчески доступно [11–15, 17, 18, 20]. Национальный проект «Цифровая экономика РФ» диктует развитие производства отечественного оптоволокна. Так, в рамках программы импортозамещения в 2015 г. в Саранске открылся завод «Оптиковолоконные Системы», который стал 60-м заводом, открытым в структуре «Роснано», первым в России промышленным производителем оптоволокна [16]. Завод «Оптиковолоконные Системы» помимо стандартных ОВ также выпускает световоды с улучшенными характеристиками, повышенными прочностными характеристиками и устойчивостью к механическим нагрузкам, ОВ диаметром 200 мкм, позволяющее уменьшить сечение кабеля, тем самым облегчая его прокладку. Оптоволоконная продукция формируется как сегмент рынка уже порядка 15–20 лет. Технология изготовления и технико-физическое качество волокна растут. В табл. 1 приведены некоторые характеристики ОВ, производимых в РФ [17–19].

Таблица 1

Характеристики ОВ

№	Характеристики ОВ	Значения
<i>Геометрические</i>		
1	Диаметр оболочки, мкм	125 ± 0,7
2	Диаметр вторичного покрытия, мкм	243,5 ± 3,0
3	Собственный изгиб волокна, радиус кривизны в м	≥4
4	Стандартные длины, км	25,2 / 50,4
<i>Оптические</i>		
5	Максимальный коэффициент затухания, дБ/км – на 1310 нм; – на 1625 нм	≤0,34 ≤0,25
6	Длина волны отсечки в кабеле (лсс), нм	≤1260
7	Коэффициент хроматической дисперсии, пс/ (нм*км) – на 1625 нм	≤22
<i>Механические</i>		
8	Натяжение при перемотке волокна, ГПа	≥0,69
9	Стойкость к коррозии в напряженном состоянии (Nd)	≥20
<i>Параметры влияния окружающей среды</i>		
10	Прирост затухания (дБ/км) на длинах 1310 нм, 1625 нм минус 60 °С ... +85 °С температурный цикл +23 °С погружение в воду +85 °С температурное старение +85 °С/85 % влажное тепло	≤0,05
<i>Эксплуатационные</i>		
11	Эффективный показатель преломления на длине волны: – 1310 нм; – 1625 нм	1,4660 1,4670

Новые разработки позволяют делать новые предложения потребителям разного уровня. Вышеуказанные свойства приводят к многочисленным военным приложениям, которые можно сгруппировать по функциональному назначению (рис. 1).

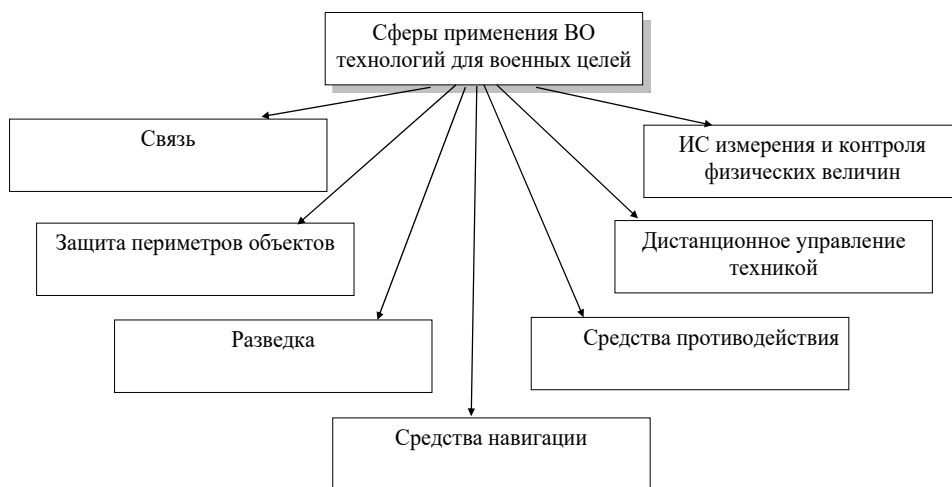


Рис. 1. Сферы применения волоконно-оптических технологий в приборах информационно-измерительных и управляющих систем военного назначения

Применение волоконно-оптических систем военного назначения и их элементов регулируется такими стандартами, как [21–25]:

- ГОСТ 2.761–84 «ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических систем передачи»;
- ГОСТ Р 59088–2020 «Оптика и фотоника. Датчики волоконно-оптические. Классификация»;
- ГОСТ РВ 6040-001–2007 «Преобразователи измерительные волоконно-оптических датчиков. Общие технические условия»;
- ГОСТ РВ 50899–96 «Сети сбора данных волоконно-оптические на основе ВО "Общие технические требования"»;
- ГОСТ РВ 51949–2002 «Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Общие технические условия» и другими.

Обсуждение

1. Связь

Войска связи – специальные войска, предназначенные для развертывания системы связи и обеспечения управления объединениями, соединениями и подразделениями Сухопутных войск в мирное и военное время. Обеспечение выполнения основных задач данным родом войск базируется на создании и развертывании объединенной автоматизированной цифровой системы связи на основе применения последних отечественных разработок в области волоконной оптики [1, 6, 8].

Отечественная военная система связи оборудована с помощью волоконно-оптических кабелей, пришедших на замену медным проводам. Их

применение позволило увеличить объем передаваемой информации, расширить спектр передаваемых сигналов по управляющим системам. В отличие от медных проводов по волоконно-оптическому кабелю возможна передача звука, видеосигнала и пакета цифровых данных. В отличие от медных кабелей современные кабели из оптического волокна имеют высокую помехозащищенность, позволяют передавать сигналы на большие расстояния (в 10...12 раз) без усилительных пунктов [6, 8].

В военных образовательных центрах активно ведут подготовку специалистов в области волоконно-оптической связи. Регулярно проводятся тренировочные учения связистов в развертывании полевой волоконно-оптической линии связи, восстановлении поврежденных участков, измерении параметров линий связи и проверке кабелей, настройке IT-оборудования с организацией видео-конференц-связи между участниками [9].

2. Защита периметров объектов

Для защиты периметров важнейших военных объектов применяются новейшие комплексы на основе волоконно-оптических технологий [26–29].

Разработаны отечественные охранные волоконно-оптические линии мониторинга состояния и охраны периметров объектов (ВОЛМ) с протяженными периметрами, позволяющие фиксировать приближение к охраняемой зоне и пересечение ее границ. Волоконно-оптический кабель в них играет роль распределенного датчика виброакустических возмущений окружающей среды. Чувствительным элементом кабель-датчика является стандартное телекоммуникационное оптическое одномодовое волокно, что обуславливает электрическую пассивность чувствительного элемента [26–29]. В него подается лазерный импульс, при этом световая волна отражается от неоднородности волокна, система реагирует на отраженный сигнал, причем по всей длине кабеля, и оповещает о происходящих событиях на периметре охраняемой зоны. Данные системы способны обнаружить движение пешехода, транспортного средства, пересекающего рубеж охраны, движение техники, а также надводных судов и др. [26–29].

ВОЛМ могут быть интегрированы с различными автоматическими системами: видеонаблюдения, тепловидения, объектовой сигнализацией, управления беспилотными летательными аппаратами, системой контроля доступа, охранным освещением и другими. Они не требуют сложных строительно-монтажных работ. Волоконно-оптический кабель, выполняющий функцию датчика, не требует особых условий по его размещению, так как не содержит проводников электрического тока. Длина такого кабель-датчика может достигать до 4–6 км за счет соединений волокон кабелей при помощи специальных муфт. Соединение оптических волокон и при необходимости их ремонт в случае разрыва производятся путем технологической сварки стандартным оборудованием [26–29].

3. Разведка

Разведывательная деятельность является составной частью сил обеспечения безопасности РФ и призвана защищать безопасность личности, общества и государства от внешних угроз с использованием определенных методов и средств добывания информации для принятия руководством страны

оперативных стратегически важных политических, военных, научно-технических и экономических решений [30–34].

Гласные и негласные методы и средства разведывательной деятельности для защиты и/или добывания информации не должны причинять вред жизни и здоровью людей и наносить ущерб окружающей среде. А так как добывание информации осуществляется с использованием технических средств, то к данным приборам предъявляются требования безопасности, экологичности, скрытости, оперативности, возможности незаметного визуального наблюдения, непрерывности работы, простоты использования. К таким устройствам можно отнести волоконно-оптические технические средства разведки (ВОТСР), которые позволят добывать информацию по месту расположения аппаратуры в космосе, в воздухе, на море и в наземных условиях [30–34].

С помощью ВО технологий можно производить скрытое видеонаблюдение на большие расстояния, не обнаруживаемое стандартной электронной поисковой аппаратурой, при этом разрешение (качество) визуального сигнала будет определяться параметрами волоконно-оптического кабеля (ВОК) и регистрирующей электронной аппаратурой далеко за пределами контролируемой зоны (рис. 2) [32].

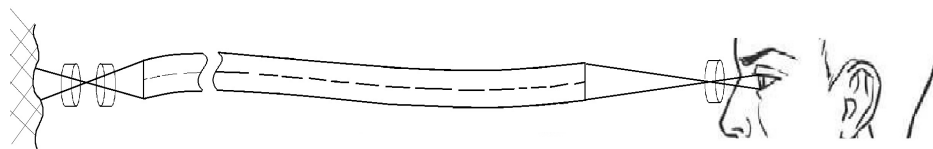


Рис. 2. Структурная схема скрытого наблюдения посредством волоконно-оптической системы

В состав ВОТСР входят волоконно-оптические устройства (ВОУ), представляющие собой совокупность последовательно включенных излучателя, среды передачи излучения (кабеля), фотоприемника и электронной схемы обработки информации [36]. Разведывательная деятельность добывания информации при помощи таких устройств ВОТСР осуществляется за счет приема электромагнитных колебаний инфракрасного, видимого и ультрафиолетового диапазонов, излученных или отраженных объектами и местными предметами.

Один из примеров применения ВО технологий для военной сферы – волоконно-оптические технические эндоскопы (ВОТЭ). ВОТЭ позволяют производить обследование труднодоступных мест, обеспечивают возможность осмотра емкостей с жидкостями, в том числе агрессивными, неразрушающий контроль внутренних полостей различных объектов, контроль работоспособности сложных технических систем, таможенный и полицейский досмотр транспортных средств и грузов, осмотр без разборки двигателя и трансмиссии автомобиля в автосервисе, скрытое наблюдение и мониторинг [30–34].

4. Средства навигации

Навигационное обеспечение войск является одним из видов оперативных мероприятий, которое осуществляется в целях определения скорости пе-

ремещения мобильных объектов, направления и места их дислокации, реализуемое путем оснащения войск специальными комплексами доведения и обработки информации. Основой существующего навигационного обеспечения ВС РФ является Глобальная навигационная спутниковая система России (ГЛОНАСС). Одним из базовых элементов данной навигационной системы являются гироскопы – устройства, способные реагировать на изменение углов ориентации объекта [36]. Совершенствование автоматизированных систем управления войсками требует использования гироскопов – датчиков угловой скорости с повышенным показателем чувствительности преобразования контролируемого сигнала. Для этих целей рекомендовано использование гироскопов на базе применения волоконно-оптических технологий.

Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) — это совершенно новый вид инерциальных датчиков угловых перемещений, измеряющий углы поворота объекта и его угловую скорость. Принцип действия ВОГ основан на вихревом (вращательном) эффекте Саньяка, который заключается в том, что во вращающемся кольцевом интерферометре одна встречная волна приобретает фазовый сдвиг относительно другой встречной волны, который прямо пропорционален угловой скорости вращения, площади, охватываемой интерферометром и частоте волны. Преимущество ВОГ перед механическими гироскопами заключается в том, что они способны работать в широком динамическом диапазоне измеряемых скоростей, в отсутствии вращающихся элементов, в отсутствии вибрации и акустического шума, они имеют приемлемые массогабаритные характеристики, их параметры и конструктивное исполнение просты в расчетах [37–39]. ВОГ нашли свое применение в разработках одного из ведущих оборонных предприятий России – Московского научно-исследовательского института «Агат». Для ракет, применяемых в системах борьбы со средствами воздушного нападения, разработана усовершенствованная активная радиолокационная головка самонаведения (АРГС), в конструкцию которой на замену механического гироскопа пришел волоконно-оптический, благодаря чему значительно сократилось время подготовки ракеты к пуску [40].

5. Средства противодействия

Борьба с системами и средствами управления противника предполагает прямое или косвенное воздействие на все этапы управления. Особая роль при этом принадлежит противодействию техническим средствам. В военной сфере в качестве средства противодействия волоконно-лазерный излучатель можно применять как лазерный радар или дальномер. Он способен зондировать атмосферу, обнаруживая в воздухе вредные примеси [41, 42].

Конструктивные исполнения волоконно-оптического кабеля предлагаются для внедрения в целях радиоэлектронной борьбы для обеспечения защиты систем передачи военной информации. Элементы волоконно-оптических систем могут применяться как средства противодействия противоракетной обороне (ПРО) противника, включая средства искажения характеристик боевых блоков ракеты, ложные цели и станции активных помех.

6. Дистанционное управление техникой

Свойства волоконно-оптических технологий позволяют обеспечить реализацию развивающегося направления – роботизацию военной техники и

вооружения ВС РФ [43–46]. Элементы волоконно-оптических систем могут быть успешно внедрены для управления дистанционными боевыми военными модулями, что позволит обеспечить требуемый уровень безопасности экипажа и повысить эффективность боевых действий. Дистанционно управляемый боевой модуль может содержать в своем составе прицел с оптическим каналом, лазерный дальномер с передачей сигнала по оптическому волокну. По волоконно-оптической линии связи также возможно дистанционное управление наземной радиолокационной станцией (РЛС) – радиотехнической системой обнаружения объектов, определения их дальности, скорости и геометрических параметров, размещенной на двух бронированных автомобилях повышенной проходимости.

7. Информационные системы измерения и контроля физических величин

К современным отечественным средствам измерения военного назначения относятся измерительные приборы, датчики физических величин, измерительные установки, измерительные системы и комплексы, подвижные лаборатории и комплексы измерительной техники [47, 48]. При возникновении задачи непрерывного мониторинга состояния различных военных объектов открываются перспективы для использования волоконно-оптических датчиков (ВОД) в информационно-измерительных системах (ИИС) сбора и контроля данных для измерения распределения различных физических величин в пространстве (температуры, давления, перемещения и прочие). ВОД являются компонентами волоконно-оптических ИИС, отличительными особенностями которых являются высокая метрологическая точность, долговечность, стойкость, низкая себестоимость, простота конструктивного исполнения [11], что позволяет обеспечивать требуемые характеристики к средствам измерения военного назначения.

Заключение

В настоящее время противодействие современным угрозам безопасности страны должно быть обеспечено за счет разработки и поставки во все подразделения ВС РФ новых образцов техники и вооружения, радиоэлектронных приборов и средств измерений, основанных на передовых инновационно-технологических решениях, обеспечивающих ответ на возможные вызовы и намерения со стороны агрессоров. Применение волоконно-оптических информационно-измерительных и управляющих систем позволяет решать возникающие задачи. Новые технические решения средств измерений и управления на основе волоконно-оптического принципа действия позволяют обеспечить безопасное, точное и надежное измерение требуемых физических величин на объектах военного назначения в разных условиях эксплуатации – в космосе, в воздухе, на море и на суше, обеспечивая высокий срок службы, снижение энергопотребления при малом весе.

Список литературы

1. Вооруженные силы РФ. URL: <https://structure.mil.ru/structure/forces/type.htm> (дата обращения: 16.11.2021).
2. Синюков В. В., Шипко Ю. В., Ерин О. Л. Анализ подходов отнесения технических устройств к средствам измерений военного назначения // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 6. С. 102–111.

3. Гусеница Я. Н., Кравцов А. Н., Малахов А. В. Метод оценивания влияния метрологического обеспечения на эффективность применения вооружения, военной и специальной техники // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. № 5. С. 33–41.
4. Леонтьев А. Г., Котович В. В., Кузнецов Д. А. Метрологические комплексы военного назначения : учеб. пособие. СПб., 2010. 269 с.
5. Новейшая техника и вооружения: чем армия сможет защитить Россию. URL: <https://ria.ru/20200223/1565111582.html> (дата обращения: 01.12.2021).
6. Арсланов Х. А. Система связи и управления в Вооруженных Силах Российской Федерации строится на основе последних достижений науки и техники // Минобороны России. URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12200524%40cmsArticle (дата обращения: 16.11.2021).
7. Афанасьев А. С., Матюхин Д. В. Реалии современного пути развития военной радиоэлектроники // Вооружение и экономика. Электронный научный журнал 2021. № 3. С. 35–44. URL: <http://www.viek.ru>
8. Войска ЦВО получили более 400 сотовых телефонов повышенной защищенности и аппаратов режимной связи. URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12257310@egNews (дата обращения: 16.11.2021).
9. Военные связисты из восьми стран провели первые тренировки перед стартом международного этапа конкурса «Уверенный прием». URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12378059@egNews (дата обращения: 16.11.2021).
10. Метьюс М. Волоконно-оптические решения повышенной устойчивости в системах военного назначения // Вестник электроники. 2015. № 2. С. 6–8.
11. Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А. Волоконно-оптические приборы и системы: научные разработки НТИЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» Пензенского государственного университета. Часть I. СПб., 2018. 187 с.
12. Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Бадеев А. В. Микро-оптико-механические системы волоконно-оптических датчиков давления : монография. Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. 268 с.
13. Полякова Е. А., Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И. [и др.]. Улучшение технических характеристик волоконно-оптических измерительных преобразователей // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. № 1. С. 126–135.
14. Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Полякова Е. А. Реализация принципа двухканальности в волоконно-оптических информационно-измерительных системах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 2. С. 87–98.
15. Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Мещеряков В. А. Волоконно-оптические датчики давления отражательного типа для летательных аппаратов // Датчики и системы. 2001. № 9. С. 14–18.
16. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (дата обращения: 02.12.2021).
17. Российское оптическое волокно. Простыми словами о сложном производстве. URL: <https://vols.expert/useful-information/rossiyskoe-opticheskoe-volokno-prostyimi-slovami-o-slozhnom-proizvodstve/> (дата обращения: 02.12.2021).
18. Сами мы местные: как производят оптоволокно в России. URL: https://incrussia.ru/specials/optovolokno_v_rossii/ (дата обращения: 02.12.2021).
19. «Оптиковолоконные Системы» освоили 5 типов оптического волокна за 5 лет. URL: <https://rusfiber.ru/press-tsenter/news/news-98-texnicheskij-zapusk.html> (дата обращения: 02.12.2021).
20. Российские производители оптических кабелей. URL: <https://fabricators.ru/produkt/opticheskie-kabelya> (дата обращения: 02.12.2021).

21. ГОСТ 2.761–84 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических систем передачи. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007019> (дата обращения: 02.12.2021).
22. ГОСТ Р 59088–2020. Оптика и фотоника. Датчики волоконно-оптические. Классификация. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566108851> (дата обращения: 02.12.2021).
23. Преобразователи измерительные волоконно-оптических датчиков. Общие технические условия: государственный военный стандарт ГОСТ РВ 6040-001-2007: введен впервые: введен 2008-07-01. М. : Стандартинформ, 2008. 45 с.
24. ГОСТ РВ 50899–96. Сети сбора данных волоконно-оптические на основе волоконно-оптических датчиков. Общие требования. М. : Изд-во стандартов, 1997. 117 с.
25. ГОСТ РВ 51949–2002 «Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Общие технические условия» : [принято и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 мая 2018 г. № 23-ст ; дата введения 01.01.2019]. М. : Стандартинформ, 2018. 6 с.
26. ГОСТ Р 57562–2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы охраны оптико-волоконные. Термины и определения. Fiber-optic security system. Terms and definitions. ОКС 13.320. Дата введения 01.06.2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146360> (дата обращения: 02.12.2021).
27. Комплекс «ВОЛК», волоконно-оптическая линия контроля. URL: <https://www.arms-expo.ru/armament/samples/1782/84293/> (дата обращения: 02.12.2021).
28. Руководство по применению системы охраны периметра СОКОЛ для объектов военного и специального назначения. Федеральный информационный фонд отечественных и иностранных каталогов на промышленную продукцию. М., 2013. 37 с.
29. Рекомендации по использованию технических средств обнаружения, основанных на различных физических принципах, для охраны огражденных территорий и открытых площадок. М. : ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии ; Саратов : Амирит, 2017. 110 с.
30. О внешней разведке : федер. закон № 5-ФЗ от 10 января 1996 г. URL: <https://base.garant.ru/10135745/> (дата обращения: 02.12.2021).
31. Об оперативно-розыскной деятельности : федер. закон № 144-ФЗ от 12 августа 1995 г. URL: <https://base.garant.ru/10104229/> (дата обращения: 02.12.2021).
32. Гришачев В. В. Фотоника в системах безопасности и защиты информации // Фотоника. 2011. № 6. С. 58–63.
33. Технические характеристики средств оптической разведки. URL: https://studopedia.ru/7_139956_tekhnicheskie-harakteristiki-sredstv-opticheskoy-razvedki.html (дата обращения: 02.12.2021).
34. Титов А. А. Технические средства защиты информации : учеб. пособие. Томск : Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. 77 с.
35. Гречишников В. М. Схемотехника волоконно-оптических устройств : учеб. пособие. Самара : Изд-во Самарск. ун-та, 2018. 72 с.
36. Елюшкин В. Г., Долгов Е. И., Вдовин В. С. Топогеодезическое и навигационное обеспечение войск: вопросы реформирования // Военная мысль. 2000. № 4. С. 34–39.
37. Горохов С. Л. Волоконно-оптические гироскопы (обзор) // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. № 20. С. 60–67.
38. Матрехин Д. А., Тыныныка А. Н. Простая схема волоконно-оптического датчика угловой скорости // Известия Вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 2. С. 117–122.
39. Коптенков М. И. Основы проектирования измерительных устройств на базе волоконно-оптического гироскопа // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2015. № 3. С. 63–70.

40. Ребров А. С., Утенков А. Ю. Новая элементная база современных систем наведения // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 25-1. С. 166–171.
41. Разработка ученых Военной академии РВСН на международной выставке «Интерполитех-2011» получила специальный приз. URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=10766901@egNews (дата обращения: 02.12.2021).
42. Министр обороны России генерал армии Сергей Шойгу осмотрел экспозиции иностранных государств на форуме «Армия-2017». URL: [https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12139542 %40egNews&_print=true](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12139542%40egNews&_print=true) (дата обращения: 02.12.2021).
43. Митрофанов А. Дистанционно управляемые комплексы: автоматизированные огневые точки. URL: <https://topwar.ru/154236-distancionno-upravlyaemye-kompleksy-avtomatizirovannye-ognevye-tochki.html> (дата обращения: 02.12.2021).
44. Домаников М. Г., Рябов М. В., Пикалов А. А. Наземные дистанционно-управляемые боевые модули. Основные определения и классификационные признаки // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. № 12-3. С. 52–60.
45. Соловьев Д. В., Фролков В. Н. Системы управления на основе оптического волокна // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 44. С. 129–133.
46. Елисеев О. В., Соловьев Д. В., Фролков В. Н., Гатчин Ю. А. Перспективы применения оптического волокна в системах управления // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 40. С. 189–193.
47. ГОСТ РВ 8.560-95. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений военного назначения. Испытания и утверждение типа. Госстандарт России. М., 1995. 31 с.
48. Оптоволоконные измерительные каналы для автоматизированных систем контроля и управления // ИСУП. 2018. № 4. URL: <https://isup.ru/articles/45/13270/> (дата обращения: 02.12.2021).

References

1. *Vooruzhennye sily RF = The Armed Forces of the Russian Federation.* (In Russ.). Available at: <https://structure.mil.ru/structure/forces/type.htm> (accessed 16.11.2021).
2. Sinyukov V.V., Shipko Yu.V., Erin O.L. Analysis of approaches for attributing technical devices to military measuring instruments. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika = Aerospace forces. Theory and practice.* 2018;(6):102–111. (In Russ.)
3. Gusenitsa Ya.N., Kravtsov A.N., Malakhov A.V. Method of assessing the impact of metrological support on the effectiveness of the use of weapons, military and special equipment. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli = High-tech technologies in space research of the Earth.* 2017;(5):33–41. (In Russ.)
4. Leont'ev A.G., Kotovich V.V., Kuznetsov D.A. *Metrologicheskie komplekсы voennogo naznacheniya: ucheb. posobie = Metrological complexes for military purposes : a textbook.* Saint Petersburg, 2010:269. (In Russ.)
5. *Noveyshaya tekhnika i vooruzheniya: chem armiya smozhet zashchitit' Rossiyu = The latest equipment and weapons: how the army will be able to protect Russia.* (In Russ.). Available at: <https://ria.ru/20200223/1565111582.html> (accessed 01.12.2021).
6. Arslanov Kh.A. The communication and control system in the Armed Forces of the Russian Federation is built on the basis of the latest achievements of science and technology. *Minoborony Rossii = Ministry of Defense of Russia.* (In Russ.). Available at: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12200524%40cmsArticle (accessed 16.11.2021).
7. Afanas'ev A.S., Matyukhin D.V. Realities of the modern way of development of military radio electronics. *Vooruzhenie i ekonomika. Elektronnyy nauchnyy zhurnal =*

- Armament and economy. Electronic scientific journal.* 2021;(3):35–44. (In Russ.). Available at: <http://www.viek.ru>
8. *Voyska TsVO poluchili bolee 400 sotovykh telefonov povyshennoy zashchishchennosti i apparatov rezhimnoy svyazi = The Central Military District troops received more than 400 high-security cell phones and high-security communication devices.* (In Russ.). Available at: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12257310@egNews (accessed 16.11.2021).
9. *Voennye svyazisty iz vos'mi stran proveli pervye trenirovki pered startom mezhdunarodnogo etapa konkursa «Uverenny priem» = Military signalmen from eight countries conducted the first training sessions before the start of the international stage of the "Confident Reception" competition.* (In Russ.). Available at: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12378059@egNews (accessed 16.11.2021).
10. Met'yus M. Fiber-optic solutions of increased stability in military systems. *Vestnik elektroniki = Bulletin of Electronics.* 2015;(2):6–8. (In Russ.)
11. Murashkina T.I., Badeeva E.A. *Volokonno-opticheskie pribory i sistemy: nauchnye razrabotki NTTs «Nanotekhnologii volokonno-opticheskikh sistem» Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta. Chast' I = Fiber-optic devices and systems: scientific developments of the Scientific Research Center "Nanotechnologies of fiber-optic systems" of Penza State University. Part I.* Saint Petersburg, 2018:187. (In Russ.)
12. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Badeev A.V. *Mikro-optiko-mekhanicheskie sistemy volokonno-opticheskikh datchikov davleniya: monografiya = Micro-optical-mechanical systems of fiber-optic pressure sensors : monograph.* Penza: Izd-vo PGU, 2020:268. (In Russ.)
13. Polyakova E.A., Badeeva E.A., Murashkina T.I. [et al.]. Improving the technical characteristics of fiber-optic measuring converters. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2020;(1):126–135. (In Russ.)
14. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Polyakova E.A. The implementation of the principle of two-nality in fiber-optic information and measurement systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = News of higher educational institutions. Volga region..* 2021;(2):87–98. (In Russ.)
15. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Meshcheryakov V.A. Fiber-optic pressure sensors of reflective type for aircraft. *Datchiki i sistemy = Sensors and systems.* 2001;(9):14–18. (In Russ.)
16. *Natsional'naya programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii» = National program "Digital Economy of the Russian Federation".* (In Russ.). Available at: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (accessed 02.12.2021).
17. *Rossiyskoe opticheskoe volokno. Prostymi slovami o slozhnom proizvodstve = Russian optical fiber. In simple words about complex production.* (In Russ.). Available at: <https://vols.expert/useful-information/rossiyskoe-opticheskoe-volokno-prostyimi-slovami-o-slozhnom-proizvodstve/> (accessed 02.12.2021).
18. *Sami my mestnye: kak proizvodyat optovolokno v Rossii = We are local ourselves: how optical fiber is produced in Russia.* (In Russ.). Available at: https://incrussia.ru/specials/optovolokno_v_rossii/ (accessed 02.12.2021).
19. *«Optikovolokonnye Sistemy» osvoili 5 tipov opticheskogo volokna za 5 let = "Optical Fiber Systems" have mastered 5 types of optical fiber in 5 years.* (In Russ.). Available at: <https://rusfiber.ru/press-tsenter/news/news-98-texnicheskij-zapusk.html> (accessed 02.12.2021).
20. *Rossiyskie proizvoditeli opticheskikh kabeley = Russian manufacturers of optical cables.* (In Russ.). Available at: <https://fabricators.ru/produkt/opticheskie-kabelya> (accessed 02.12.2021).
21. *GOST 2.761–84 ESKD. Oboznacheniya uslovnye graficheskie v skhemakh. Komponenty volokonno-opticheskikh sistem peredachi = GOST 2.761-84ESKD. Conventional*

- graphic designations in diagrams. Components of fiber-optic transmission systems.* (In Russ.). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200007019> (accessed 02.12.2021).
22. *GOST R 59088–2020. Optika i fotonika. Datchiki volokonno-opticheskie. Klassifikatsiya = GOST R 59088-2020. Optics and photonics. Fiber-optic sensors. Classification.* (In Russ.). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/566108851> (accessed 02.12.2021).
 23. *Preobrazovateli izmeritel'nye volokonno-opticheskikh datchikov. Obshchie tekhnicheskies usloviya: gosudarstvennyy voennyi standart GOST RV 6040-001-2007: vveden v pervyye: vveden 2008-07-01 = Measuring transducers of fiber-optic sensors. General technical conditions: state military standard GOST RV 6040-001-2007: introduced for the first time: introduced 2008-07-01.* Moscow: Standartinform, 2008:45. (In Russ.)
 24. *GOST RV 50899–96. Seti sbora dannykh volokonno-opticheskie na osnove volokonno-opticheskikh datchikov. Obshchie trebovaniya = GOST RV 50899-96. Fiber-optic data collection networks based on fiber-optic sensors. General requirements.* Moscow: Izd-vo standartov, 1997:117. (In Russ.)
 25. *GOST RV 51949–2002 «Komponenty volokonno-opticheskikh sistem peredachi. Obshchie tekhnicheskies usloviya»: [prinyato i vvedeno v deystvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 29 maya 2018 g. № 23-st; data vvedeniya 01.01.2019] = GOST RV 51949-2002 "Components of fiber-optic transmission systems. General technical conditions": [adopted and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated May 29, 2018 No. 23-st; date of introduction 01.01.2019].* Moscow: Standartinform, 2018:6. (In Russ.)
 26. *GOST R 57562–2017. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Sistemy okhrany optiko-volokonnye. Terminy i opredeleniya. Fiber-optic security system. Terms and definitions. OKS 13.320. Data vvedeniya 01.06.2018 = GOST R 57562-2017. National Standard of the Russian Federation. Fiber-optic security systems. Terms and definitions. Fiber-optic security system. Terms and definitions. OKS 13.320. Date of introduction 01.06.2018.* (In Russ.). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200146360> (accessed 02.12.2021).
 27. *Kompleks «VOLK», volokonno-opticheskaya liniya kontrolya = Complex "WOLF", fiber-optic control line.* (In Russ.). Available at: <https://www.arms-expo.ru/armament/samples/1782/84293/> (accessed 02.12.2021).
 28. *Rukovodstvo po primeneniyu sistemy okhrany perimetra SOKOL dlya ob'ektov voennogo i spetsial'nogo naznacheniya. Federal'nyy informatsionnyy fond otechestvennykh i inostrannykh katalogov na promyshlennuyu produktsiyu = Guidelines for the use of the SOKOL perimeter security system for military and special purpose facilities. Federal Information Fund of Domestic and Foreign catalogs for industrial products.* Moscow, 2013:37. (In Russ.)
 29. *Rekomendatsii po ispol'zovaniyu tekhnicheskikh sredstv obnaruzheniya, osnovannykh na razlichnykh fizicheskikh printsipakh, dlya okhrany ograzhdennykh territoriy i otkrytykh ploshchadok = Recommendations on the use of technical means of detection based on various physical principles for the protection of fenced areas and open areas.* Moscow: FKU «NITs «Okhrana» Rosgvardii; Saratov: Amirit, 2017:110. (In Russ.)
 30. *O vneshney razvedke: feder. zakon № 5-FZ ot 10 yanvarya 1996 g. = About foreign intelligence: feder. Law No. 5-FZ of January 10, 1996.* (In Russ.). Available at: <https://base.garant.ru/10135745/> (accessed 02.12.2021).
 31. *Ob operativno-rozysknoy deyatel'nosti: feder. zakon № 144-FZ ot 12 avgusta 1995 g. = On operational investigative activities : feder. Law No. 144-FZ of August 12, 1995.* (In Russ.). Available at: <https://base.garant.ru/10104229/> (accessed 02.12.2021).

32. Grishachev V.V. Photonics in information security and protection systems. *Fotonika = Photonics*. 2011;(6):58–63. (In Russ.)
33. *Tekhnicheskie kharakteristiki sredstv opticheskoy razvedki = Technical characteristics of optical reconnaissance equipment*. (In Russ.). Available at: https://studopedia.ru/7_139956_tekhnicheskie-kharakteristiki-sredstv-opticheskoy-razvedki.html (accessed 02.12.2021).
34. Titov A.A. *Tekhnicheskie sredstva zashchity informatsii: ucheb. posobie = Technical means of information protection : a textbook*. Tomsk: Tomsk. gos. un-t sistem upravleniya i radioelektroniki, 2010:77. (In Russ.)
35. Grechishnikov V.M. *Skhemotekhnika volokonno-opticheskikh ustroystv: ucheb. posobie = Circuitry of fiber-optic devices : a textbook*. Samara: Izd-vo Samarsk. un-ta, 2018:72. (In Russ.)
36. Elyushkin V.G., Dolgov E.I., Vdovin V.S. Topogeodetic and navigation support of troops: issues of reform. *Voennaya mysl' = Military thought*. 2000;(4):34–39. (In Russ.)
37. Gorokhov S.L. Fiber-optic gyroscopes (review). *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of information technologies, Mechanics and optics*. 2005;(20):60–67. (In Russ.)
38. Matrekhin D.A., Tynnyka A.N. Simple scheme of fiber-optic angular velocity sensor. *Izvestiya Vuzov. Priborostroenie = News of Universities. Instrumentation*. 2019;62(2):117–122. (In Russ.)
39. Koptenkov M.I. Fundamentals of designing measuring devices based on a fiber-optic gyroscope. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik = MGUL Bulletin – Forest Bulletin*. 2015;(3):63–70. (In Russ.)
40. Rebrov A.S., Utenkov A.Yu. New element base of modern guidance systems. *Priortetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike = Priority scientific directions: from theory to practice*. 2016;(25-1):166–171. (In Russ.)
41. *Razrabotka uchenykh Voennoy akademii RVSN na mezhdunarodnoy vystavke «Interpolitech-2011» poluchila spetsial'nyy priz = The development of scientists of the Military Academy of the Strategic Missile Forces at the international exhibition "Interpolitech-2011" received a special prize*. (In Russ.). Available at: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=10766901@egNews (accessed 02.12.2021).
42. *Ministr oborony Rossii general armii Sergey Shoygu osmotrel ekspozitsii inostrannykh gosudarstv na forume «Armiya-2017» = The Minister of defence of the Russian Federation General of the army Sergei Shoigu inspected the exhibition of foreign States on the forum "Army-2017"*. (In Russ.). Available at: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12139542_%40egNews&_print=true (accessed 02.12.2021).
43. Mitrofanov A. *Dstantsionno upravlyaemye komplekсы: avtomatizirovannye ognevye točki = Remote control complexes: automated gun emplacements*. (In Russ.). Available at: <https://topwar.ru/154236-distancionno-upravlyaemye-komplekсы-avtomatizirovannye-ognevye-točki.html> (accessed 02.12.2021).
44. Domanikov M.G., Ryabov M.V., Pikalov A.A. Ground-based remote-controlled combat modules. Basic definitions and classification features. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki = News of TulSU. Technical sciences*. 2017;(12-3):52–60. (In Russ.)
45. Solov'ev D.V., Frolkov V.N. Control systems based on optical fiber. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of information Technologies, Mechanics and Optics*. 2007;(44):129–133. (In Russ.)
46. Eliseev O.V., Solov'ev D.V., Frolkov V.N., Gatchin Yu.A. Prospects for the use of optical fiber in control systems. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2007;(40):189–193. (In Russ.)

47. *GOST RV 8.560-95. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Sredstva izmereniy voennogo naznacheniya. Ispytaniya i utverzhdenie tipa. Gosstandart Rossii = GOST RV 8.560-95. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Measuring instruments for military purposes. Type testing and approval. Gosstandart of Russia. Moscow, 1995:31. (In Russ.)*
48. Fiber-optic measuring channels for automated control and management systems. *ISUP*. 2018;(4). (In Russ.). Available at: <https://isup.ru/articles/45/13270/> (accessed 02.12.2021).

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Александровна Бадеева
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: badeeva_elena@mail.ru

Elena A. Badeeva
Doctor of technical sciences,
associate professor, professor
of the sub-department of radio engineering
and radio electronic systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Кирилл Дмитриевич Целикин
студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kdts777@yandex.ru

Kirill D. Tselikin
Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Артем Геннадьевич Кабанов
студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kaban300699@mail.ru

Artem G. Kabanov
Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Георгий Сергеевич Куклин
студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kuklingeorg@mail.ru

Georgiy S. Kuklin
Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 06.10.2021

Поступила после рецензирования/Revised 03.12.2021

Принята к публикации/Accepted 17.12.2021