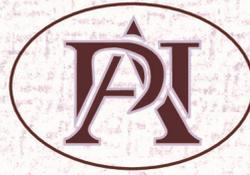


Print ISSN 1991-6639
Online ISSN 2949-1940

№ 4(114)



2023

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

1998 *25* ЛЕТ 2023



DOI: 10.35330/1991-6639

Подписной индекс 20145

12+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук» (КБНЦ РАН)

Научный журнал

**ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

№ 4(114) 2023

Журнал основан в 1998 г. Выходит 6 раз в год

ISSN 1991-6639 (печатная версия), ISSN 2949-1940 (электронная версия)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ №77-14936 от 20 марта 2003 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

360010, Российская Федерация, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
Тел., факс: 8(8662)72-04-87, e-mail: ired07@mail.ru

© КБНЦ РАН, 2023

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budgetary Scientific Establishment "Federal scientific center
"Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (KBSC RAS)

Science journal

**NEWS
OF THE KABARDINO-BALKARIAN
SCIENTIFIC CENTER OF RAS**

№ 4(114) 2023

The journal was founded in 1998, 6 issues per year

ISSN 1991-6639 (print), ISSN 2949-1940 (online)

The certificate of registration of mass media of PI No. 77-14936 dated March 20, 2003
was granted by Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies
and Mass Media

ADDRESS OF THE EDITORIAL OFFICE:

360010, Russian Federation, Kabardino-Balkarian, Nalchik, 2 Balkarov street
Tel., fax: 8(8662) 72-04-87, e-mail: ired07@mail.ru

© KBSC RAS, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН № 4(114) 2023

Редакционная коллегия.....5

Информационные технологии и телекоммуникации

Системный анализ, управление и обработка информации

Системный подход к ранней диагностике деменции с использованием компьютерного эмулятора отраженных сигналов гиппокампа

*С. В. ВЕРЕТЕХИНА, М. С. СМИРНОВ, Н. Н. СМИРНОВ,
Е. В. ПОТЕХИНА, О. И. КИРЕЕВА*..... 11

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Проектирование высокоскоростного магистрального экранолета в наземно-эстакадном исполнении

А. Ф. ЗАКУРАЕВ, А. В. РЯБКОВ.....28

Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

Трассировка больших разветвленных трубопроводных гидравлических сетей высокого ранга оптимальности на динамическом базовом графе

М. Б. АБАЗОКОВ, В. Ч. КУДАЕВ.....39

Компьютерные науки и информатика

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Численный метод решения оптимизационной задачи траекторного управления и поддержания формации группой автономных БПЛА с прогнозирующими моделями

*К. Ю. ГАНЬШИН, Д. Л. ВИНОКУРСКИЙ,
О. С. МЕЗЕНЦЕВА, Ф. В. САМОЙЛОВ*.....55

Зоотехния и ветеринария

Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства

Ново-Ивановская фабрика молока

Ж. Х. ЖАШУЕВ, В. М. ГУКЕЖЕВ, О. А. БАТЫРОВА.....61

Экономика

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Итерационное моделирование. Логическое упорядочение входных параметров системы поддержки принятия решений

С. В. ВЕРЕТЕХИНА..... 69

Анализ моделей динамических экономических систем

Д. А. КАНАМЕТОВА..... 88

Классификация моделей системы управления жилищно-коммунальным хозяйством <i>А. А. ПОПОВ, А. М. ТРАМОВА</i>	98
---	----

Региональная и отраслевая экономика

Цифровизация российской экономики образования под влиянием санкций <i>С. В. ТИЦЕНКО</i>	110
--	-----

Исторические науки

Археология

Петроглифы Хагондоково <i>Ж. В. КАГАЗЕЖЕВ</i>	121
--	-----

Правила для авторов журнала	132
--	-----

CONTENTS

News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences No. 4(114) 2023

Editorial Board.....5

Information Technologies and Telecommunications

System analysis, management and information processing

Systematic approach to the early diagnosis of dementia using a computer emulator of reflected hippocampal signals

*S.V. VERETEKHINA, M.S. SMIRNOV, N.N. SMIRNOV,
E.V. POTEKHINA, O.I. KIREEVA*.....11

Automation and control of technological processes and productions

Designing of a high-speed main aerodynamic ground-effect craft in a ground and flyover mode

A.F. ZAKURAEV, A.V. RYABKOV.....28

Computer modeling and design automation

Tracing of large branched pipeline hydraulic networks of high optimality rank with graph presentation

M.B. ABAZOKOV, V.Ch. KUDAEV.....39

Computer sciences and informatics

Mathematical modeling, numerical methods and program complexes

Numerical method for solving the optimization problem of trajectory control and formation maintenance by a group of autonomous UAVs with predictive models

*K.Yu. GANSHIN, D.L. VINOKURSKY,
O.S. MEZENTSEVA, Ph.V. SAMOILOV*.....55

Zootechnics and veterinary medicine

Private zootechnics, feeding, technologies of fodder preparation and animal products production

Novo-Ivanovo milk factory

Zh.Kh. ZHASHUEV, V.M. GUKEZHEV, O.A. BATYROVA.....61

Economy

Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

Iterative modeling. Logical ordering of the input parameters of the decision support systems

S.V. VERETEKHINA..... 69

Analysis of models of dynamic economic systems

D.A. KANAMETOVA.....88

Classification of models of the housing and communal services management system <i>A.A. POPOV, A.M. TRAMOVA</i>	98
--	----

Regional and sectoral economics

Digitalization of the Russian education economy under the influence of sanctions <i>S.V. TISHCHENKO</i>	110
--	-----

Historical sciences

Archeology

Petroglyphs of Khagondokovo <i>Zh.V. KAGAZEZHEV</i>	121
--	-----

Publishing regulations for the authors	132
---	-----

Главный редактор:

Иванов Петр Мацович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Заместитель главного редактора:

Улаков Махти Зейтунович, доктор филологических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Ответственный секретарь:

Энеева Лиана Магомедовна, кандидат физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Члены редакционной коллегии:

Абазов Алексей Хасанович, доктор исторических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Адуков Рухман Хасаинович, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Алтухов Анатолий Иванович, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Амирханов Хизри Амирханович, академик РАН, доктор исторических наук, профессор, Институт истории, археологии и этнографии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Республика Дагестан, Россия

Бабенко Людмила Клементьевна, доктор технических наук, профессор, Таганрогский технологический институт ЮФУ, Таганрог, Россия

Барыкин Сергей Евгеньевич, доктор экономических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа сервиса и торговли, Санкт-Петербург, Россия

Бижоев Борис Чамалович, доктор филологических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Гукежев Владимир Мицахевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзамихов Касболат Фицевич, доктор исторических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзюба Владимир Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт риса, Краснодар, Россия

Дохолян Сергей Владимирович, доктор экономических наук, профессор, Институт социально-экономических исследований – филиал Дагестанского научного центра РАН, Махачкала, Республика Дагестан, Россия

Завалин Алексей Анатольевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, Москва, Россия

Закшевский Василий Георгиевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района РФ, Воронеж, Россия

Иванов Анатолий Беталович, доктор биологических наук, профессор, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кибиров Алихан Яковлевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Клейнер Георгий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, профессор, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия

Комков Николай Иванович, доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Санкт-Петербург, Россия

Котляков Владимир Михайлович, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Институт географии РАН, Москва, Россия

Кузьминов Валерий Васильевич, доктор физико-математических наук, Институт ядерных исследований – филиал Баксанской нейтринной обсерватории, Нейтрино, Приэльбрусье, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кусраев Анатолий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Владикавказский научный центр РАН, Владикавказ, РСО–Алания, Россия

Мазлоев Виталий Зелимханович, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Малкандуев Хамид Алиевич, доктор сельскохозяйственных наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Мамбетова Фатимат Абдуллаховна, доктор экономических наук, доцент, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Маслиенко Любовь Васильевна, доктор биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, Краснодар, Россия

Матишов Геннадий Григорьевич, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Махешева Салима Александровна, доктор экономических наук, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нагоев Залимхан Вячеславович, кандидат технических наук, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нечаев Василий Иванович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Попков Юрий Соломонович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление», Москва, Россия

Пеху Арсен Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Пшихопов Вячеслав Хасанович, доктор технических наук, профессор, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Рехвиашвили Серго Шотович, доктор физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Савин Игорь Юрьевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский университет дружбы народов, департамент рационального природопользования Института экологии, Москва, Россия

Семин Александр Николаевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Уральский государственный университет, Институт мировой экономики, Екатеринбург, Россия

Симаков Евгений Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А. Г. Лорха, Москва, Россия

Скляров Игорь Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Склярова Юлия Михайловна, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Стемпковский Александр Леонидович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Москва, Россия

Супрунов Анатолий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко, Краснодар, Россия

Темботова Фатимат Асланбиевна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Трамова Азиза Мухамадияевна, доктор экономических наук, доцент, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

Филюшин Михаил Александрович, кандидат биологических наук, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

Чочаев Алим Хусеевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральное государственное унитарное предприятие «Агронаучсервис», Москва, Россия

Шевхужев Анатолий Феоодович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

Шогенов Юрий Хасанович, академик РАН, доктор технических наук, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Москва, Россия

Юсупов Рафаэль Мидхатович, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Санкт-Петербургский институт информатики РАН, Санкт-Петербург, Россия

Янбых Рената Геннадьевна, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, доцент, профессор РАН, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

EDITORIAL BOARD

Editor in chief:

Ivanov Petr Matsovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Deputy editor in chief:

Ulavov Makhti Zeytunovich, Doctor of Philology, Professor, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Responsible secretary:

Eneeva Liana Magometovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Members of the Editorial Board:

Abazov Aleksey Khasanovich, Doctor of Historical Sciences, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Adukov Rukhman Khasainovich, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Altukhov Anatoly Ivanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Amirkhanov Khizri Amirkhanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute of History, Archeology and Ethnography of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia

Babenko Lyudmila Klementyevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Taganrog Institute of Technology, Southern Federal University, Taganrog, Russia

Barykin Sergey Evgenievich, Doctor of Economics, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Service and Trade, St. Petersburg, Russia

Bizhoev Boris Chamalovich, Doctor of Philology, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Gukezhev Vladimir Mitsakhovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Dzamikhov Kasbolat Fitsevich, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Dzyuba Vladimir Alekseevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Rice, Krasnodar, Russia

Dokholyan Sergey Vladimirovich, Doctor of Economics, Professor, Institute for Socio-Economic Research of Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Zavalin Aleksey Anatolievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

Zakshevsky Vasily Georgievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Research Institute for Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation, Voronezh, Russia

Ivanov Anatoly Betalovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Kibirov Alikhan Yakovlevich, Doctor of Economics, Professor, Federal Scientific Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Kleiner Georgy Borisovich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Komkov Nikolai Ivanovich, Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Economic Forecasting of RAS, St. Petersburg, Russia

Kotlyakov Vladimir Mikhailovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Kuzminov Valery Vasilyevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Baksan Neutrino Observatory – branch of Institute for Nuclear Research, Neutrino, Elbrus region, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Kusraev Anatoly Georgievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, North Ossetia – Alania, Russia

Mazloev Vitaly Zelimkhanovich, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Malkanduev Khamid Alievich, Doctor of Agricultural Sciences, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Mambetova Fatimat Abdullakhovna, Doctor of Economics, Associate Professor, Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Maslienko Lyubov Vasilievna, Doctor of Biological Sciences, All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit, Krasnodar, Russia

Matishov Gennady Grigorievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geography, Professor, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

Makhosheva Salima Alexandrovna, Doctor of Economics, Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Nagoev Zelimkhan Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Nechaev Vasily Ivanovich, Doctor of Economics, Professor, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Center Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Popkov Yuri Solomonovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center «Informatics and Control», Moscow, Russia

Pskhu Arsen Vladimirovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Pshikhopov Vyacheslav Khasanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Rekhviashvili Sergo Shotovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – Branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Savin Igor Yurievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Peoples Friendship University of Russia, Department of Environmental Management of the Institute of Ecology, Moscow, Russia

Semin Alexander Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Ural State University, Institute of World Economy, Department of Strategic and Production Management, Ekaterinburg, Russia

Simakov Evgeny Alekseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Potato Economy named after A.G. Lorkh, Moscow, Russia

Sklyarov Igor Yurievich, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Sklyarova Yulia Mikhailovna, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Stempkovsky Alexander Leonidovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute for Design Problems in Microelectronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Suprunov Anatoly Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, National Grain Center named after P.P. Lukyanenko, Krasnodar, Russia

Tembotova Fatimat Aslanbievna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Ecology of Mountain Territories named after A.K. Tembotov of RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Tramova Aziza Mukhamadiyevna, Doctor of Economics, Associate Professor, Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russia

Filyushin Mikhail Alexandrovich, Candidate of Biological Sciences, Federal Research Center «Fundamental Foundations of Biotechnology» of RAS, Moscow, Russia

Chochaev Alim Khuseyevich, Doctor of Economics, Professor, Federal State Unitary Enterprise «Agronauchservis», Moscow, Russia

Shevkhezhev Anatoly Foadovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

Shogenov Yuri Khasanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yusupov Rafael Midkhatovich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg Institute of Informatics of RAS, St. Petersburg, Russia

Yanbykh Renata Gennadiyevna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor, HSE University, Moscow, Russia

Системный подход к ранней диагностике деменции с использованием компьютерного эмулятора отраженных сигналов гиппокампа

С. В. Веретехина^{1,2}, М. С. Смирнов², Н. Н. Смирнов²,
Е. В. Потехина², О. И. Киреева²

¹Финансовый университет при Правительстве РФ
125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект 49/1
²Российский государственный социальный университет
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1

Аннотация. В исследовании авторы приводят новый системный подход к ранней диагностике деменции как части системы первой доврачебной помощи. Основная задача – выявить на ранней стадии возникающее заболевание. Авторами проведена обработка открытых статистических медицинских данных. Разработан алгоритм эмуляции отраженных сигналов структур гиппокампа. Обоснована необходимость проведения предсказательного моделирования и разработки модуля программного обеспечения. В исследовании представлен анализ существующих зарубежных программных решений. Проведен обзор требований медицинских стандартов. Определена среда программной реализации «программного эмулятора сигналов гиппокампа». Проведено обоснование среды программной реализации. Проведен выбор средств аппаратной реализации. Представлены этапы проектирования. Проведено описание характеристик ритмов гиппокампа. Приводится краткое описание различий показателей электроэнцефалограмм больного и здорового пациентов. Представлен процесс проектирования архитектуры эмулятора, пользовательского интерфейса. Описаны подходы к тестированию и отладке модуля программного обеспечения. В исследовании представлен алгоритм эмуляции сигналов гиппокампа. Алгоритм эмулирует показания электроэнцефалограмм сигналов головного мозга гиппокампа здорового и больного человека. Обратные отраженные сигналы снимаются по медицинским стандартам с датчиков Т3-Т6 международной системы распознавания «10-20». Разработан модуль программного обеспечения, проведено тестирование. Прилагается техническое задание на проектирование эмулятора. Разработанный эмулятор предназначен для облегчения медицинских исследований в области ранней диагностики и выявления заболеваний головного мозга. Применение эмулятора рекомендуется для коммерческих проектов, использующих отраженные сигналы гиппокамповой структуры головного мозга. Эмулятор выполнен на языке Java, является кроссплатформенным.

Ключевые слова: системный анализ, ранняя диагностика, моделирование, деменция, доврачебная помощь, гиппокамп, разработка эмулятора, отраженные сигналы

Поступила 27.07.2023, одобрена после рецензирования 07.08.2023, принята к публикации 09.08.2023

Для цитирования. Веретехина С. В., Смирнов М. С., Смирнов Н. Н., Потехина Е. В., Киреева О. И. Системный подход к ранней диагностике деменции с использованием компьютерного эмулятора отраженных сигналов гиппокампа // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 11–27. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-11-27

Systematic approach to the early diagnosis of dementia using a computer emulator of reflected hippocampal signals

S.V. Veretekhina^{1,2}, M.S. Smirnov², N.N. Smirnov²,
E.V. Potekhina², O.I. Kireeva²

¹Financial University under the Government of the Russian Federation
125167, Russia, Moscow, 49/1 Leningradsky Avenue

²Russian State Social University
129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 building

Abstract. In the study the authors adopt a new systematic approach to the early diagnosis of dementia as part of the paramedical first aid system. The main task is to identify dementia at an early stage. The authors processed open statistical medical data. An algorithm for emulating reflected signals of hippocampal structures has been developed. The necessity of predictive modeling and development of a software module is substantiated. The research presents an analysis of existing foreign software solutions. A review of the requirements of medical standards was carried out. The environment of the software implementation of the "software emulator of hippocampal signals" is defined. The substantiation of the software implementation environment is carried out. The choice of hardware implementation tools was carried out. The stages of design are presented. The characteristics of hippocampal rhythms are described. A brief description of the differences in the indicators of electroencephalograms of ill and healthy patients is given. The process of designing the architecture of the emulator and the user interface is presented. Approaches to testing and debugging of the software module are described. The study presents an algorithm for emulating hippocampal signals. The algorithm emulates the readings of electroencephalograms of brain signals of the hippocampus of a healthy and ill person. The reverse reflected signals are taken according to medical standards from the T3-T6 sensors of the international recognizing system "10-20". A software module has been developed and tested. The terms of reference for the design of the emulator is attached. The developed emulator is designed to facilitate medical research in the field of early diagnosis and detection of diseases of the brain. The use of the emulator is recommended for commercial projects using reflected signals of the hippocampal structure of the brain. The emulator is developed in Java and is cross-platform.

Keywords: system analysis, early diagnosis, modeling, dementia, paramedical first aid, hippocampus, emulator development, reflected signals

Submitted 27.07.2023,

approved after reviewing 07.08.2023,

accepted for publication 09.08.2023

For citation. Veretekhina S.V., Smirnov M.S., Smirnov N.N., Potekhina E.V., Kireeva O.I. Systematic approach to the early diagnosis of dementia using a computer emulator of reflected hippocampal signals. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 11–27. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-11-27

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью расширения математических методов системного анализа [1–3]. Использование математических практик, связанных с принятием правильных решений в условиях большого количества информации, в исследовании сводится к системному анализу. Результаты анализа данных лю-

дей, переболевших ковидом, показали наличие первой стадии заболевания деменцией у различных возрастных групп населения [4]. Объектом исследования выступают отраженные сигналы гиппокампа. Предметом исследования являются математическое моделирование, эмуляция, разработка и тестирование программного обеспечения. Цель работы: разработать приложение для программной эмуляции сигналов гиппокампа, разработать инструментарий обработки статистических данных. Для реализации поставленной задачи проведен анализ работы гиппокампа головного мозга, разработана концептуальная модель поведения системы, разработан модуль программного обеспечения, проведено тестирование модуля ПО. Область решаемых задач: проведен анализ предметной области и инструментальных средств для реализации проекта (эмулятор); разработана концептуальная модель программного эмулятора отраженных сигналов гиппокампа; разработан модуль программного обеспечения на базе концептуальной модели; обоснована эффективность применения модуля программного обеспечения в решении задач предсказательного моделирования. В настоящий момент существует небольшое количество решений, позволяющих эмулировать показания электроэнцефалограммы (ЭЭГ), как коммерческих, так и свободно распространяемых, но ни одно из них не позволяет удобно встраивать их в свои программные решения для тестирования, исследования и разработки программных решений обработки сигналов ЭЭГ.

Рассмотрим зарубежные решения, представленные в открытом доступе. *Simulated EEG data generator* – проект, созданный при Оксфордском университете студентами Yeung N., Bogacz R., Holroyd C., Nieuwenhuis S., Cohen J. Этот проект позволяет загружать функции Matlab, генерирующие имитированные данные ЭЭГ. Согласно теории сброса фазы экспериментальные события сбрасывают фазу продолжающихся колебаний. «В частности, мы внедрили метод генерации данных путем сброса фазы», предложенный Varzegaran E. et al. [5]. Функции, доступные в этом проекте, генерируют данные в формате EEGLAB – популярного инструмента для анализа данных ЭЭГ. *SimMEEG* – это пакет программного обеспечения Sim Signals с открытым кодом. Был разработан для моделирования простых и сложных взаимодействий между источниками, которые могут быть легко параметризованы начинающими и опытными пользователями^{1,2,3}.

В исследовании Makeig S., Bell A.J. описаны принципы обработки, подходы к имитационному моделированию [8]. В работе Niedermeyer E., Lopes da Silva F. приведены базисы проведения электроэнцефалограмм [9]. В исследовании зарубежных ученых Tumkaya S., Karadag F., Jellema и др. описаны симптомы пациентов с обсессивно-компульсивными расстройствами, связанными с потерей геометрического расстояния и визуального восприятия, что является предвестником состояния одной из фаз деменции [10].

¹ Tutorials/Simulations FrancoisTadel 2022-08-05 10:50:46. Режим доступа: <https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/Tutorials/Simulations>

² MathWorks is the leading developer of mathematical computing software for engineers and scientists. 2023 The MathWorks, Inc. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

³ Brain Network Functional Connectivity (FC) Simulator. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2020.109045>. Режим доступа: <https://audiospeech.ubc.ca/research/brane/brane-lab-software/>

Пользователи могут вводить основные параметры сигнала (например, частоту, амплитуду, взаимодействие фаз и корреляции фазы и амплитуды) для имитации сигналов мозга, которые приближаются к сигналам ЭЭГ и магнитоэнцефалографии (МЭГ). Абсолютная достоверность неизвестна в данных ЭЭГ/МЭГ, записанных человеком, из-за некорректной обратной задачи, поэтому моделирование данных с известными достоверными данными может быть полезно для проверки анализа, к которому они подходят, прежде чем они используются для анализа ЭЭГ/МЭГ, записанных человеком. Таким образом, цель разработки Sim Signals – создать программное обеспечение, которое должно предоставить в руки начинающих и опытных ИТ-пользователей легко поддающиеся количественной оценке симуляции сигналов ЭЭГ/МЭГ для проверки / подтверждения (зная основные истины) их аналитических конвейеров. Данный программный пакет также основан на программном решении Matlab и не подразумевает возможности встроить его в свое программное решение.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существующие апробированные методы исследования деменции не нацелены на **выявление первой стадии**, которая поддается лечению. Несмотря на то, что на данный момент в мире отсутствует один-единственный и наилучший стандарт записи ЭЭГ, научным и медицинским сообществом были приняты некоторые стандарты, которые являются обязательным минимумом, при выполнении обычной клинической записи ЭЭГ. Для получения наиболее объективной информации о пациенте рекомендуется вести запись с как можно большего количества каналов (электродов). Минимальное необходимое количество каналов (электродов) – 16 единиц. Для проведения мониторинга других физиологических показателей может потребоваться больше дополнительных каналов. Однако стоит сразу отметить, что в рамках проводимого исследования и при последующей разработке не стоит цель эмулировать полную работу головного мозга и протекающих в нем процессов. Как следствие следует сосредоточиться на тех каналах, которые будут эмулировать сигналы непосредственно из интересующей нас зоны головного мозга – гиппокампа, а конкретнее – каналы (электроды), что подключаются к темпоральной области головного мозга. Электрическая монтажная схема каналов (электродов) должна иметь заземление и соответствовать стандартам техники безопасности. Регистрирующие электроды не должны иметь собственный шум. Они не должны существенно уменьшать сигналы в диапазоне от 0,5 до 70 Гц. В рамках исследования подразумевается, что шум будет отсутствовать. Необходимо использовать 21 электрод в соответствии с их расположением согласно рекомендациям Международной федерации клинической нейрофизиологии. Такая система расположения электродов называется «система 10-20». В рамках исследования необходимость эмуляции электродов вне интересующей нас области отпадает. Перед началом исследования важно проверить электродный импеданс. Импеданс не должен превышать 5000 Ом. В рамках исследования и разработки импеданс будет считаться идеальным, то есть равным нулю. При проведении реальных ЭЭГ-записей необходимо проводить калибровку. Проведение калибровки

позволяет получить масштабирующий фактор для интерпритатора, требуемую чувствительность, характеристики фильтров и уровень шумов. Чувствительность ЭЭГ-прибора должна варьироваться от 5 до 10 мкВ/мм. Она определяется как отношение входного вольтажа к размаху пера. Стандартно используется величина 7 мкВ/мм, что соответствует отклонению пера на 7,1 мм при подаче сигнала в 50 мкВ. Чувствительность будет обратно пропорциональна размаху пера. Чрезмерное снижение чувствительности приведет к тому, что низкоамплитудная активность станет неразличимой, и, наоборот, высокая чувствительность приведет к срезанию верхушки волн.

Проектирование

Разработка комплекса осуществлялась в несколько этапов: изучение теоретической базы; разработка программного кода для различных функциональных блоков; написание общего программного кода; тестирование и отладка ПО. Основа любого проекта – это теория, на основе которой будет строиться дальнейшая разработка программного продукта. Энцефалограмма головного мозга, или ЭЭГ – это информативный метод диагностики состояния центральной нервной системы. Способ основан на измерении и оценке электрической активности, биоэлектрических потенциалов коры головного мозга. Энцефалография универсальна, позволяет выявить многие функциональные расстройства работы центральной нервной системы, в том числе эпилепсию и последствия опухолей. Но для точного понимания сути ситуации важен опыт. От его наличия зависит качество расшифровки полученных данных. Электроэнцефалография – универсальный и информативный метод диагностики заболеваний центральной нервной системы. Отклонения в биоэлектрической активности мозга при наличии заболеваний есть всегда. Но не во всех случаях врач может корректно расшифровать показатели ЭЭГ. В данном проекте ключевую роль играет эмуляция показаний датчиков ЭЭГ. Всего различают несколько ритмов ЭЭГ. Ритм ЭЭГ – регулярный (имеющий постоянную частоту) тип электрической активности, соответствующий некоторому определенному состоянию мозга и связанный с определенными церебральными механизмами. При описании ритма указываются его частота, типичная для определенного состояния и области мозга, амплитуда и некоторые характерные черты его изменений во времени при изменениях функциональной активности мозга. Основные ритмы ЭЭГ связаны с различными состояниями здоровья человека.

Описание сигналов

Альфа-ритм (Альфа α)

Альфа-ритм – регулярный, синусоидальной формы, с частотой 8–13 Гц (колебаний в 1 с) и амплитудой 20–80 мкВ (микровольт). Альфа-ритм регистрируется при отведении биопотенциалов от всех зон коры большого мозга, но более постоянно – от затылочной и теменной областей. Альфа-ритм регистрируется у человека в условиях физического и умственного покоя, обязательно при закрытых глазах и отсутствии внешних раздражений.

Бета-ритм (Бета β)

Бета-ритм имеет частоту колебаний 14–35 Гц. Амплитуда 10–30 мкВ. Может быть зарегистрирован в любых областях мозга, но более выражен в лобных долях. При открывании глаз, умственной работе и других раздражителях альфа-ритм быстро сменяется бета-ритмом. Это явление смены редкого ритма на более частый получило название реакции активации (или десинхронизации).

Тета-ритм (Тета θ)

Тета-ритм имеет частоту 4–7 Гц и амплитуду 100–150 мкВ. Наблюдается в состоянии неглубокого сна, при кислородном голодании мозга, наркозе.

Дельта-ритм (Дельта δ)

Дельта-ритм характеризуется медленными колебаниями с частотой 0,5–3 Гц, высокой амплитудой 250–300 мкВ вплоть до 1000 мкВ. Обнаруживается во всех зонах мозга, во время глубокого сна, а также при наркозе. У детей до 7 лет дельта-ритм может быть зарегистрирован и в бодрствующем состоянии.

Сенсомоторный ритм – мю-ритм (Мю μ)

Близкий по частоте альфа-эквивалент, регистрируемый над центральными и центрально-теменными отделами, носит название сенсомоторный или роландический ритм, поскольку максимальную выраженность он имеет в проекции роландовой борозды. Считается, что роландический ритм был впервые подробно описан Гасто в 1958 г. Этот ритм имеет характерную форму волн: аркообразные волны с закругленными вершинами и «острыми» основаниями, напоминающими греческую букву μ . Поэтому существует еще одно название сенсомоторного ритма – мю-ритм. Мю-ритм, как и альфа-ритм, подвержен депрессии при реакции активации. Но в отличие от альфа-ритма мю-ритм угнетается при двигательной активности: произвольной (сжатие пальцев в кулак), рефлексорной и даже при намерении движения. В состоянии бодрствования над средневисочными отделами могут быть зарегистрированы немодулированные каппа-волны частотой 8–12 Гц и тау-ритм частотой 10–12 Гц. Считается, что регистрации на ЭЭГ этих ритмов препятствуют кости черепа, и чаще альфа-эквиваленты могут быть зарегистрированы при наличии дефектов подлежащих костных структур. Тау-ритм избирательно чувствителен к слуховым стимулам, счету в уме и другим видам умственной деятельности.

Лямбда-волны

Существует еще один феномен: лямбда-волны – заостренные однофазные колебания обычно в альфа- или реже в тета-диапазонах частот амплитудой до 30–50 мкВ, регистрируемые в затылочных отведениях во время работы (!) зрительного анализатора (например, при демонстрации визуальных изображений). Считается, что лямбда-волны связаны с саккадическими движениями глаз при рассматривании сложных изображений.

Таблица 1. Описание ритмов энцефаллограмм головного мозга**Table 1.** Description of brain encephalogram rhythms

Ритм	Частота	Местонахождение	Обычные проявления
Дельта δ	0–4	Фронтально у взрослых, постериально у детей; волны высокой амплитуды	Глубокий сон у взрослых, у детей. Глубокий наркоз и коматозные состояния. Присутствует во время выполнения заданий на внимание
Тета θ	4–7	Гиппокамп, кора	Ритм у младенцев. Сонливость или пробуждение у подростков или взрослых Простой (бездействие). Связан с угнетением отклика на стимулы (был найден в ситуациях, когда субъект активно пытается сдержать какое-то действие или реакцию). При гипоксии и неглубоком наркозе
Альфа α	8–12	Постериальные участки головы, с обеих сторон, но с большей амплитудой на недоминантной стороне. Центральные локации (с3-с4) во время отдыха	В расслабленном состоянии. С закрытыми глазами. Также принимает участие в контроле сдерживания, вероятно, с целью планирования тормозной активности в различных участках мозга. Пограничное состояние между сном и пробуждением. Медитация. Погружение в мечты и фантазии
Бета β	13–30	Обе стороны, больше всего фронтально; волны малой амплитуды	Повышенное внимание. Активная концентрация, занятость или тревожное мышление. Умственная активность. Решение сложных задач
Гамма γ	30–100+	Соматосенсорная кора	Активное обучение. Творческая деятельность. Межмодальная обработка сенсорной информации (восприятие сочетает два различных ощущения, например, звук и визуальная картинка). Во время работы кратковременной памяти (распознавание объектов, звуков, тактильных ощущений). Во время разговора
Мю μ	8 – 13	Соматосенсорная и моторная кора	Моторные нейроны во время бездействия

Гиппокамп – это часть гиппокампофой формации и лимбического отдела головного мозга. Гиппокамп является важной частью мозга, участвует в механизме формирования эмоций, консолидации памяти, а также помогает формировать пространственную память, необходимую для навигации в пространстве. При удержании внимания генерирует тета-ритм. Гиппокамп присутствует у всех позвоночных видов. Человек имеет две взаимосвязанные части – правильный гиппокамп и зубчатую извилину. Гиппокамп принадлежит к одной из наиболее старых систем мозга – лимбической, чем обуславливается его значительная multifunctionality. Предположительно гиппокамп выделяет и удерживает в

потоке внешних стимулов важную информацию, выполняя функцию кратковременной памяти и функцию последующего ее перевода в долговременную. Большинство исследователей согласны с тем, что гиппокамп связан с памятью, но механизм его работы еще не ясен. Существует теория «памяти двух состояний» о том, что гиппокамп удерживает информацию в бодрствовании и переводит ее в кору больших полушарий во время сна. Еще одной функцией гиппокампа является запоминание и кодирование окружающего пространства (пространственные способности), в связи с чем он активируется всякий раз, когда необходимо удержать в фокусе внимания внешние ориентиры, определяющие вектор поведения.

ВЫБОРКА РЕАЛЬНЫХ ЭЭГ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ И БОЛЬНЫХ ДЕМЕНЦИЕЙ И АЛЬЦГЕЙМЕРОМ

В результате проведенного исследования были проанализированы результаты реальных ЭЭГ здоровых людей и больных деменцией и болезнью Альцгеймера. В выборке были представлены мужчины и женщины в равных соотношениях 50 на 50. Суммарно было проанализировано 95 записей ЭЭГ длительностью до 20 минут, из которых:

- 61 (чел.) – здоровые люди в состоянии сосредоточенности, две возрастные группы – от 34 до 56 лет и от 56 до 77 лет;
- 13 (чел.) – больные деменцией, одна возрастная группа от 56 до 77 лет;
- 21 (чел.) – люди с болезнью Альцгеймера, две возрастные группы – от 34 до 56 лет и от 56 до 77 лет.

Результаты анализа:

1. *Среди здоровых людей* среднее изменение уровня сигнала $\Delta Y = 14,4583$ мкВ, среднее максимальное изменение уровня сигнала $\Delta Y_{\max} = 36,3076$ мкВ, среднее минимальное изменение уровня сигнала $\Delta Y_{\min} = 1,0169$ мкВ. Частота была от 4 до 8 Гц, средняя частота равнялась $\nu_{\text{ср}} = 5,89$ Гц, амплитуда сигнала без учета всплесков мозговой активности – до 35 мкВ, с учетом всплесков – до 90 мкВ. Среднее значение отклонения относительно установленного ритма составило $d_{\text{ср}} = 7,6233$ мкВ, среднее значение сигнала при всплесках активности составило 62,3556 мкВ.

2. *Среди больных Альцгеймером* среднее изменение уровня сигнала $\Delta Y = 16,0107$ мкВ, среднее максимальное изменение уровня сигнала $\Delta Y_{\max} = 43,9946$ мкВ, среднее минимальное изменение уровня сигнала $\Delta Y_{\min} = 0,7842$ мкВ. Частота была от 3 до 7,5 Гц, средняя частота равнялась $\nu_{\text{ср}} = 4,23$ Гц, амплитуда сигнала без учета всплесков мозговой активности – до 55 мкВ, с учетом всплесков – до 120 мкВ. Среднее значение отклонения относительно установленного ритма составило $d_{\text{ср}} = 12,3477$ мкВ, среднее значение сигнала при всплесках активности составило 96,7549 мкВ.

3. *Среди больных деменцией* среднее изменение уровня сигнала $\Delta Y = 15,4956$ мкВ, среднее максимальное изменение уровня сигнала $\Delta Y_{\max} = 71,8875$ мкВ, среднее минимальное изменение уровня сигнала $\Delta Y_{\min} = 2,8651$ мкВ. Частота была от 0,5 до 5,2 Гц, средняя частота равнялась $\nu_{\text{ср}} = 2,87$ Гц, амплитуда сигнала без учета всплесков мозговой активности – до 75 мкВ, с учетом всплесков – до 180 мкВ. Среднее значение отклонения относительно установленного ритма составило $d_{\text{ср}} = 23,9572$ мкВ, среднее значение сигнала при всплесках активности составило 131,7099 мкВ. Также наблю-

далась высокая хаотичность сигналов, что вкупе с малой доступностью открытых банков данных ЭЭГ подобных больных может поставить под сомнение приведенные выше результаты исследования больных деменцией людей.

Разработка программного кода

Изучив работу ритмов отраженных сигналов, можно приступить к разработке программного кода. Так как любые данные ЭЭГ содержат измерения с временным промежутком, кратным 20 миллисекундам, проект должен в режиме реального времени раз в 20 миллисекунд давать показания с выбранных датчиков и выводить их на экран. Гиппокамп находится в глубине височных долей головного мозга. Согласно международной системе «10-20» – методу расположения электродов кожи головы – при проведении исследования ЭЭГ электроды располагаются так, что расстояние до любого электрода будет равно 10 % либо 20 % измеренных индивидуально размеров головы. Данный метод был разработан специально для поддержки стандартизированных методов тестирования, воспроизведения, анализа и сравнения результатов проводимых исследований с использованием научного метода. Основой данной системы является взаимосвязь расположения электрода и области мозга [6, 7].

Расположение электродов

Так, электроды Fp 1-2 являются переднелобными, F 3-4 – лобными, Fz – среднелобными, C 3-4 – центральными, Cz – центральновертексными, P 3-4 – теменными, Pz – центральнотеменными, F 7-8 – передневисочными, T 3-4 – средневисочными, T 5-6 – задневисочными, O 1-2 – затылочными, A 1-2 – ушными (рис. 1).

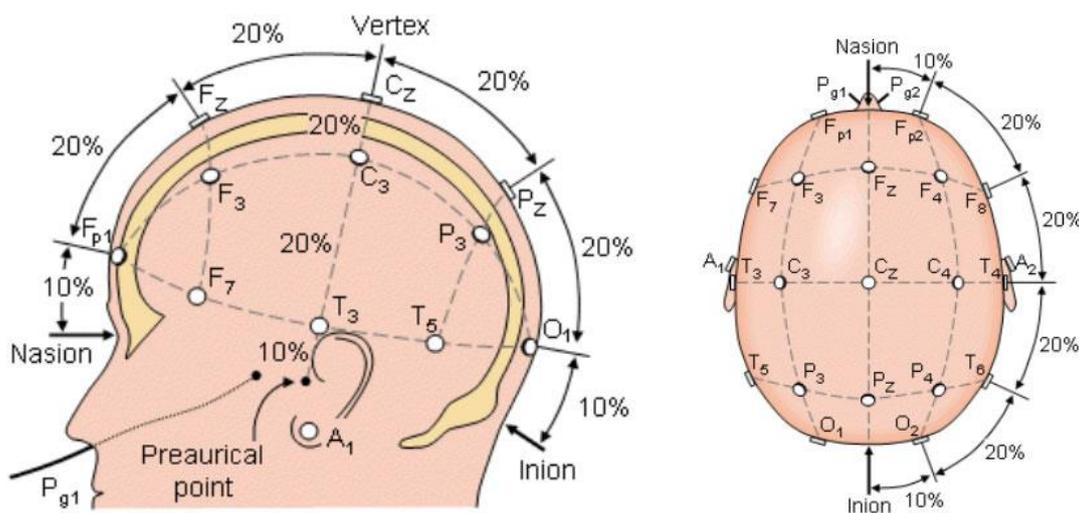


Рис. 1. Международная система «10-20»

Fig. 1. The international system "10-20"

С учетом всего вышеперечисленного основной задачей программы является генерация показаний датчиков ЭЭГ височных и задневисочных долей (Т3-Т6) и их вывод на экран. Последовательность операций при работе с программным эмулятором отображена алгоритмом (рис. 2).

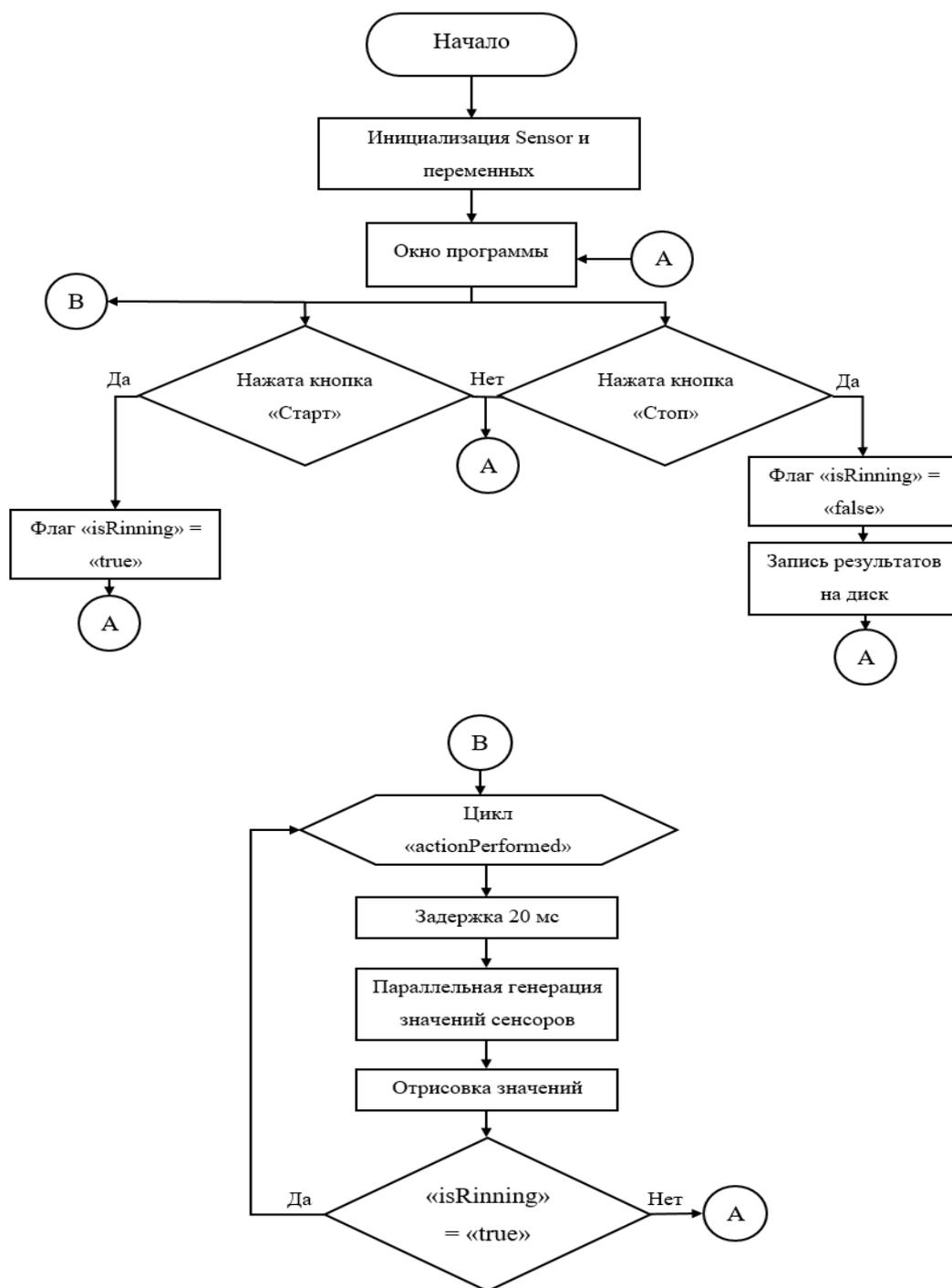


Рис. 2. Алгоритм работы программного эмулятора

Fig. 2. The work algorithm of the software emulator

Проведены обзор и анализ средств реализации проекта «программный эмулятор сигналов гиппокампа», выбор средств аппаратной и программной реализаций. Проведено сравнение существующего программного обеспечения и технических характеристик (см. раздел «Введение»). Проанализированы необходимые данные для разработки и проектирования программной архитектуры проекта «программный эмулятор сигналов гиппокампа». В результате проведенного исследования авторами предложен алгоритм работы программ-

ного эмулятора сигналов гиппокампа. Разработка эмулятора осуществлялась в несколько этапов: анализ открытых медицинских данных; разработка программного кода для различных функциональных блоков, объединяющих отдельные элементы в один целый макет; написание общего программного кода, тестирование и отладка.

РАЗРАБОТКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММЫ ПРОГРАММНОГО ЭМУЛЯТОРА СИГНАЛОВ ГИППОКАМПА

Реализация проекта осуществлялась на языке программирования Java в среде разработки Apache NET Beans IDE операционной системы Windows. Для написания программного кода была выбрана среда разработки Apache NET Beans IDE 15. Данное ПО разрабатывается сообществом разработчиков-энтузиастов и спонсируется компанией Oracle. Оно доступно для таких операционных систем, как Windows, Linux, Mac OSX и BSD. В начале программирования создается проект, присваивается название, дается название главного класса. При разработке программы следует написать алгоритмы работы для каждого класса. Всего в программе будет три класса: «Emulator Signalov Gippocampa NBP», «Start Stop Window» и «Sensor». Алгоритм класса «Emulator Signalov Gippocampa NBP». Создание экземпляра класса «Start Stop Window». Алгоритм класса «Start Stop Window». Инициализация переменных (выделение памяти для дата сетов значений и отображаемых графиков); создание экземпляров класса «Sensor», а также вспомогательных переменных (динамических массивов значений датчиков и времени); создание отображаемого окна, а именно: установка заголовка окна, создание кнопок, добавление обработчика событий для кнопок, создание панели размещения кнопок, установка компоновщика BorderLayout и добавление панели с кнопками в южную (нижнюю) часть окна, инициализация графиков, изменение рендерера графика для соединения точек линиями и отключения отображения точек, установка отображения линий, отключение отображения точек, создание панелей для размещения графика, добавление панелей с графиком в окно, установка размеров окна и видимость; запуск основного цикла main, который вызывает функцию action Performed, где с помощью оператора if проверяется значение флага isRunning. Если isRunning = false, то ничего не происходит, иначе переходим к следующему пункту алгоритма.

1. Параллельный расчет значений сенсоров с помощью функции .run();
2. Передача значений в дата сет и их последующее рисование на графике.
3. Сохранение результата после нажатия кнопки «Стоп» в папку «Мои документы», алгоритм «Sensor».
4. Инициализация переменных (текущее значение датчика, время работы сенсора, переменная типа работы датчика, переменная зерна для синхронизации показаний датчиков).
5. При работе с классом будет вызвана функция run(), являющаяся основной функцией в классе. При ее вызове с помощью оператора switch выбирается нужный алгоритм типа работы датчика, а также инкрементируется переменная времени.
6. Происходит расчет текущего значения датчика с помощью функций на рис. 3, 4 и 5, где i – количество отрезков времени, равных 20 миллисекундам, $\text{Math.sin}()$ – возвраща-

ет синус от радиан, `Math.toRadians()` – возвращает значение угла в радианах, а `rand.nextDouble()` и `Math.random()` – возвращают псевдослучайное и случайное значение числа от 0 до 1 соответственно. `AdditionalDelta()` – добавление дополнительного дельта-ритма, `makeSplash()` – функция добавления дополнительного всплеска мозговой активности.

7. Сохранение текущего значения и времени датчика.

```
private double osciTypeTeta(double i) { // Тета ритм 4-8 Гц.
    double ret = 0.0;
    if (i > splashStart && i < splashEnd) {
        ret += makeSplash(splashLength);
    }
    if (i > splashEnd) {
        splashStart = i + 50 + (100.0*rand.nextDouble());
        splashLength = 20.0 + 25.0*rand.nextDouble();
        splashEnd = splashStart + splashLength;
    }

    ret += additionalDelta(i) + ( Math.sin( a:Math.toRadians(
        (i*7.2*tetaFrequency)+(28.8*rand.nextDouble()) ))
        *(5.0+(15.0*Math.random())) );
    return ret;
}
```

Рис. 3. Функция `osciTypeTeta()`

Fig. 3. The `osciTypeTeta()` function

```
private double makeSplash(double splashLength) {
    splashI += 1.0;
    return Math.sin( a:Math.toRadians( splashI*(180.0/splashLength) ))
        *(25.0+(15.0*Math.random()));
}
```

Рис. 4. Функция `makeSplash()`

Fig. 4. The `makeSplash()` function

```
private double additionalDelta(double i) {
    return ( Math.sin( a:Math.toRadians( (i*7.2)+(21.6*rand.nextDouble()) ))
        *(2.0+(8.0*Math.random())) );
}
```

Рис. 5. Функция `additionalDelta()`

Fig. 5. The `additionalDelta()` function

ОПИСАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ЭМУЛЯТОРА

Пользовательский интерфейс представляет собой окно, в котором изображены графики эмулированных показаний с датчиков и кнопки управления программой (рис. 6).

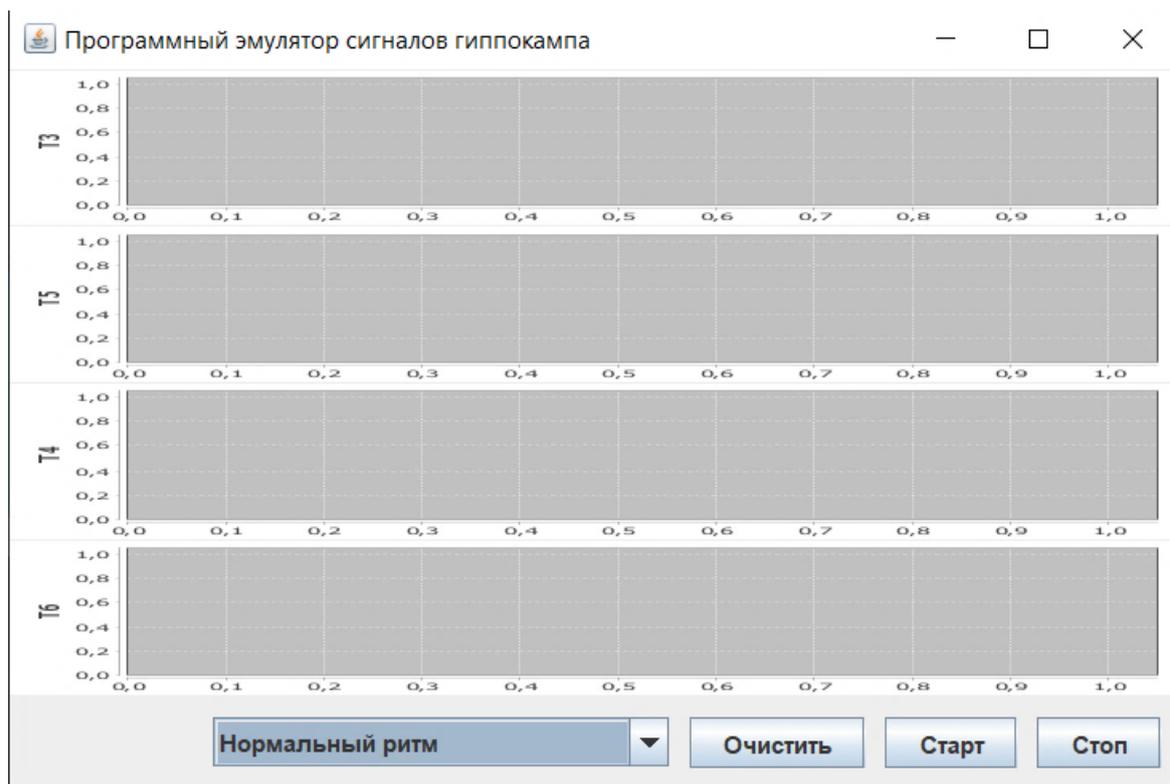


Рис. 6. Пользовательский интерфейс

Fig. 6. User interface

В процессе работы эмулятора: запуск эмуляции с помощью кнопки «Старт»; эмуляция показаний в реальном времени; остановка симуляции с помощью кнопки «Стоп»; запись ее в файл. В ходе разработки написан код программы.

ТЕСТИРОВАНИЕ И ОТЛАДКА ПРОГРАММНОГО ЭМУЛЯТОРА СИГНАЛОВ ГИППОКАМПА

Тестирование проведено на разработанном программно-аппаратном тренировочном (игровом) комплексе. Тестирование было разделено на два основных этапа:

1. Первый этап – проверка на надежность. Суть данного этапа сводится к наблюдению за работающей программой. При наблюдении тщательно записываются все события, выходящие за пределы нормальной работы эмулятора. Основной задачей во время наблюдения было выявление ошибок, которые могут привести к некорректной работе программы. В данном случае к ним относятся: «зависание» или экстренное прекращение работы разработанной программы, чрезмерная нагрузка на ЦП либо чрезмерное заполнение ОЗУ. В результате выполнения первого этапа тестирования никаких отклонений в работе системы выявлено не было.

2. Второй этап – проверка работоспособности всего заложенного функционала программы. При выявлении проблем на втором этапе проверяется программный код, реализующий конкретную функцию. Данный этап подразумевает тестирование работы следующих функций программы: проверка функции начала эмуляции; проверка функции остановки эмуляции; проверка функции сохранения эмуляции; проверка функции отображения результатов эмуляции. В результате проведения второго этапа тестирования не было выявлено ни одного нарушения в работе функций разработанного

эмулятора. Тестирование, мониторинг и всевозможные проверки осуществлялись в течение месяца. По окончании всех процессов тестирования не было выявлено никаких ошибок, которые могли привести к неправильной работе всех основных функций разработанной программы.

Математический инструментарий оценки волновых процессов для программного эмулятора в процессе разработки имеет сравнительную природу по количественным и качественным характеристикам в оценке состояний больного и здорового человека. Математический инструментарий оценки волновых процессов опирается на алгоритмы схожести Рассела и Рао. Среди существующих алгоритмов схожести Жокара и Нидмена, Дайса, Сокаля и Снифа, Сокаля и Миншера, Кульжинского, Юла алгоритм схожести Рассела и Рао применяется в кластерном анализе, удобен для формирования наборов атрибутов физических явлений, в т.ч. волновых процессов.

Программный эмулятор сигналов гиппокампа прошел тестирование и отладку, проверена корректность его работы, составлена техническая документация. Программный эмулятор сигналов гиппокампа предоставляется⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поведена установка программного эмулятора сигналов гиппокампа, произведены тестирование и отладка, проверена корректность работы эмулятора, составлена техническая документация. В результате исследования анализ медицинских данных пациентов показал широту охвата, а именно: проведен анализ 61 записи ЭЭГ здоровых людей двух возрастных групп – от 34 до 56 лет и от 56 до 77 лет в состоянии сосредоточенности; 13 записей ЭЭГ людей, больных деменцией, в возрасте от 56 до 77 лет; 21 записи людей, больных Альцгеймером, двух возрастных групп – от 34 до 56 лет и от 56 до 77 лет. В результате исследования разработан алгоритм работы модуля программного обеспечения. Разработанный эмулятор предназначен для облегчения будущих исследований и разработок в области предсказательной диагностики (ранней диагностики) и выявления заболеваний головного мозга в части нарушений работы гиппокамповой структуры головного мозга. Применение эмулятора рекомендуется для коммерческих проектов, нацеленных на моделирование отраженных сигналов. Эмулятор выполнен на языке Java, является кроссплатформенным, его работа возможна на любой АРМ, где установлен JRE компании Oracle. Управление эмулятором осуществляется через графический интерфейс. Результаты сохраняются в .xls формате в разделе документов текущего пользователя. Авторами предлагается применение «программного эмулятора сигналов гиппокампа» как инструмента первой доврачебной помощи в предсказательном моделировании состояния пациента на выявление первой стадии деменции. Системный подход представлен как совокупность подходов к ранней диагностике заболевания. Системный подход – это подход, при котором система рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов, на входе которой имеются различные данные, моделирование поведения системы определяет решение (есть заболевание или его нет), обратная связь – это корректировка входных данных для моделирования требуемого состояния.

⁴ Программный эмулятор сигналов гиппокампа. URL: <https://github.com/makcims99/EmulatorEEG>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании авторами представлена модель «программного эмулятора сигналов гиппокампа» головного мозга человека. Опираясь на теоретические материалы предыдущих исследований отечественных и зарубежных ученых, авторы рассмотрели возможность разработки электронного контента для визуализации результатов исследования для образовательных учреждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бозиева А. М., Дзамихова Ф. Х.* Модель интеллектуальной системы, основанной на нечеткой логике, в задачах оценки деятельности высшего учебного заведения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 1(111). С. 11–17. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-11-17.
2. *Котлярова И. О.* Технологии искусственного интеллекта в образовании // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. 2022. Т. 14. № 3. С. 69–82. DOI: 10.14529/ped220307.
3. *Веретехина С. В.* Методика расчета комплектов запасных частей и принадлежностей, экспортируемых наукоемких изделий // Russian economic bulletin. 2021. Т. 4(5). С. 108–121.
4. *Dubey S., Das S., Ghosh R. et al.* The Effects of SARS-CoV-2 Infection on the Cognitive Functioning of Patients with Pre-Existing Dementia // J Alzheimers Dis Rep. 2023. Vol. 14. No. 7(1). Pp. 119–128. DOI: 10.3233/ADR-220090.
5. *Barzegaran E., Bosse S., J Kohler P. et al.* EEGSourceSim: A framework for realistic simulation of EEG scalp data using MRI-based forward models and biologically plausible signals and noise // J Neurosci Methods. 2019. Vol. 328. P. 108377. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2019.108377.
6. *Смирнов Н. Н., Веретехина С. В.* Управление размером временного хранения данных приложений под управлением операционной системы ANDROID. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 202664694, 03.08.2022. Заявка № 2022663283 от 20.07.2022.
7. *Веретехина С. В., Кармицкий К. С., Лукашин Д. Д. и др.* Программирование, тестирование, проектирование, нейросети, технологии аппаратно-программных средств (практические задания и способы их решения): учебник. Москва: Директ-Медиа, 2022. С. 144.
8. *Makeig S., Bell A.J., Jung T.-P. et al.* Independent component analysis of electroencephalographic data. In: D. Touretzky, M. Mozer and M. Hasselmo (Eds). Advances in Neural Information Processing Systems. 1996. Vol. 8. Pp. 145–151. URL: https://sccn.ucsd.edu/~scott/pdf/ICA_NIPS96.pdf
9. *Niedermeyer E., Lopes da Silva F.* Electroencephalography. Basis, principles, clinical applications related fields. Philadelphia-Baltimore NY: Lippincott Williams & Wilkins, 2005. 1309 p.
10. *G. Ateski F.K., Ozdel O., Oguzhanoglu N.K. et al.* Involuntary integration into a social network in patients with obsessive-compulsive disorder. 2014. Vol. 55(1). Pp. 137–144. DOI: 10.1016/j.comppsy.2013.08.007.

REFERENCES

1. Bozieva A.M., Dzamikhova F.Kh. A model of an intellectual system based on fuzzy logic in the tasks of assessing the activities of a higher educational institution. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 1(111). Pp. 11–17. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-11-17. (In Russian)
2. Kotlyarova I.O. Artificial intelligence technologies in education. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Educational Sciences*. 2022. Vol. 14. No. 3. Pp. 69–82. DOI: 10.14529/ped220307. (In Russian)
3. Veretekhina S.V. Method of calculation of sets of spare parts and accessories, exported high-tech products. *Russian Economic Bulletin*. 2021. Vol. 4(5). Pp. 108–121. (In Russian)
4. Dubey S., Das S., Ghosh R. et al. The Effects of SARS-CoV-2 Infection on the Cognitive Functioning of Patients with Pre-Existing Dementia. *J Alzheimers Dis Rep*. 2023. Vol. 14. No. 7(1). Pp. 119–128. DOI: 10.3233/ADR-220090.
5. Barzegaran E., Bosse S., J Kohler P. et al. EEGSourceSim: A framework for realistic simulation of EEG scalp data using MRI-based forward models and biologically plausible signals and noise. *J Neurosci Methods*. 2019. Vol. 328. P. 108377. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2019.108377.
6. Smirnov N.N., Veretekhina S.V. *Upravleniye razmerom vremennogo khraneniya dannykh prilozheniy pod upravleniyem operatsionnoy sistemy ANDROID* [Controlling the size of temporary storage of application data under the control of the ANDROID operating system]. Certificate of registration of the computer program 202664694, 08/03/2022. Application No. 2022663283 dated 07/20/2022. (In Russian)
7. Veretekhina S.V., Karmitsky K.S., Lukashin D.D. *Programmirovaniye, testirovaniye, proyektirovaniye, neyroseti, tekhnologii appartno-programmnykh sredstv (prakticheskie zadaniya i sposoby ikh resheniya)* [Programming, testing, design, neural networks, hardware and software technologies (practical tasks and ways to solve them)]: textbook. Moscow: Direkt-Media, 2022. P. 144. (In Russian)
8. Makeig S., Bell A.J., Jung T.-P. et al. Independent component analysis of electroencephalographic data. In: *D. Touretzky, M. Mozer and M. Hasselmo (Eds). Advances in Neural Information Processing Systems*. 1996. Vol. 8. Pp. 145–151. URL: https://sccn.ucsd.edu/~scott/pdf/ICA_NIPS96.pdf
9. Niedermeyer E., Lopes da Silva F. *Electroencephalography. Basis, principles, clinical applications related fields*. Philadelphia-Baltimore NY: Lippincott Williams & Wilkins, 2005. 1309 p.
10. G. Ateski F.K., Ozdel O., Oguzhanoglu N.K. et al. Involuntary integration into a social network in patients with obsessive-compulsive disorder. 2014. Vol. 55(1). Pp. 137–144. DOI: 10.1016/j.comppsy.2013.08.007.

Информация об авторах

Веретехина Светлана Валерьевна, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный социальный университет, докторант Финансового университета при Правительстве РФ; 129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1; 125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект 49/1; Veretehinas@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3014-5027>

Смирнов Максим Сергеевич, студент, Российский государственный социальный университет;
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1;
maksims99@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5002-753X>

Смирнов Николай Николаевич, аспирант, Российский государственный социальный университет;
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1;
sheshire1711@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8918-1650>

Потехина Елена Витальевна, д-р экон. наук, профессор, Российский государственный социальный университет;
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1;
elengapotechina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7995-7424>

Киреева Ольга Ильинична, канд. физ.-мат. наук, доцент, Российский государственный социальный университет;
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1;
kireeva_oi@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6182-0868>

Information about the authors

Veretekhina Svetlana Valerievna, Candidate of Economics, Associate Professor, Doctoral Student of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Russian State Social University;

129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 Building;
125167, Russia, Moscow, 49/1 Leningradsky Avenue;
Veretehinas@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3014-5027>

Smirnov Maxim Sergeevich, student, Russian State Social University;
129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 Building;
maksims99@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5002-753X>

Smirnov Nikolay Nikolaevich, postgraduate student, Russian State Social University;
129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 Building;
sheshire1711@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8918-1650>

Potekhina Elena Vitalievna, Doctor of Economics, Professor, Russian State Social University;
129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 Building;
elengapotechina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7995-7424>

Kireeva Olga Ilyinichna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Russian State Social University;
129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 Building;
kireeva_oi@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6182-0868>

===== АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ =====
И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 629.576, 681.5

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-28-38

EDN: BUIAPK

**Проектирование высокоскоростного магистрального экранолета
в наземно-эстакадном исполнении**

А. Ф. Закураев¹, А. В. Рябков²

¹Неаффилированный автор

²Тюменский индустриальный университет
680032, Россия, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72

Аннотация. В статье изложены особенности конструкции и проектирования экранолета на эстакаде. Были рассмотрены вопросы проектирования профиля лотка, различных форм крыла и фюзеляжа, а также эстакады с эллиптическими конструкциями. Для перевозки пассажиров и грузов предлагается использовать эллипсный экранолет, движущийся по лотку криволинейной формы (эстакады), с использованием эффекта экрана на высоте не более 2,5 метра с применением в качестве движителя 6 двухконтурных электровентиляторных двигателей. Для направляющих несущей части предлагается использовать композиционные материалы модульного типа. В настоящей работе разработаны проектные решения различных вариантов экранолета, оснащенного бесшумными воздушными винтами с использованием экранного эффекта с параболическими направляющими наземно-эстакадного исполнения для прокладки многофункциональной высокоскоростной магистральной трассы между мегацентрами России и между странами. Новизна исследований заключается в том, что предложено разработать новые транспортные системы, позволяющие совершенствовать пассажирские и грузовые перевозки на новой конструктивно-технологической основе в виде экранолета с направляющими наземно-эстакадного исполнения.

Ключевые слова: экранолет, эллипс, криволинейная форма эстакады, экраноплан, продольная и боковая устойчивость, угол атаки, анализ, аэродинамические характеристики, фюзеляж

Поступила 31.07.2023, одобрена после рецензирования 08.08.2023, принята к публикации 10.08.2023

Для цитирования. Закураев А. Ф., Рябков А. В. Проектирование высокоскоростного магистрального экранолета в наземно-эстакадном исполнении // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 28–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-28-38

Original article

**Designing of a high-speed main aerodynamic ground-effect craft
in a ground and flyover mode**

A. F. Zakuraev¹, A.V. Ryabkov²

¹Unaffiliated author

²Tyumen Industrial University
680032, Russia, Tyumen, 72 Melnikaite street

Abstract. The article describes the features of the construction and design of an aerodynamic ground-effect craft on a flyover. The issues of designing the profile of the tray, various shapes of the wing and fuselage, as well as a flyover with elliptical structures were considered. For the transportation of

passengers and cargo it is proposed to use an elliptical aerodynamic ground-effect craft moving along a curvilinear tray, using the effect of a screen at a height of not more than 2.5 meters, using 6 bypass electric fan engines as a propulsion device. It was proposed to use composite materials of a modular type for the guides of the load-carrying unit for elliptical airfoils in a cargo-passenger mode. Design solutions for various variants of an aerodynamic ground-effect craft equipped with noiseless propellers using the ground effect with parabolic guides of a ground-flyover design for laying a multifunctional high-speed main route between the megacenters of Russia and between countries have been developed in the present work. The novelty of the research is the fact that it is proposed to develop new transport systems that allow improving passenger and cargo transportation on a new structural and technological basis in the form of an aerodynamic ground-effect craft in ground-flyover mode.

Keywords: aerodynamic ground-effect craft, ellipse, curvilinear form of flyover, ground-effect vehicle, longitudinal and lateral stability, angle of attack, analysis, aerodynamic characteristics, fuselage

Submitted 31.07.2023,

approved after reviewing 08.08.2023,

accepted for publication 10.08.2023

For citation. Zakuraev A.F., Ryabkov A.V. Designing of a high-speed main aerodynamic ground-effect craft in a ground and flyover mode. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2023. No. 4(114). Pp. 28–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-28-38

ВВЕДЕНИЕ

Проблема разработки более эффективных высокоскоростных видов транспорта, альтернативных железнодорожному, обусловлена большими масштабами территорий России и крайней необходимостью ускоренного развития экономики Зауралья, что невозможно без ее транспортного обеспечения.

Поэтому в России, да и в мировой практике, для перевозки пассажиров и грузов авторами предлагается использовать эллипсный экранолет, движущийся по лотку криволинейной формы (эстакады) с использованием эффекта экрана на высоте не более 2,5 метра.

Предлагаемая компоновка экранолета вместе с эстакадой будет образовывать разорванный пологий эллипс для уменьшения обтекаемости при полете от внешних возмущений всех типов (от бокового порыва ветра, колебаний и т. д.), а также для целенаправленного факториального уплотнения воздушного потока под криволинейным крылом с вогнутым цельнометаллическим фюзеляжем и поверхностью эллипсной формы эстакады. Многократные испытания модели конструкций экранолета эллипсного типа с поверхностью криволинейной формы эстакады показали факториальное увеличение экранного эффекта, а также доказали высокие аэродинамические характеристики такого профиля [1–3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для практической реализации предлагаемых экранолетов эллиптической формы на эстакаде необходимо выполнить ряд научно-исследовательских, опытно-конструкторских и экспериментальных работ, к которым относится адаптация самих экранолетов на эстакаде. Работы в этом направлении предлагается разбить на проектирование и испытание экспериментального экранолета, что следует считать одним из этапов на пути создания первого практического образца экранолета самолетного типа с эллиптическим фюзеляжем и крылом усеченного конуса, а также эстакады из 3 составляющих в виде пологих направляющих парабол.

При этом лоток, собранный из модулей, изготовленных из композитных материалов, может располагаться как на поверхности земли, так и на эстакаде. В качестве движителя планируется использовать гибридные двухконтурные электродвигатели [4].

Отличие от существующих экранопланов на воде заключается в том, что на созданной поверхности с особой формой составных направляющих параболической формы из композиционных материалов модульного типа наземно-эстакадного исполнения движется экранолет с применением в качестве движителя 6 двухконтурных электровентиляторных двигателей с использованием эффекта экрана.

Реализация проектирования экранолета на эстакаде состоит из трех этапов:

- нахождение транспортной концепции для трассировки между регионами и странами, что вызывает необходимость разработки новых теоретических и конструктивных основ, формирования эффективного технологического механизма функционирования, альтернативного железнодорожному транспорту, и взаимодействия его с различными транспортными системами;

- разработка альтернативных гибридных транспортных экранолетов, выбор доступных отечественных композиционных строительных материалов для прокладки высокоскоростной трассы, не нарушающих рельеф местности и контур мегаполиса со строениями, что является принципиальным;

- нахождение возобновляемых экологически чистых источников энергии для обеспечения устойчивой работы движителя в любых климатических условиях [4].

В проектом решении будут использованы композиционные материалы модульного типа для направляющих в качестве несущей части для гибридных экранолетов эллиптической формы грузопассажирского исполнения.

Такая комплексная система даст преимущество в обеспечении высокой скоростной доставки пассажиров и грузов, экономичности, экологичности и комфортности транспортной системы, а также безопасности движения.

Комплексные расчеты при проектировании напряженно-деформированного состояния экранолета на эстакаде показали, что можно эффективно осуществить выбор параметров экранолета с последующим уточнением этих параметров по результатам экспериментальных исследований [5–7].

Проведенные авторами в 2000 г. эксперименты по обдуву в аэродинамической трубе для определения устойчивости конструкции показали, что при скорости ветрового потока 185 м/с экранолет с эстакадой общей массой 80 кг обладает высокой продольной и боковой устойчивостью. В частности, удалось показать, что прогнозируемые данные по экранному эффекту на высоте до 2,5 м подтверждают эффективность движения вблизи экрана на скорости 450 км/ч, что коэффициент аэродинамических сил экранолета зависит от высоты экранного полета, угла тангажа, формы крыла с фюзеляжем и эстакады в виде пологого эллипса, причем эти зависимости носят нелинейный характер. Тогда компоновка конструкции экранолета представляет собой нелинейную систему, для исследования его возмущенного движения в общем случае следует использовать численные методы интегрирования дифференциальных уравнений. При этом положение фокуса крыла и фюзеляжа под углом атаки вблизи экрана слабо зависит от толщины профиля крыла и фюзеляжа [8].

Высокоскоростная транспортная система, использующая экранный эффект, обладает следующими свойствами:

– нагрузка направленного воздушного потока на поверхность летящего экранолета пропорциональна отношению веса экранолета к площади крыла и фюзеляжа и составляет более 1500 кг/м^2 . При такой нагрузке снижаются требования к строению пути. При скорости 400 км/час и более снижены требования к ровности поверхности направляющей, поскольку экранолет не успевает отреагировать на неровности рельефа на эстакаде;

– турбулентность вблизи поверхности направляющей (экрана) значительно ниже, чем на высоте полета самолетов, основные нагрузки, действующие на конструкцию экранолета, создаются центробежными силами, то есть определяются радиусами горизонтальных и вертикальных кривых пространственной трассы направляющей. Поэтому радиусы кривизны трассы следует нормировать при прокладке трассы.

Тогда вертикальные уклоны определяются тяговооруженностью экранолета (отношением тяги к весу). Она может составлять порядка $\lambda=0,2$, что обеспечивает полную разгрузку экранолета при нулевом отрыве (при $V=0$) для крыла и фюзеляжа. Нормирование радиусов и уклонов трассы позволяет существенно снизить массу конструкции экранолета по сравнению с массой самолетов и экранопланов, имеющих такую же полезную нагрузку.

Таким образом, создание специально подготовленной поверхности направляющей для экранолета позволяет создавать высокоскоростной транспорт, обладающий преимуществами по сравнению с экранопланами водного базирования и самолетами в аэродинамическом качестве (обратно пропорциональном расходу топлива двигателей). Они заключаются в существенно большей скорости движения, большей относительной массе полезной нагрузки и меньшей стоимости возведения железнодорожного пути, особенно на магнитной подушке.

Под устойчивостью экранолета понимается его способность самостоятельно, без участия экипажа, сохранять заданный режим движения, а в случае отклонения от него под воздействием различного вида возмущений возвращаться к исходному режиму после прекращения их действия.

В первом варианте (рис. 1) в состав транспортного устройства вошли летательные аппараты в пассажирском и грузовом исполнении с длиной фюзеляжа от 25 до 60 м и размахом крыльев $10\text{--}12 \text{ м}$, массой от 18 до 115 т , что подтверждается патентом РФ № 2277215 от 2019 г. [13].

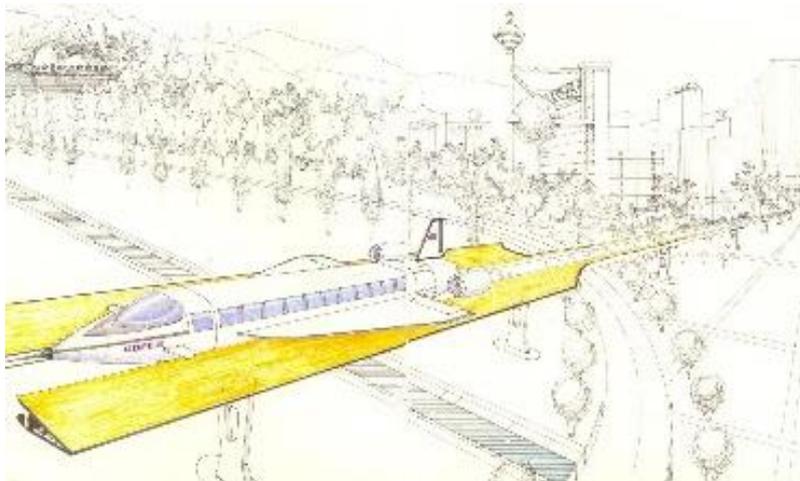


Рис. 1. Фрагмент цельнометаллического фюзеляжа на эстакаде

Fig. 1. A fragment of an all-metal fuselage on a flyover

Экранолет может перевозить от 50 до 500 пассажиров или 80 тонн груза со скоростью до 450 км/час, он представляет собой цельнометаллический фюзеляж, состоящий из нижней рамы, соединенной силовыми шпангоутами и стрингерами, наружной и внутренней обшивкой в единый силовой каркас. Фюзеляж разделен на три отсека: кабина пилота, пассажирский или грузовой салон, электромеханический отсек.

Автоматизированная система управления движением, эстакада, депо для обслуживания летательного аппарата (ЛА), конечные станции посадки-высадки пассажиров и грузовые терминалы, механическая развязка ЛА с направляющими балками эстакады обеспечивают возможность строительства относительно легкой и дешевой конструкции эстакады магистрали, которая в зависимости от потоков пассажиров и грузов может быть одно-, двух-, трехпутным путепроводом, как показано на рис. 2.

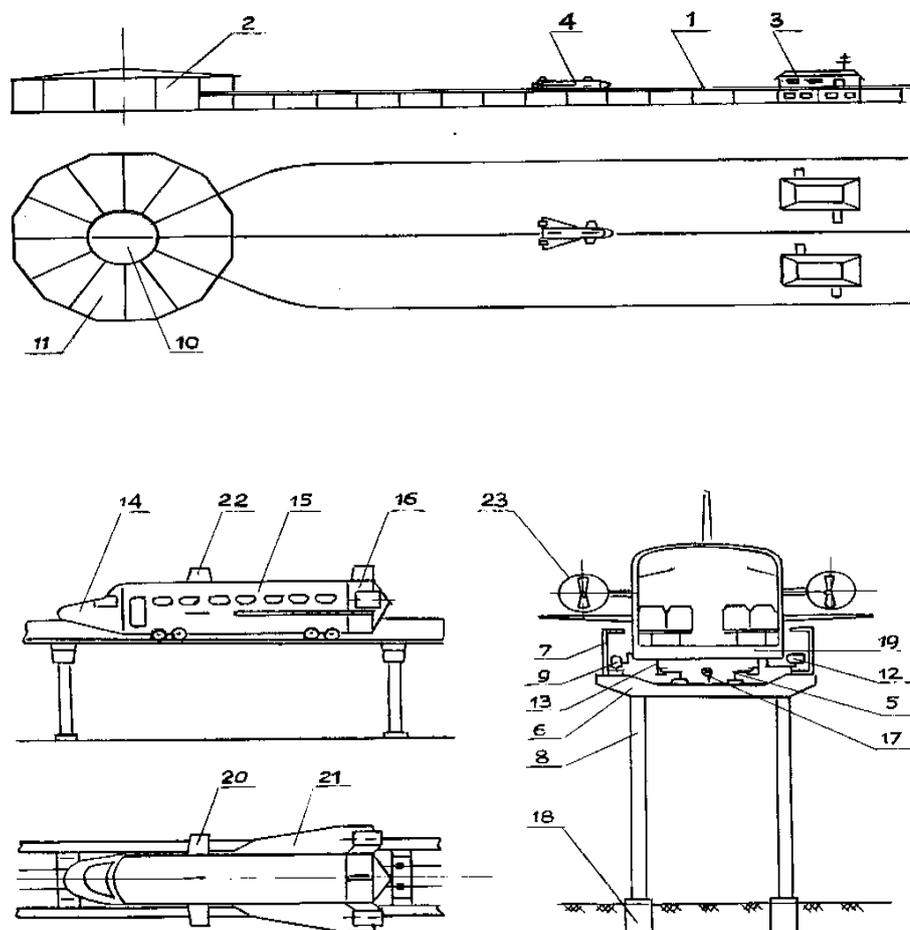


Рис. 2. Фрагмент схемы путепровода

Fig. 2. Fragment of the overpass scheme

Старт (разгон) ЛА производится по направляющим поверхностям эстакады, и далее полет осуществляется по профилю эстакады в воздушном пространстве, ограниченном для колес шасси ЛА верхними и нижними полками балок, а для колес водил боковыми стенками балок.

Удержание ЛА в ограниченном воздушном слое обеспечивается по программе поворотными крыльями, элеронами и рулями по всей длине профиля эстакады. В случае отклонения ЛА в полете под воздействием аэродинамических сил (порывов ветра, перегрузок на вира-

жах, подъемах, спусках и других) включаются датчики углов тангажа и курса, сигналы от которых поступают на исполнительные механизмы крыльев, элеронов и рулей.

Во втором варианте путем компромисса и конструкторских разработок мы пришли к необычным формам как экранолета, так и эстакады (рис. 3. а, б).

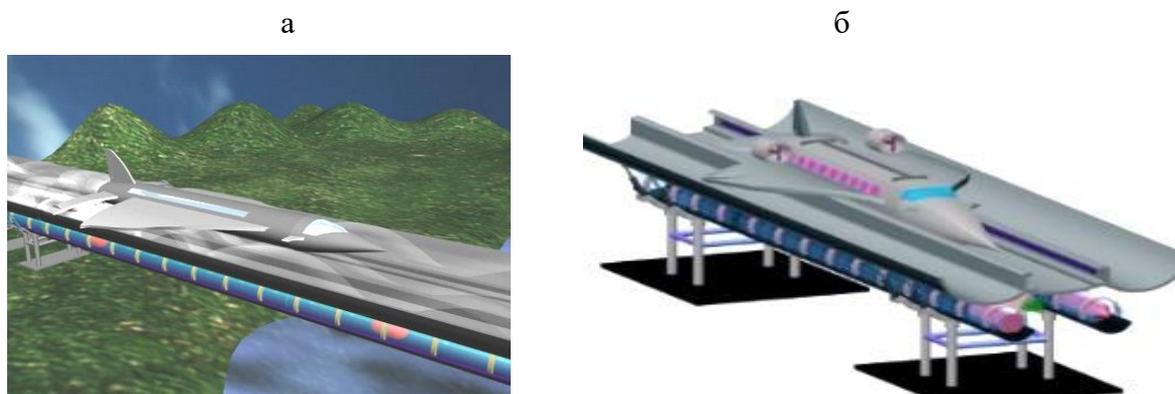


Рис. 3. а – фрагмент формирования потока воздуха из-под экранолета на эстакаде;
б – расположение электровентиляторных двигателей над крылом и под крылом и фюзеляжем¹

Fig. 3. a – fragment of the formation of the air flow from under the shield on the flyover;
b – the location of the electric fan engines above and under the wing and fuselage

Управление летательным аппаратом (ЛА) осуществляется АСУ «Пилот» в автоматическом режиме по программе бортового программно-технического комплекса на основе компаса магнитного курса (так называемой «авиационной курсовертикали»). В подпольном пространстве нижней рамы размещены механизмы подвесок неубирающихся колес шасси, водил и токосъемников, системы кондиционирования воздуха, отопления салона, вентиляции, проложены пневмогидромагистральные трубопроводы, кабели, система регулирования движения и другие коммуникационные элементы.

Предлагаемая компоновка конструкций экранолета движется по ровной эстакаде с тремя криволинейными направляющими эллиптической формы, образуя общий эллипс конструкции. Такая компоновка конструкции экранолета имеет низкую чувствительность от неровности экранной поверхности. Поперечный разрез эстакады показан на рис. 4.

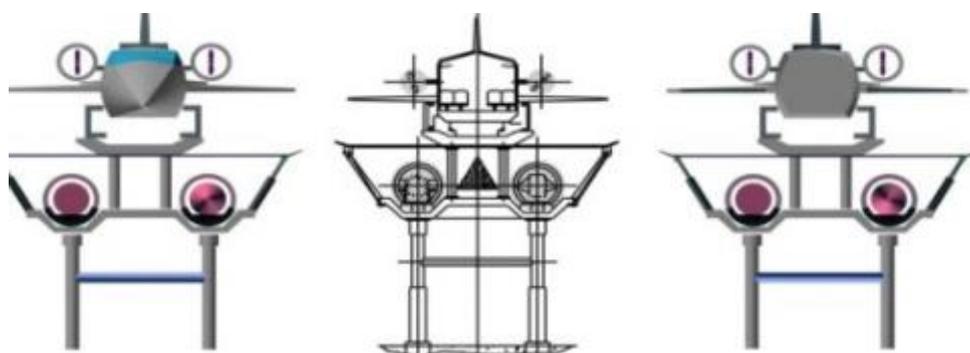


Рис. 4. Поперечный разрез трассы экранолета

Fig. 4. Cross section of the aerodynamic ground-effect craft route

¹ Разработано автором

Экранолет на эстакаде должен быть легким и в то же время прочным, технологичным в изготовлении, надежным в эксплуатации. Наконец, он должен быть дешевым. Все это необходимо для выполнения порой взаимоисключающих требований (рис. 5).



Рис. 5. Фрагмент общего вида высокоскоростной магистральной трассы и транспортного устройства

Fig. 5. Fragment of the general view of the high-speed highway and transport device

Таким образом, создана новая аэродинамическая компоновка экранолета, которая является воплощением в экранную аэродинамику схемы на эллиптической форме эстакады [14].

В качестве конструкционных материалов для строительства экранолетов рекомендуется применять алюминиевые сплавы, композиционные материалы, стеклоткани и авиационную фанеру. Большая часть конструкции корпуса, крыльев и оперения изготавливается из алюминий-магниевого сплава, обладающего относительно высокими значениями пределов текучести – около 30 кгс/мм и пределом прочности более 45 кгс/мм и имеющего хорошую пластичность, свариваемость и коррозионную стойкость. Также применяется клепочный метод соединения.

Все это выдвигает весьма высокие требования к проектированию корпусных конструкций экранолета, его весовой отдаче, обеспечению прочности и надежности.

В настоящее время успешно решаются задачи комплексной оптимизации конструкции всех элементов экранолета с точки зрения как технических возможностей, так и будущего коммерческого использования в России и за рубежом. Поэтому одной из основных задач при создании экранолета с криволинейным крылом и фюзеляжем является разработка его конструктивно-силовой схемы, в которой должны обеспечиваться:

- минимальная масса конструкции агрегатов и экранолета в целом;
- оптимальное сочетание размеров силовых элементов и конструкции полезных объемов, используемых для размещения целевой нагрузки, экипажа, оборудования, силовой установки;
- учет требований эксплуатационной и производственной технологичности изготовления конструкции;
- необходимая жесткость конструкции с учетом динамической нагрузки и средств демпфирования в целях ее статической и динамической устойчивости в полете.

Существенным отличием экранолета от самолета, с точки зрения работы энергетической установки, является то, что крейсерский режим полета проходит на малых экранных высотах, поэтому выбранные для самолетного двигателя параметры на его расчетном высотно-крейсерском режиме полета не являются оптимальными для экранолета. Другим важным обстоятельством, влияющим на выбор параметров двигателей экранолета, является обеспечение определенных параметров воздушной струи на выходе из электродвигателей на максимальном режиме при разбеге экранолета. Эти особенности работы двигателей экранолета и их компоновочных решений предъявляют специфические требования к выбору силовых установок экранолета. Вес двигателя менее 250 кг, но его мощность составляет 1560 кВт. Легкий экранолет с шестью двигателями такой мощности способен перевозить до 100 пассажиров. Он поднимает почти 10 тонн полезной нагрузки. Скорость вращения двигателя составляет всего 3,5 тысячи оборотов в минуту.

Экранолеты, как и современные летательные аппараты, отличаются высокой энергонасыщенностью, многообразием компоновочных решений, большой плотностью размещения оборудования различной вместимости и систем. Комплексный анализ сравнительных технических и ходовых характеристик авиации, высокоскоростных магистралей (ВСМ) и экранолета показан в таблице 1 [10–12].

Таблица 1. Сравнительная характеристика трех магистральных транспортных систем

Table 1. Comparative characteristics of three main transport systems

Показатели	Виды транспорта		
	ВСМ ж /д	Авиация	Экранолет
Характер прокладки	Наземный, эстакадный	Воздушный	Наземный, эстакадный
Источник энергии	Электрический	Авиац. топливо	Электрический
Скорость сообщения, км/ч	от 300–552	до 1000	до 450
Грузоподъемность, тонн	70	55	80
Вместимость вагона, чел.	70	450	от 50–500
Количество мест для сидения в вагоне, чел.	80	до 450	от 50–500
Вес состава, около, т	80	225	35
Составность поезда, вагонов, шт.	От категории магист. до 8	1	1
Средневзвешенная стоимость 1 км линии, млн. долл. США	18	–	6
Средняя стоимость вагона, млн. долл. США	2	450	От 5-8
Потребляемая мощность, кВт/час	9800	–	4000
Эксплуатационные затраты, млн. долл. США	до 5	до 3,2	до 1,5
Уровень шума на расстоянии 25 м, децибел	до 120	–	80

Поэтому одними из основных задач создания нового вида экранолета являются разработка конструктивно-силовой схемы и выбор конструкционных материалов, которые в значительной степени определяют возможности оптимизации не только самой конструкции, но и эстакады в целом.

Преимущество предлагаемого транспортного средства определяется его экономической эффективностью, в которой важное место занимает экономичность энергетической установки. Круглосуточное движение при неблагоприятных метеорологических условиях с заданным ритмом, как в метро, можно обеспечить с помощью робототехнических комплексов (например, «Борей»). Повышение грузооборота может быть достигнута путем увеличения числа ЛА и уплотнения ритма их движения.

Таким образом, предлагаемое наземное транспортное скоростное магистральное устройство не является конкурентом автомобильному, железнодорожному и авиационному транспорту, а представляет собой самостоятельный вид транспорта. Для экранолетов гражданского назначения компоновка «составное криволинейное крыло – фюзеляж» более выгодна по сравнению с бипланной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В предлагаемой работе предложено конструкторско-технологическое решение по проектированию экранолета на эстакаде с эллиптической формой как оптимальный вариант по продольной и боковой устойчивости.

2. Предлагается использовать робототехнические комплексы («Борей») для обеспечения круглосуточного движения при различных метеорологических условиях с заданным ритмом.

3. В качестве конструкционных материалов для строительства экранолетов рекомендуется применять алюминиевые сплавы, композиционные материалы, стеклоткани и авиационную фанеру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А. В., Потапов В. Д. Основы теории упругости и пластичности. Москва: Высшая школа, 1990. 400 с.
2. Белавин Н. И. Экранопланы. Ленинград: Судостроение, 1977. 232 с.
3. Васильев Э. В. Транспортные суда-экранопланы. Концепция транспортных систем на базе экранопланов. Нижний Новгород, 2008.
4. Закураев А. Ф. Концепция многофункционального высокоскоростного магистрального экранолета наземно-эстакадного исполнения // Доклады АМАН. 2023. Т. 23. № 1. С. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2023-23-1-28-36>. EDN: GKSFJ.
5. Качур П. И. Аннотированный сборник патентов. Москва, 1977. № 50.
6. Качур П. И. Ростислав Алексеев. Конструктор крылатых кораблей. СПб.: Политехника, 2006. 294 с.
7. Синицын Д. Н., Маскалик А. И. Первый гражданский экраноплан. СПб.: Судостроение, 1999. 112 с.
8. Серебрянский Я. М. Влияние близости земли на аэродинамические характеристики самолета // Труды ЦАГИ. Москва: Изд. и тип. Центр. аэрогидродинамич. ин-та им. проф. Н. Е. Жуковского, 1936. Вып. 267. 38 с.

9. Панченков А. Н. Экспертиза экранопланов / А. Н. Панченков, П. Т. Драчев, В. И. Любимов. Нижний Новгород: ООО «Типография «Поволжье», 2006. 656 с.
10. Петров Г. Ф. Гидросамолеты и экранопланы России 1910–1999 гг. Издательство РУСАВИА, 2000. 243 с.
11. Тюшин В. А. Парaplаны. Первый шаг в большое небо // Мир увлечений. Москва: Издательство АСТ: Транзиткнига, 2005. 320 с.
12. Шмитц Ф. В. Аэродинамика малых скоростей / Перевод с немецкого Болонкина А. А., Кохно В. Ю. Москва: Издательство ДОСААФ, 1963. 58 с.
13. Закураев А. Ф., Кретов В. А., Лушников Н. А., Лушников П. А. Наземная высокоскоростная транспортная система, включающая многофункциональный магистральный экранолет. Патент № 2677215 от 15 января 2019 г.
14. Закураев А. Ф., Ашабоков Б. А. Теоретические основы создания экранолета с особой геометрией крыла и фюзеляжа, адаптированного на эстакаде // Доклады АМАН. 2023. Т. 23. № 2. С. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2023-23-2-27-39>. EDN: SWSERH.

REFERENCES

1. Alexandrov A.V., Potapov V.D. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow: Higher school, 1990. 400 p. (In Russian)
2. Belavin N.I. *Ekranoplany* [Ground-effect vehicle]. Leningrad: Sudostroyeniye, 1977. 232 p. (In Russian)
3. Vasiliev E.V. *Transportnyye suda-ekranoplany. Kontseptsiya transportnykh sistem na baze ekranoplanov* [Transport ground-effect vehicle s. The concept of transport systems based on ground-effect vehicles]. Nizhniy Novgorod, 2008. (In Russian)
4. Zakuraev A.F. The concept of a multifunctional high-speed mainline an aerodynamic in ground-effect craft ground-flyover mode. *Doklady AMAN* [AMAN reports]. Nalchik, 2023. Vol. 23. No. 1. Pp. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2023-23-1-28-36>. EDN: GKSFFJ. (In Russian)
5. Kachur P.I. *Annotirovannyi sbornik patentov* [Annotated collection of patents]. Moscow, 1977. No. 50. (In Russian)
6. Kachur P.I. *Rostislav Alekseyev. Konstruktor krylatykh korably* [R.E. Alekseev: Designer of winged ships]. St. Petersburg: Politekhnik, 2006. 294 p. (In Russian)
7. Sinitsyn D.N., Maskalik A.I. *Pervyy grazhdanskiy ekranoplan* [The first civil ground-effect vehicle]. St. Petersburg: Sudostroyeniye, 1999. 112 p. (In Russian)
8. Serebrisky Ya.M. Influence of the proximity of the earth on the aerodynamic characteristics of the aircraft // Proceedings of TsAGI. Moscow: Izd. i tip. Tsentr. aerogidrodinamich. in-ta im. prof. N.Ye. Zhukovskogo, 1936. Issue. 267. 38 p. (In Russian)
9. Panchenkov A.N., Drachev P.T., Lyubimov V. I. *Ekspertiza ekranoplanov* [Examination of ground-effect vehicles]. N. Novgorod: ООО «Типография «Поволжье», 2006. 656 p. (In Russian)
10. Petrov G.F. *Gidrosamolety i ekranoplany Rossii 1910–1999 gg.* [Seaplanes and ground-effect vehicles of Russia 1910–1999]. Izdatel'stvo RUSAVIA, 2000. 243 p. (In Russian)
11. Tyushin V.A. *Paraplany: Pervyy shag v Bol'shoye Nebo* [Paragliders: The first step into the Big Sky]. *Mir uvlecheniy* [World of Hobbies]. Moscow: Izdatel'stvo AST: Tranzitkniга, 2005. 320 p. (In Russian)

12. Schmitz F.V. *Aerodinamika malykh skorostey* [Aerodynamics of low speeds] / Translation from German Bolonkin A.A., Kokhno V.Yu. Moscow: Izdatel'stvo DOSAAF, 1963. 58 p. (In Russian)

13. Zakuraev A.F., Kretov V.A., Lushnikov N.A., Lushnikov P.A. Ground high-speed transport system, including a multifunctional main aerodynamic ground-effect craft. Patent No. 2677215 dated January 15, 2019. (In Russian)

14. Zakuraev A.F., Ashabokov B.A. Theoretical foundations for the creation of an aerodynamic ground-effect craft with a special geometry of the wing and fuselage adapted on a flyover. *Doklady AMAN* [AMAN reports]. 2023. Vol. 23. No. 2. Pp. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2023-23-2-27-39>. EDN: SWSERH. (In Russian)

Информация об авторах

Закураев Аслан Фуадович, д-р техн. наук, профессор, неаффилированный автор;
360051, Россия, г. Нальчик, ул. Пачева, 19а, кор. 3/33;
aslanz@mail.ru

Рябков Антон Викторович, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет;
680032, Россия, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72;
General@tsogu.ru

Information about the authors

Zakuraev Aslan Fuadovich, doctor of technical sciences, professor, unaffiliated author;
360051, Russia, Nalchik, 19a, cor. 3/33 Pachev street;
aslanz@mail.ru

Ryabkov Anton Victorovich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tyumen Industrial University;
80032, Russia, Tyumen, 72 Melnikaite street;
General@tsogu.ru

Трассировка больших разветвленных трубопроводных гидравлических сетей высокого ранга оптимальности на динамическом базовом графе

М. Б. Абазоков, В. Ч. Кудяев

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. В статье представлен метод трассировки больших разветвленных трубопроводных гидравлических сетей высокого ранга оптимальности. Новизна метода состоит в том, что в процессе увеличения ранга оптимизации проектируемых сетей динамически снижается размерность заданного избыточного графа возможных соединений узлов сети друг с другом. При этом избыточный граф возможных соединений узлов сети последующего ранга формируется из сетей предыдущего ранга оптимальности. Метод обеспечивает компьютерное решение задачи трассировки больших сетей, содержащих более ста узлов, седьмого ранга оптимальности. Система предназначена для компьютерного проектирования больших трубопроводных сетей регионального и межрегионального водоснабжения и трубопроводных оросительных сетей.

Ключевые слова: трубопроводная потоковая сеть, компьютерное проектирование, трассировка, динамический граф возможных соединений узлов сети, снижение размерности, увеличение ранга оптимальности

Поступила 26.07.2023, одобрена после рецензирования 03.08.2023, принята к публикации 08.08.2023

Для цитирования. Абазоков М. Б., Кудяев В. Ч. Трассировка больших разветвленных трубопроводных гидравлических сетей высокого ранга оптимальности на динамическом базовом графе // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 39–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-39-54

MSC: 90C27; 90C90

Original article

Tracing of large branched pipeline hydraulic networks of high optimality rank with graph presentation

M.B. Abazokov, V.Ch. Kudaev

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street

Abstract. The paper deals with a tracing technique for large branched pipeline hydraulic networks of the high optimality rank. The novelty of the method is that while increasing the optimization rank of the designed networks, the redundant graph of possible connections between nodes is dynamically reduced. In this case, the redundant graph of the follow-up rank is formed from previous networks rank. The method provides a computer solution to the problem of tracing of large networks containing more than one

hundred nodes of the seventh optimality rank. The system is developed for large pipeline networks design of regional and interregional pipe distribution network (PDN) for irrigation purpose.

Keywords: pipeline flow network, computer design, tracing, dynamic graph of possible connections of network nodes, dimension reduction, optimality rank increase

Submitted 26.07.2023,

approved after reviewing 03.08.2023,

accepted for publication 08.08.2023

For citation. Abazokov M.B., Kudaev V.Ch. Tracing of large branched pipeline hydraulic networks of high optimality rank with graph presentation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2023. No. 4(114). Pp. 39–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-39-54

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА РАЗВЕТВЛЕННОЙ ПОТОВОЙ СЕТИ

Задача синтеза потовой сети состоит в следующем:

$$z(x) = \sum_{ij \in D} c_{ij}(x_{ij})l_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{i \in \Gamma_j^+} x_{ij} - \sum_{k \in \Gamma_j^-} x_{jk} = g_i \quad \forall j \neq 1 \in B, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Gamma_j^-} x_{1j} = Q, \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in D, \quad (4)$$

где $\Gamma(B, D)$ – заданный избыточный граф возможных соединений вершин сети; B и D – множества его вершин и дуг; x_{ij}, c_{ij}, l_{ij} – искомое значение величины потока, заданные удельная стоимость и длина (i, j) -й дуги; Q – заданный поток в сеть; g_i – заданный расход потока в i -м узле сети; Γ_j^+ и Γ_j^- – множества дуг, входящих и исходящих из узла j .

Функция $c_{ij}(x_{ij})$ для любой дуги $(i, j) \in D$ является гладкой и строго вогнутой. Вследствие этого локальный и глобальный экстремумы задачи могут достигаться только в вершинах транспортного многогранника (2–4). Задача является существенно многоэкстремальной.

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ И ИХ НЕДОСТАТКИ

Недостатки существующих методов [1–3] рассмотрены в монографии [4, с. 114–123]. Основной же недостаток состоит в том, что уже при $n > 80$ (где n – количество узлов сети) существующие методы решения задачи не срабатывают.

Рассмотрим наиболее известные методы решения задачи: метод погружения и метод ветвей и границ.

2.1. МЕТОД ПОГРУЖЕНИЯ

Метод погружения для решения задачи минимизации вогнутой функции на выпуклом многограннике изложен в работе [5]. В работах [1–2] метод модифицирован для решения задачи синтеза потовой сети с целевой функцией (1) на транспортном многограннике (2–4).

Суть метода состоит в следующем. Из текущей угловой точки выпуклого многогранника ограничений переходим в такую смежную к ней, в которой значение целевой функции меньше, чем в исходной. При достижении угловой точки транспортного многогранника, в которой значение целевой функции меньше, чем в смежных с ней, проводим из этой угловой точки прямые, проходящие по ребрам многогранника ограничений через смежные с

ней точки вне многогранника, и определяем на них точки, в которых целевая функция достигает того же значения, что и в исходной угловой точке локального экстремума. По этим точкам проводится секущая гиперплоскость, отделяющая от многогранника ограниченный полученный симплекс, вершиной которого является точка локального экстремума, запоминается значение целевой функции в этой угловой точке. Далее определяется на полученном многограннике следующая точка экстремума и т.д. до тех пор, пока на очередной итерации текущий многогранник не будет целиком погружен в отсекаемую часть. После этого определяется та из отсеченных угловых точек, в которой значение локального экстремума целевой функции минимально.

В монографии [4, с. 131–132] отмечен следующий недостаток метода: «При $n = 51$ возникли трудности из-за медленной сходимости вычислительного процесса отсечений. Поэтому было предложено осуществлять сдвиг отсекающей гиперплоскости на некоторую величину h , что привело к труднорешаемой проблеме выбора данной величины: при повышенном значении h пропускаются локальные экстремумы целевой функции, а при малых h процесс оптимизации требует чрезмерного машинного времени».

2.2. МЕТОД ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ

Метод ветвей и границ, представленный в работе [3], основан на последовательном делении множества допустимых решений с отбрасыванием подмножеств, которые имеют высокую нижнюю оценку минимизируемой функции. Теоретически это обеспечивает получение глобального минимума, но с заданной допустимой погрешностью. В монографии [4] отмечено, что если эта величина мала, то процесс сходится медленно. Добавим, что целевая функция аппроксимируется вогнутой кусочно-линейной функцией с несколькими звеньями, что уже дает значительную погрешность в решении задачи минимизации вогнутой функции на транспортном многограннике. Увеличение же количества звеньев приводит к резкому увеличению времени решения задачи.

3. РАНГИ ЭКСТРЕМУМОВ

Для существенно многоэкстремальных задач большой размерности локальный экстремум не информативен, а глобальный, вообще говоря, недостижим. Поэтому в работах [6–8] было введено и использовано понятие ранга экстремума решения задачи синтеза потоковой сети.

Определение 1. Точкой экстремума P -го ранга задачи (1–4) назовем такую угловую точку $\{x_{ij}^*\}_{ij \in D}$ транспортного многогранника (2–4), которая является точкой глобального минимума на выпуклой линейной комбинации вершин многогранника, достижимых из этой точки.

Как известно, любой точке (вершине) транспортного многогранника соответствует базисное решение. Переведем определение 1 на язык теории сетей.

Определение 2. P -фрагментом сети назовем замыкаемые любыми P хордами графа $\Gamma(B, D)$ P контуров на текущем остовном дереве T графа $\Gamma(B, D)$.

Теорема (условие ранговой оптимальности для сетевой задачи).

1). Отличные от нуля компоненты потокораспределения $\{x_{ij}^*\}_{ij \in D}$ сети P -го ранга выделяют на графе $\Gamma(B, D)$ ориентированное остовное дерево с корнем в источнике сети.

2). Экстремум P -го ранга является глобальным на выпуклой линейной комбинации вершин транспортного многогранника, имеющих смежность в промежутке $[1, P]$ к точке экстремума.

3). Для того чтобы решение $\{x_{ij}^*\}_{ij \in D}$, где $x_{ij} = 0 \forall (i, j) \notin T$, задачи (1–4) было экстремумом P -го ранга, необходимо и достаточно, чтобы оно было оптимально по всем фрагментам P -го ранга на T , т.е.

$$\sum_{(i,j) \in \Phi_{T,P}} c_{ij}(x_{ij}^*) l_{ij} \leq \sum_{(i,j) \in D} c_{ij}(x_{ij}) l_{ij},$$

где $\{x_{ij}\}_{ij \in D}$ – любое допустимое решение задачи, но такое, что $x_{ij} = x_{ij}^* \forall (i, j) \notin \Phi_{T,P}$.

Доказательство теоремы приведено в работе [9].

Условие ранговой оптимальности является конкретизацией системного принципа оптимальности: «Любая часть оптимальной системы оптимальна (при фиксации граничных условий с остальной сетью)».

Метод ранговой оптимизации сетевых систем состоит в сведении оптимизации сети к оптимизации ее фрагментов все более высокого ранга. При этом рассмотрение только связанных P -фрагментов позволяет существенно снизить размерность задачи.

Метод ранговой оптимизации всей потоковой сети представлен в работах [6, 7, 9].

3.1. СУТЬ МЕТОДА РАНГОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ПОТОКОВОЙ СЕТИ

Метод ранговой оптимизации представлен в работах [6–9]. Суть метода состоит в сведении оптимизации сети к оптимизации ее фрагментов все более высокого ранга.

При оптимизации 1-го ранга на очередной итерации выделяется очередная хорда (i, j) и соответствующий ей фрагмент 1-го ранга (контур сети) на T . Из фрагмента удаляется дуга, встречающаяся хорде. Проведя оптимизацию полученного фрагмента, определяем очередную независимую переменную относительно полученного решения и переходим к оптимизации соответствующего фрагмента. Процесс оптимизации 1-го ранга системы завершается при получении решения, которое не может быть улучшено внесением в оптимизируемое текущее остовное дерево любой из его хорд и соответствующим изменением потоков по образованному при этом контуру.

Далее переходим к оптимизации 2-го ранга. Для этого выделяем на каждой очередной итерации очередную пару хорд и соответствующие им фрагменты 1-го ранга. В том случае, когда эти фрагменты пересекаются, формируем фрагмент 2-го ранга – объединение двух фрагментов 1-го ранга. Решаем задачу оптимизации фрагмента 2-го ранга и переходим к следующей итерации.

Оптимизация системы прекращается при достижении заданного оптимума P -го ранга либо заданного времени решения задачи на компьютере. При этом, если фрагменты P -го ранга не пересекаются, то программная система их не рассматривает, т.к. их оптимизация уже была проведена при построении сети $(P-1)$ -го ранга, что резко снижает размерность задачи синтеза сети. Таким образом, метод ранговой оптимизации сетевых систем состоит в сведении оптимизации сети к оптимизации ее связанных фрагментов P -го ранга.

4. ДИНАМИЧЕСКИЙ БАЗОВЫЙ ГРАФ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОТОКОВЫХ СЕТЕЙ

4.1. ПЛОТНЫЙ БАЗОВЫЙ ГРАФ

Плотный базовый граф (ПБГ) состоит из 4 вершинных ячеек. Основой алгоритма построения ПБГ является построение ячеек. Каждая ячейка формируется следующим образом:

1. Для каждой текущей вершины i определяется ближайшая к ней вершина $j \in B$.
2. Для вершин i, j определяется ближайшая к ним вершина k , такая, что

$$l_{ik} + l_{jk} \leq l_{ip} + l_{jp}, \forall p \in B, p \neq i, j.$$

3. Определяется ближайшая к вершинам i, j, k вершина r такая, что:

$$l_{ir} + l_{jr} + l_{kr} \leq l_{ip} + l_{jp} + l_{kp}, \forall p \in B, p \neq i, j, k.$$

4. Соединяем вершины ячейки ПБГ дугами.

Ниже на рис. 1 и 2 изображены для наглядности заданные вершины сети и ПБГ. Вершина 0 соответствует источнику сети.

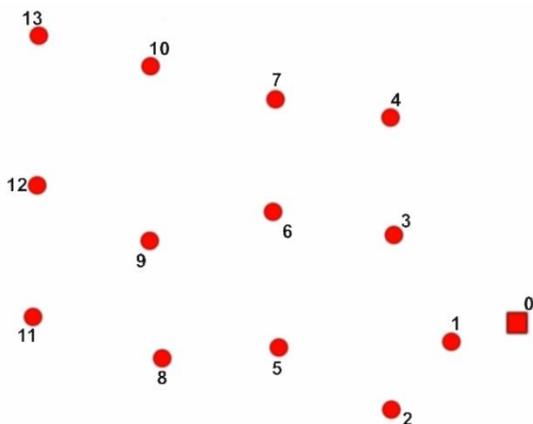


Рис. 1. Вершины потоковой сети

Fig. 1. Nodes of the flow network

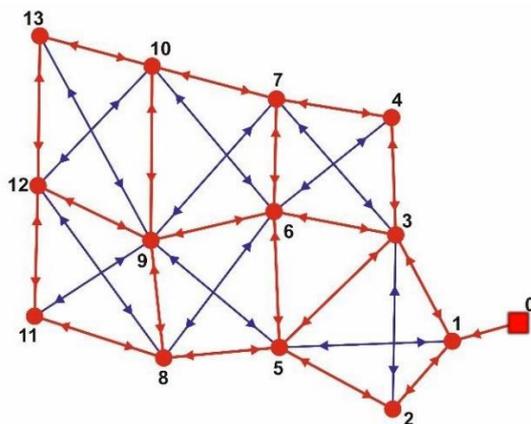


Рис. 2. ПБГ потоковой сети

Fig. 2. Basic dense graph of streaming network

Оценим соотношение времен компьютерного проектирования сети $(P+1)$ -го и P -го рангов на ПБГ $\frac{T_k^{P+1}}{T_k^P}$, где k – количество дуг ПБГ, не являющееся ветвями оптимизируемой на нем сети. Получим:

$$\frac{T_k^{P+1}}{T_k^P} = \frac{C_k^{P+1}}{C_k^P} = \frac{k! P! (k - P)!}{(P + 1)! (k - P - 1)! k!} = \frac{(k - P)}{(P + 1)}.$$

Для ПБГ со 100 вершинами и, значит, примерно с 800 дугами и оптимизируемой на нем 100-вершинной сети со 100 ветвями $k = 800 - 100 = 700$. Тогда получим

$$\frac{T_{700}^4}{T_{700}^3} = \frac{700 - 3}{4} = 174,25.$$

Как следует из проведенных нами экспериментов, T_{700}^3 составляет около 4 часов. Тогда получим $T_{700}^4 = 4 * 174,25(\text{час.}) = 29$ дням.

Отметим следующее:

1. Необходимость использования ПБГ на 1-й фазе оптимального проектирования больших разветвленных потоковых сетей связана с тем, что фактически ПБГ содержит все возможные связи потоками вершин сети друг с другом.

2. Фактическая невозможность использования ПБГ при проектировании больших сетей высокого ранга оптимальности и необходимость перехода при компьютерном проектировании сетей высокого ранга на базовые графы значительно меньшей размерности.

3. Необходимость в силу 1 переноса и коррекции полученных на базовых графах меньшей размерности решений на ПБГ и их коррекции оптимизацией более низкого ранга на ПБГ, что добавляет в РБГ новые перспективные дуги из ПБГ.

4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕЖЕННОГО БАЗОВОГО ГРАФА (РБГ) И АЛГОРИТМ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ

Пусть задано n остовных деревьев в ПБГ ($n \geq 2$) для проектирования сетей высокого ранга оптимальности.

Разреженный базовый граф (РБГ) – это объединение всех n заданных остовных деревьев, т.е. это граф, множество вершин которого равно множеству вершин ПБГ, и множество дуг которого является объединением множеств ветвей всех n деревьев.

РБГ является подграфом ПБГ.

Определение РБГ

Пусть задано n деревьев $\Gamma_1(V, D_1), \Gamma_2(V, D_2), \dots, \Gamma_n(V, D_n)$, где V – множество вершин, D_i – множество всех ветвей i -го дерева $i = \overline{1, n}$. При этом $D_1 \neq D_2 \neq \dots \neq D_n$, т.е. деревья различны по ветвям, но одинаковы по вершинам.

РБГ = $\Gamma(V, D)$, где $D = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_n$

Алгоритм формирования РБГ

1. Задаются n остовных деревьев $\Gamma_1(V, D_1), \Gamma_2(V, D_2), \dots, \Gamma_n(V, D_n)$.
2. Создается пустой граф $\Gamma(V, D)$.
3. В пустой граф $\Gamma(V, D)$ копируется дерево $\Gamma_1(V, D_1)$.
4. $j := 2$.
5. Если $j \leq n$, то переходим к пункту 6. Иначе конец алгоритма.
6. $D := D \cup D_j$
7. $j := j + 1$ и переходим к пункту 5.

Пример РБГ, составленного из 5 остовных деревьев ПБГ, являющихся 3-оптимальными на ПБГ.

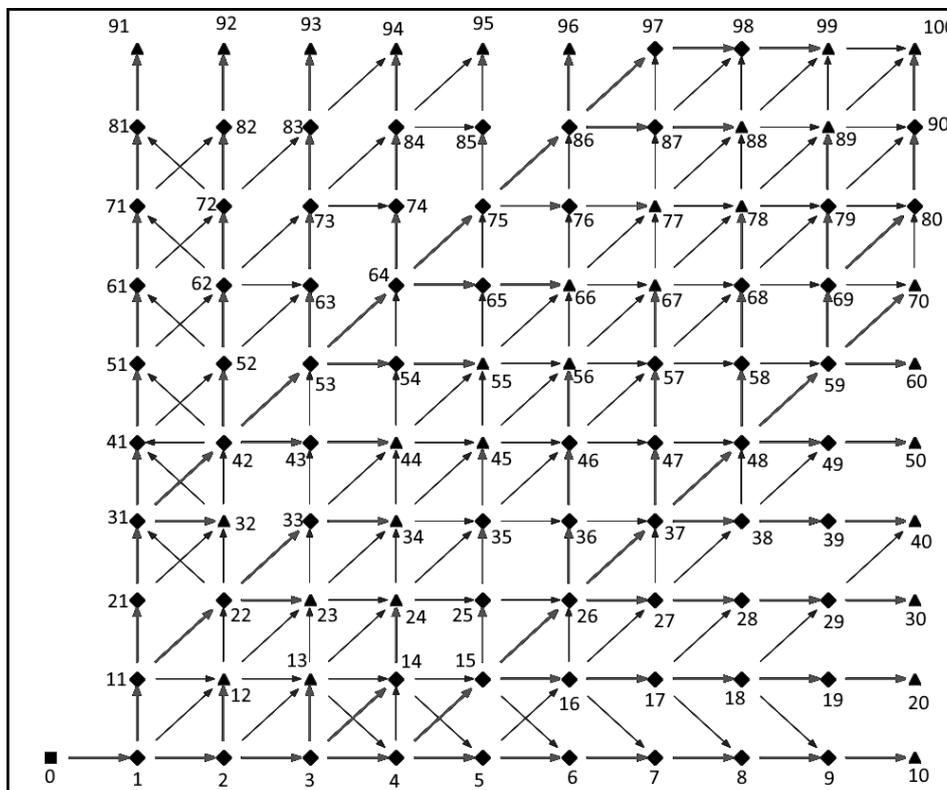


Рис. 3. РБГ из 5 остовных деревьев 3-го ранга оптимальности

Fig. 3. Basic spare of 5 spanning trees of the 3rd optimality rank

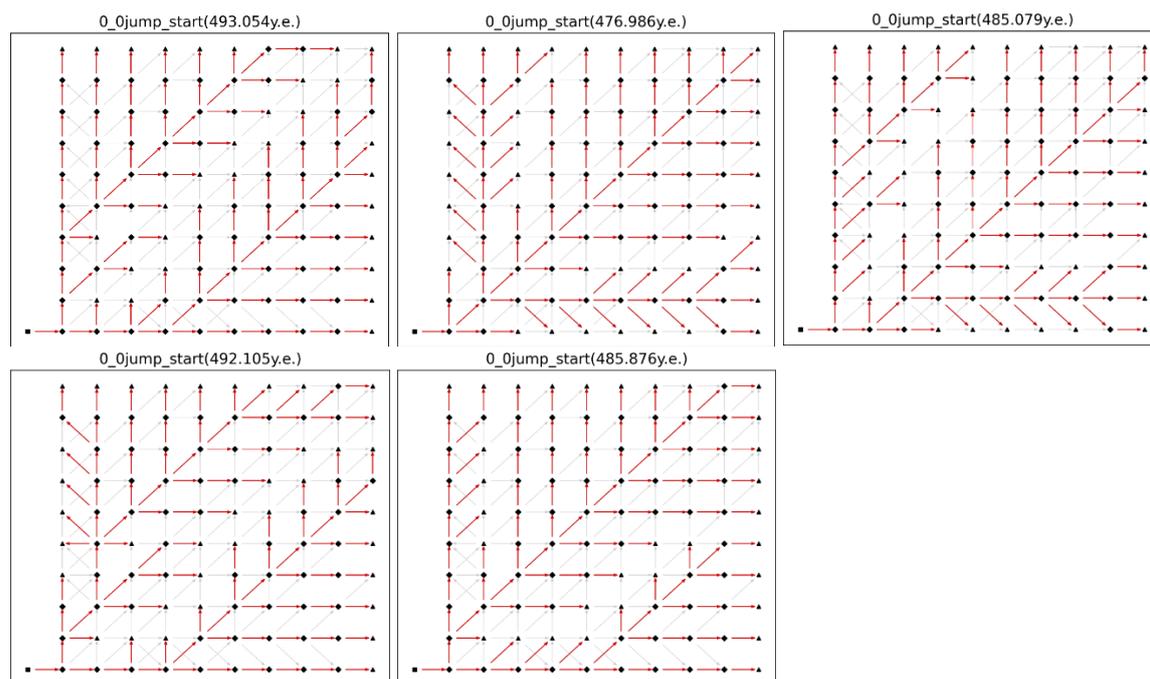


Рис. 4. Остовные деревья 3-го ранга оптимальности

Fig. 4. Spanning trees of the 3rd optimality rank

4.3. СУТЬ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ НА ДИНАМИЧЕСКОМ БАЗОВОМ ГРАФЕ

Вначале задается N альтернативных начальных остовных деревьев (НОД) на ПБГ. Определяется максимально возможный достижимый за изначально заданное время T ранг $P_{n,T}$ (далее просто P) и проводится оптимизация этого ранга каждого НОД на ПБГ.

Поскольку дальнейшая оптимизация более высокого ранга, чем P , потоковой сети на ПБГ не эффективна (требует существенно большего времени, чем T), переходим к оптимизации сети на разреженном базовом графе (РБГ), о котором мы говорили ранее.

Запускается цикл, в котором «нужное количество решений» переносятся на РБГ, и проводится оптимизация «соответствующего ранга». Под «нужным количеством решений» подразумевается количество решений на один меньше, чем на предыдущем этапе (в предыдущем цикле), а под «соответствующим рангом» подразумевается ранг на один больше, чем на предыдущем этапе. Другими словами, количество деревьев, из которых формируется РБГ, уменьшается на один, а ранг оптимизации увеличивается на один, т.е. $P_{\text{тек}} + N_{\text{тек}} = \text{const}$, где $P_{\text{тек}}$ – текущий ранг оптимизации, а $N_{\text{тек}}$ – текущее количество деревьев для формирования РБГ.

Нужно учитывать, что

- на каждом этапе берется нужное количество *наилучших* решений (*наименьших по стоимости*), полученных на предыдущем этапе,
- после проведения оптимизации на РБГ соответствующего ранга решения переносятся на ПБГ и проводится их оптимизация $(P - 1)$ ранга (решения соответственно передаются дальше).

Останавливается весь этот процесс (цикл) именно тогда, когда текущее количество деревьев становится равным 1, ибо формирование РБГ из одного дерева не имеет смысла.

Из проведенных экспериментов для множества альтернативных НОД оптимизаций сетей на ПБГ при $T = 12$ часов $P = 3, N = 6$ получим $P + N = 9$.

4.4. АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ НА ДИНАМИЧЕСКОМ БАЗОВОМ ГРАФЕ

1. Задается N альтернативных начальных остовных деревьев (НОД).
2. Определяется наибольший ранг оптимизации с заданного НОД на ПБГ в течение заданного времени $T - P_{n,T}$ (в дальнейшем будем писать просто P).
3. С каждого НОД проводится оптимизация P -го ранга на ПБГ.
4. Выводятся результаты оптимизации (структура сети, стоимость и значения потоков по ее ветвям). Эти результаты отправляются в пункт 5.1.
5. Переменной i присваиваются все значения от 1 до $(N - 2)$ включительно ($i = 1, (N - 2)$), и для каждого значения i проводятся следующие операции: 5.1–5.4.
 - 5.1. Из $(N - i)$ наилучших решений (наименьший по стоимости) формируется РБГ $(P + i - 1)$ -го ранга (РБГ $^{P+i-1}$).
 - 5.2. На графе РБГ $^{P+i-1}$ с решений, полученных в пункте 5.1, проводится оптимизация $(P + i)$ -го ранга. Результаты оптимизации отправляются в пункт 5.3.
 - 5.3. Полученные в пункте 5.2 решения переносятся на ПБГ и проводится их оптимизация $(P - 1)$ -го ранга.
 Заметим, что значение $(P - 1)$ не зависит от переменной i , т.е. оно неизменно/фиксированно.
- 5.4. Полученные в пункте 5.3 решения отправляются в пункт 5.1.

4.5. ПРИМЕР АЛГОРИТМА ДЛЯ 100-ВЕРШИННОЙ СЕТИ

1. Формирование 6 НОД.
2. Определяется наибольший ранг оптимизации с 6 НОД на ПБГ в течение заданного времени T (это 3-й ранг).
3. 3-оптимальность на ПБГ.
4. Вывод результатов.
5. Формирование РБГ 5 наилучших решений.
6. Оптимизация 4-го ранга на РБГ.
7. Перенос решений на ПБГ.
8. Оптимизация 2-го ранга на ПБГ.
9. Формирование РБГ 4 наилучших решений.
10. Оптимизация 5-го ранга на РБГ.
11. Перенос решений на ПБГ.
12. Оптимизация 2-го ранга на ПБГ.
13. Формирование РБГ 3 наилучших решений.
14. Оптимизация 6-го ранга на РБГ.
14. Перенос решений на ПБГ.
15. Оптимизация 2-го ранга на ПБГ.
17. Формирование РБГ 2 наилучших решений.
18. Оптимизация 7-го ранга на РБГ.
19. Перенос решений на ПБГ.
20. Оптимизация 2-го ранга на ПБГ.

5. ЗАДАЧА ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЕТИ

В работе [4] изложены методы оптимального проектирования разветвленных трубопроводных сетей, разработанные в Сибирском энергетическом институте (г. Иркутск) СО РАН. Основу методов составили работы А. П. Меренкова, В. Я. Хасилева и О. А. Некрасовой [10, 11]. В нашей работе [12] задача оптимального проектирования гидравлической

сети разделена на две фазы. На первой фазе решается (представлен метод) задача трассировки сети. В [12] согласованы обе фазы решения задачи синтеза оптимальной трубопроводной гидравлической сети.

В основе метода лежит зависимость стоимости каждой i -й ветви сети от диаметра трубы на ней, стоимостного коэффициента b и гидравлического коэффициента $0 < \alpha < 2$:

$$c_i = a + bd_i^\alpha. \tag{5}$$

На основе формулы типа Дарси-Вейсбаха $h_i = \frac{kx_i^\beta}{d_i^\gamma}$ получим

$$d_i = \left(\frac{kx_i^\beta}{h_i} \right)^{1/\gamma}. \tag{6}$$

Из (5, 6) получим

$$c_i = a + bk^{\frac{\alpha}{\gamma}} x_i^{\frac{\alpha\beta}{\gamma}} h_i^{-\frac{\alpha}{\gamma}}, \quad c_i l_i = \left(a + bk^{\frac{\alpha}{\gamma}} x_i^{\frac{\alpha\beta}{\gamma}} h_i^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \right) l_i. \tag{7}$$

Значения гидравлических и стоимостных коэффициентов по трубам из различных материалов представлены в таблице 1 [11, с. 54–55].

Таблица 1. Гидравлические и стоимостные коэффициенты / **Table 1.** Hydraulic and cost coefficients

Материал труб	Коэффициенты			
	α	β	γ	k
Сталь	1.4	2	5.3	0.001735
Чугун	1.6	2	5.3	0.001735
Асбестоцемент	1.95	1.85	4.89	0.001180
Пластмасса	1.95	1.774	4.774	0.001052

Общие затраты (капитальные и энергетические) на всю сеть оцениваются функцией

$$F_1(x, h) = \sum_i \left(bk^{\frac{\alpha}{\gamma}} x_i^{\frac{\alpha\beta}{\gamma}} h_i^{-\frac{\alpha}{\gamma}} + px_i h_i \right) l_i. \tag{8}$$

Поскольку функция затрат (8) выпуклая и гладкая по h_i , то

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_i} = -\frac{\alpha}{\gamma} bk^{\frac{\alpha}{\gamma}} x_i^{\frac{\alpha\beta}{\gamma}} h_i^{-\frac{\alpha+\gamma}{\gamma}} + px_i = 0. \tag{9}$$

Из (9) следует

$$h_i^{-\frac{\alpha+\gamma}{\gamma}} = \frac{\gamma p}{\alpha b k^{\frac{\alpha}{\gamma}}} x_i^{1-\frac{\alpha\beta}{\gamma}}. \tag{10}$$

Из (10) в свою очередь следует

$$h_i = \left(\frac{\alpha b}{\gamma p} \right)^{\frac{\gamma}{\alpha+\gamma}} k^{\frac{\alpha}{\alpha+\gamma}} x_i^{\frac{\gamma-\alpha\beta}{\alpha+\gamma}}.$$

Подставив h_i в функцию общих затрат (8) на создание сети, получим

$$F_1(x) = \sum_{i=1}^n \left(bk^{\frac{\alpha}{\gamma}} x_i^{\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \left(\frac{\alpha b}{\gamma p} \right)^{\frac{\gamma}{\alpha+\gamma}} k^{\frac{\alpha}{\alpha+\gamma}} x_i^{\frac{\gamma-\alpha\beta}{\alpha+\gamma}} \right)^{\frac{\alpha}{\gamma}} + px_i \left(\frac{\alpha b}{\gamma p} \right)^{\frac{\gamma}{\alpha+\gamma}} k^{\frac{\alpha}{\alpha+\gamma}} x_i^{\frac{\gamma-\alpha\beta}{\alpha+\gamma}} \right) l_i. \tag{11}$$

После ряда преобразований из (11) следует

$$F_1(x) = \left(\left(\frac{\gamma}{\alpha} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+\gamma}} + \left(\frac{\alpha}{\gamma} \right)^{\frac{\gamma}{\alpha+\gamma}} \right) b^{\frac{\gamma}{\alpha+\gamma}} (pk)^{\frac{\alpha}{\alpha+\gamma}} \sum_i x_i^{\frac{\alpha\beta+\alpha}{\alpha+\gamma}} l_i.$$

Введя обозначения

$$\eta = \left(\left(\frac{\gamma}{\alpha} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+\gamma}} + \left(\frac{\alpha}{\gamma} \right)^{\frac{\gamma}{\alpha+\gamma}} \right) b^{\frac{\gamma}{\alpha+\gamma}} (pk)^{\frac{\alpha}{\alpha+\gamma}}, \quad \delta = \frac{\alpha\beta+\alpha}{\alpha+\gamma},$$

окончательно получим

$$F_1(x) = \eta \sum_i x_i^\delta l_i.$$

Из таблицы 1 и полученной формулы $\delta = \frac{\alpha\beta+\alpha}{\alpha+\gamma}$ рассчитываются значения δ для гидравлических сетей из любых материалов. Например, для пластмассовых (полиэтиленовых) труб получим $\delta = 0,8045$.

6. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Ниже представлены результаты вычислительного эксперимента на ДБГ.

«Программа для проектирования потоковой сети до 6-го ранга оптимальности на основе прямой и кустовой оптимизации» (свидетельство № 2021680687) была дополнена алгоритмами формирования ДБГ и оптимизацией сетей на нем. Вычислительные эксперименты проводились на этой программе. Проектировались трубопроводные гидравлические сети из полиэтиленовых труб.

6.1. ЭКСПЕРИМЕНТ 6-ОПТИМИЗАЦИЯ НА РБГ, СФОРМИРОВАННОМ ИЗ 3 ОСТОВНЫХ ДЕРЕВЬЕВ 5-ГО РАНГА

Была проведена универсальная невозвратная 6-оптимизация. РБГ был составлен из 3 деревьев со стоимостями 485,876; 492,105; 493,054.

$$c_{ij}(x_{ij}) = \eta x_{ij}^{0,8045}$$

Таблица 2. Дерево 493,054 (потомок дерева «Расческа») / **Table 2.** Tree 493,054 (descendant of the “Rascheska” tree)

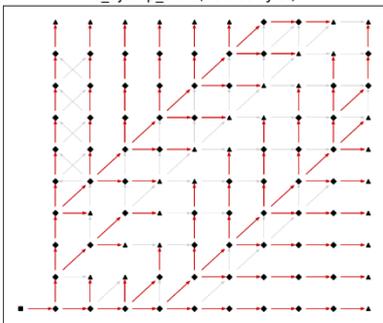
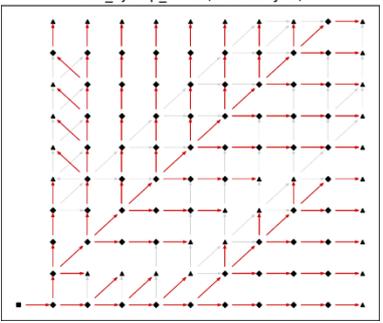
6-оптимизация	Начало	Конец
Схема сети		
Стоимость	493,054 y.e.	485,534
Время проектирования (27 час. 11 мин.)	2023,06,09 15:20	2023,06,10 08:31

Таблица 3. Дерево 492,105 (потомок дерева «Змейка») / **Table 3.** Tree 492,105 (descendant of the “Zmeika” tree)

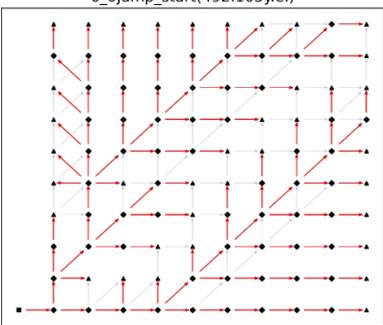
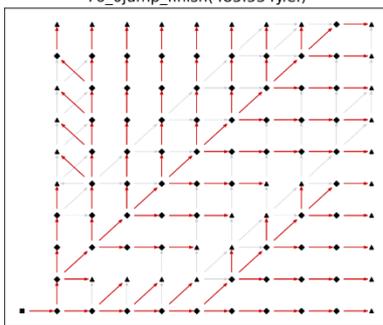
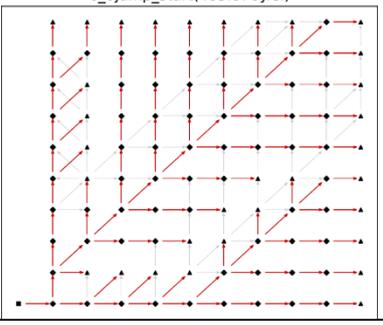
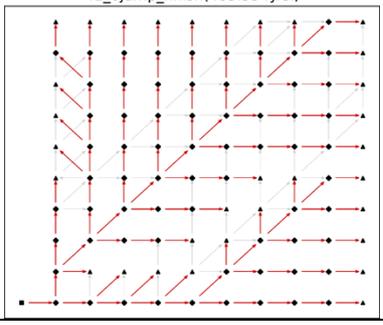
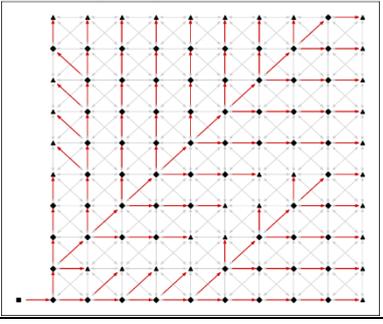
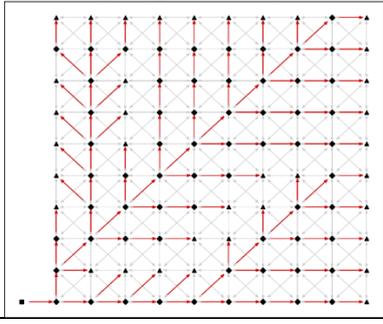
6-оптимизация	Начало	Конец
Схема сети	0_0jump_start(492.105y.e.) 	76_0jump_finish(485.534y.e.) 
Стоимость	492,105	485,534
Время проектирования (12 час. 50 мин.)	2023,06,09 15:20	2023,06,10 04:10

Таблица 4. Дерево 485,876 (потомок дерева «Диагонали») / **Table 4.** Tree 485,876 (descendant of the “Diagonali” tree)

6-оптимизация	Начало	Конец
Схема сети	0_0jump_start(485.876y.e.) 	41_0jump_finish(485.534y.e.) 
Стоимость	485,876	485,534
Время проектирования (7 час. 30 мин.)	2023,06,09 15:20	2023,06,09 22:50

Перенос решения на ПБГ и 2-оптимизация

Таблица 5. Дерево 485,534 («Расческа») / **Table 5.** Tree 485,534 (“Rascheska”)

6-оптимизация	Начало	Конец
Схема сети	0_0jump_start(485.534y.e.) 	12_0jump_finish(484.917y.e.) 
Стоимость	485,534	484,917
Время проектирования (4 мин.)	2023.06.15 15:21	2023.06.15 15:25

6.2. ЭКСПЕРИМЕНТ 7-ОПТИМИЗАЦИЯ НА РБГ, СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ 2 ОСТОВНЫХ ДЕРЕВЬЕВ 6-ГО РАНГА

Была проведена универсальная невозвратная 7-оптимизация. РБГ был составлен из 2 деревьев со стоимостями 485,876 и 480,441.

Таблица 6. Дерево 485,876 / **Table 6.** Tree 485,876

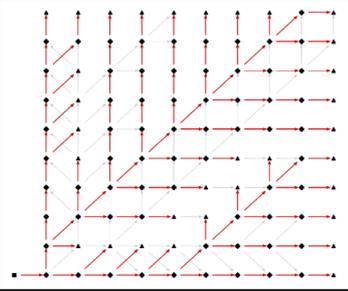
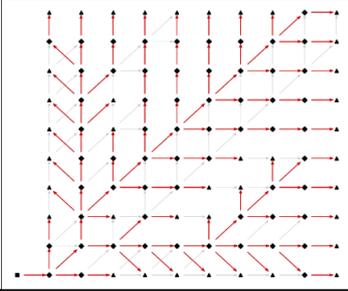
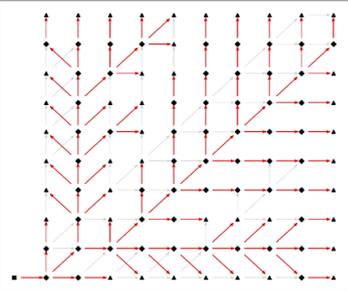
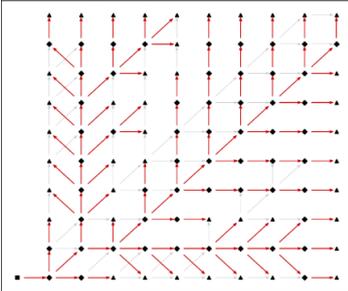
7-оптимизация	Начало	Конец
Схема сети	0_0jump_start(485.876y.e.) 	0_0jump_seeing(480.758y.e.) 
Стоимость	485,876	480,758
Время проектирования (18 час. 37 мин.)	2023,06,15 12:54	2023,06,16 07:31

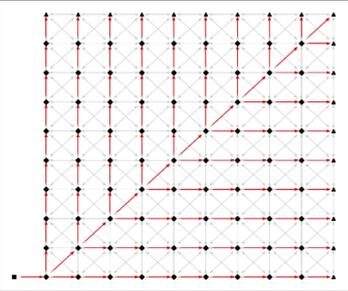
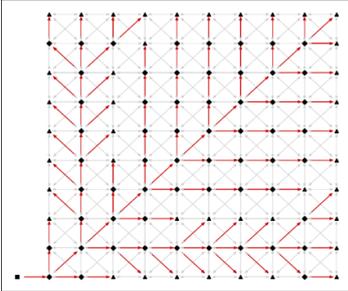
Таблица 7. Дерево 480,441 / **Table 7.** Tree 480,441

7-оптимизация	Начало	Конец
Схема сети	0_0jump_start(480.441y.e.) 	0_0jump_start(480.441y.e.) 
Стоимость	480,441	480,441
Время проектирования (13 час. 21 мин.)	2023,06,15 12:54	2023,06,16 02:15

6.3. ЭКСПЕРИМЕНТ 2-ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПБГ

Была проведена универсальная невозвратная 2-оптимизация на ПБГ.

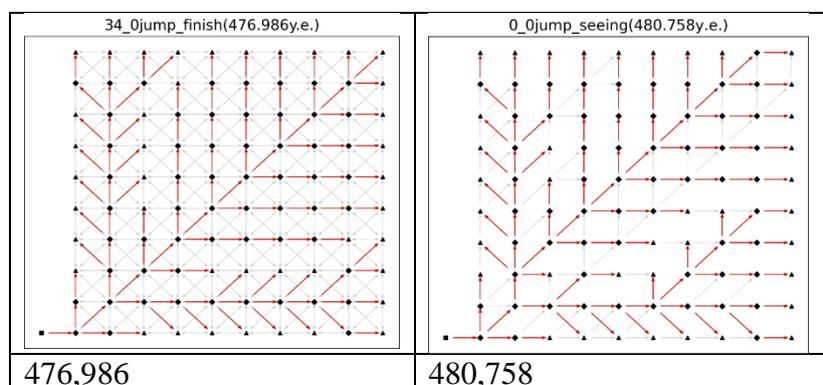
Таблица 8. Дерево 565,666 («Елка») / **Table 8.** Tree 565,666 (“Elka” tree)

2-оптимизация	Начало	Конец
Схема сети	0_0jump_start(481.418y.e.) 	34_0jump_finish(476.986y.e.) 
Стоимость	481,418	476,986
Время проектирования (3 мин.)	2023,05,29 13:50	2023,05,29 13:53

В результате компьютерного проектирования (вычислительного эксперимента) выделено 2 сети наименьшей стоимости и различной структуры. Ниже представлены их структура и стоимость в условных единицах.

Таблица 9. Сети наименьшей стоимости и различной структуры

Table 9. Networks of the lowest cost and different structure



Ниже в таблице 10 представлена основная числовая информация по оптимальной сети.

Таблица 10. Основная числовая информация по оптимальной сети

Table 10. Basic numerical information on the optimal network

Ветви сети	Длина ветвей (метр)	Потоки по ветвям (литр/с)	Стоимость ветвей (в руб.)	Ветви сети	Длина ветвей (метр)	Потоки по ветвям (литр/с)	Стоимость ветвей (в руб.)
0 - 1	100	100	196918,6	62 - 72	100	8	25813,59
1 - 2	100	2	8462,628	64 - 74	100	2	8462,628
2 - 3	100	1	4845,446	65 - 75	100	3	11726,45
9 - 10	100	1	4845,446	66 - 76	100	3	11726,45
12 - 13	100	21	56108,42	67 - 77	100	3	11726,45
13 - 14	100	19	51767,95	72 - 82	100	2	8462,628
14 - 15	100	17	47337,03	74 - 84	100	1	4845,446
15 - 16	100	14	40491,77	75 - 85	100	2	8462,628
16 - 17	100	11	33351,06	76 - 86	100	2	8462,628
17 - 18	100	8	25813,59	77 - 87	100	2	8462,628
18 - 19	100	2	8462,628	78 - 88	100	2	8462,628
19 - 20	100	1	4845,446	81 - 91	100	1	4845,446
23 - 24	100	2	8462,628	82 - 92	100	1	4845,446
24 - 25	100	1	4845,446	83 - 93	100	1	4845,446
29 - 30	100	1	4845,446	85 - 95	100	1	4845,446
34 - 35	100	5	17686,37	86 - 96	100	1	4845,446
35 - 36	100	4	14780,08	87 - 97	100	1	4845,446
36 - 37	100	3	11726,45	88 - 98	100	1	4845,446
37 - 38	100	2	8462,628	89 - 99	100	1	4845,446
38 - 39	100	1	4845,446	1 - 12	141,4214	95	267227,3
45 - 46	100	5	17686,37	12 - 23	141,4214	52	164563,3
46 - 47	100	4	14780,08	15 - 26	141,4214	1	6852,495
47 - 48	100	3	11726,45	16 - 27	141,4214	1	6852,495
48 - 49	100	2	8462,628	17 - 28	141,4214	1	6852,495
49 - 50	100	1	4845,446	18 - 29	141,4214	3	16583,7
56 - 57	100	4	14780,08	23 - 34	141,4214	47	151709,3
57 - 58	100	3	11726,45	29 - 40	141,4214	1	6852,495
58 - 59	100	2	8462,628	34 - 45	141,4214	36	122421,4
59 - 60	100	1	4845,446	42 - 53	141,4214	1	6852,495

67 - 68	100	3	11726,45	45 - 56	141,4214	25	91297,44
68 - 69	100	2	8462,628	52 - 63	141,4214	1	6852,495
69 - 70	100	1	4845,446	56 - 67	141,4214	16	63758,04
78 - 79	100	2	8462,628	62 - 73	141,4214	1	6852,495
79 - 80	100	1	4845,446	67 - 78	141,4214	9	40134,18
89 - 90	100	1	4845,446	72 - 83	141,4214	3	16583,7
1 - 11	100	2	8462,628	78 - 89	141,4214	4	20902,19
11 - 21	100	1	4845,446	83 - 94	141,4214	1	6852,495
12 - 22	100	21	56108,42	89 - 100	141,4214	1	6852,495
22 - 32	100	19	51767,95	22 - 31	141,4214	1	6852,495
23 - 33	100	2	8462,628	32 - 41	141,4214	1	6852,495
32 - 42	100	17	47337,03	42 - 51	141,4214	1	6852,495
33 - 43	100	1	4845,446	52 - 61	141,4214	1	6852,495
34 - 44	100	5	17686,37	62 - 71	141,4214	1	6852,495
42 - 52	100	14	40491,77	72 - 81	141,4214	2	11967,96
44 - 54	100	4	14780,08	13 - 4	141,4214	1	6852,495
45 - 55	100	5	17686,37	14 - 5	141,4214	1	6852,495
52 - 62	100	11	33351,06	15 - 6	141,4214	1	6852,495
54 - 64	100	3	11726,45	16 - 7	141,4214	1	6852,495
55 - 65	100	4	14780,08	17 - 8	141,4214	1	6852,495
56 - 66	100	4	14780,08	18 - 9	141,4214	2	11967,96
					Суммарная длина 11284 метра		Итоговая стоимость сети в руб. 2311211,644

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан метод компьютерного проектирования трассировки потоковых сетей высокого ранга оптимальности. В отличие от существующих методов задача решается не на одном изначально заданном избыточным графе возможных соединений узлов сети друг с другом, а на динамически изменяющемся в ходе оптимизации графе. При этом с ростом ранга оптимальности сети снижается размерность графа.

2. Метод обеспечивает возможность построения сетей до 7-го ранга оптимальности, т.е. любое включение в сформированную сеть от 1 до 7 хорд базового графа и удаление соответствующих дуг сети не приведет к улучшению структуры и снижению стоимости сети. При построении такой сети дистанция по стоимости между сетью P-го и (P+1)-го ранга резко убывает, что говорит о близости решения к глобальному оптимуму.

3. Метод предназначен для проектирования больших разветвленных трубопроводных сетей регионального и межрегионального водоснабжения, трубопроводных оросительных сетей.

4. Метод обеспечивает возможность компьютерного проектирования не одной, а нескольких сетей равного ранга оптимальности, что важно для проектных организаций т.к. обеспечивает возможность выбора из них наилучшей с точки зрения проектировщиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов В. П., Кассинская Л. И. Некоторые методы минимизации вогнутой функции на выпуклом многограннике // В кн. Методы оптимизации и их приложения. Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1987. С. 151–172.

2. Анциферов Е. Г., Ащепков Л. Т., Булатов В. П. Методы оптимизации и их приложения. Ч. 1. Математическое программирование. Новосибирск: Наука, 1990. 158 с. ISBN 5-02-029658-9.

3. Трубин В. А., Михалевич В. С., Шор Н. З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. Москва: Наука, 1986. 260 с.
4. Меренков А. П., Сеннова Е. В., Сумароков С. В. и др. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения. Новосибирск: Наука, 1992. 407 с.
5. Туй Х. Вогнутое программирование при линейных ограничениях // Доклады АН СССР. 1964. Т. 159. № 1. С. 32–35.
6. Кудяев В. Ч., Абазоков М. Б. Ранговая оптимизация потоковых сетей // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018. № 4(24). С. 178–185. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-178-185.
7. Кудяев В. Ч., Абазоков М. Б. Компьютерное проектирование потоковых сетей Р-го ранга оптимальности // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 6(92). С. 122–131. DOI:10.35330/1991-6639-2019-6-92-122-131.
8. Кудяев В. Ч., Абазоков М. Б. Кустовая оптимизация высокого ранга оптимальности потоковых сетей // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 37. № 4. С. 104–118. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-104-118.
9. Кудяев В. Ч. Ранги экстремумов и структурная оптимизация больших сетевых систем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 4(72). С. 15–24.
10. Некрасова О. А., Хасилев В. Я. Оптимальное дерево трубопроводной системы // Экономика и мат. методы. 1970. Т. 4. № 3. С. 427–432.
11. Абрамов Н. Н., Поспелова М. М., Сомов М. А. и др. Расчет водопроводных сетей. Москва: Стройиздат, 1983. 278 с.
12. Абазоков М. Б., Багов М. А., Кудяев В. Ч. Компьютерное проектирование больших трубопроводных сетей высокого ранга оптимальности // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. 2022. № 4. Т. 22. С. 39–56. DOI: <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2022-22-4-39-56>.

REFERENCES

1. Bulatov V.P., Kassinskaya L.I. Some methods for minimizing a concave function on a convex polyhedron. *Metody optimizatsii i ikh prilozheniya* [Optimization Methods and Applications]. Irkutsk: SEI SO AN USSR, 1987. Pp. 151–172. (In Russian)
2. Antsiferov E.G., Ashchepkov L.T., Bulatov V.P. *Metody optimizatsii i ikh prilozheniya. CH. 1. Matematicheskoye programmirovaniye* [Methods of optimization and their applications. Part 1. Mathematical programming]. Novosibirsk: Nauka, 1990. 158 p. ISBN 5-02-029658-9. (In Russian)
3. Trubin V.A., Mikhalevich V.S., Shor N.Z. *Optimizatsionnyye zadachi proizvodstvenno-transportnogo planirovaniya* [Optimization problems of production and transport planning]. Moscow: Nauka, 1986. 260 p. (In Russian)
4. Merenkov A.P., Sennova E.V., Sumarokov S.V. et al. *Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya sistem teplo-, vodo-, nefte- i gazosnabzheniya* [Mathematical modeling and optimization of heat, water, oil and gas supply systems]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 407 p. (In Russian)
5. Tui H. Concave programming under linear constraints. *Doklady AN SSSR*. 1964. Vol. 159. No. 1. Pp. 32–35. (In Russian)
6. Kudaev V.Ch., Abazokov M.B. Rank optimization of streaming networks. *Vestnik KRAUNC*. Phys.-Math. Sciences. 2018. No. 4(24). Pp. 178–185. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-178-185. (In Russian)
7. Kudaev V.Ch., Abazokov M.B. Computer design of flow networks of P-th rank

of optimality. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2019. No. 6(92). Pp. 122–131. DOI:10.35330/1991-6639-2019-6-92-122-131. (In Russian)

8. Kudaev V.Ch., Abazokov M.B. Cluster optimization of high-rank optimality of flow networks. *Vestnik KRAUNC. Phys.-Math. Sciences*. 2021. Vol. 37. No. 4. Pp. 104–118. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-104-118. (In Russian)

9. Kudaev V.Ch. Ranks of extremums and structural optimization of large network systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 4(72). Pp. 15–24. (In Russian)

10. Nekrasova O.A., Khasilev V.Ya. Optimal tree of a pipeline system. *Ekonomika i matematicheskiye metody* [Economics and Mathematical Methods]. 1970. Vol. 4. No. 3. Pp. 427–432. (In Russian)

11. Abramov N.N., Pospelova M.M., Somov M.A. et al. *Raschet vodoprovodnykh setey* [Calculation of water supply networks]. Moscow: Stroyizdat, 1983. 278 p. (In Russian)

12. Abazokov M.B., Bagov M.A., Kudaev V.Ch. Computer design of large pipeline networks of high optimality rank. *Doklady AMAN*. 2022. No. 4. Vol. 22. Pp. 39–56. DOI: <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2022-22-4-39-56>. (In Russian)

Информация об авторах

Абазокв Мухаммед Борисович, мл. науч. сотр., Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

Abazokov.Mukhammed@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6847-403X>

Кудаев Валерий Черимович, канд. ф.-м. наук, вед. науч. сотр., Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

vchkudaev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8313-4199>

Information about the authors

Abazokov Mukhammed Borisovich, junior researcher, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS;

360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street;

Abazokov.Mukhammed@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6847-403X>

Kudaev Valery Cherimovich, Ph.D., leading researcher, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS;

360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street;

vchkudaev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8313-4199>

УДК 519.65

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-55-60

EDN: ERYXGL

Численный метод решения оптимизационной задачи траекторного управления и поддержания формации группой автономных БПЛА с прогнозирующими моделями

К. Ю. Ганьшин, Д. Л. Винокурский, О. С. Мезенцева, Ф. В. Самойлов

Северо-Кавказский федеральный университет
355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Аннотация. Статья посвящена разработке численного метода решения оптимизационной задачи траекторного управления единичным БПЛА на основе метода штрафных функций с вычислительным ускорением. Описан численный метод поиска решения задачи траекторного управления, которая представлена в виде задачи квадратичного программирования, использующий метод штрафных функций с вычислительным ускорением Эйткина.

Ключевые слова: алгоритмы генерации траекторий, математическая модель БПЛА, численный метод, ускорение Эйткина, штрафная функция, Лагранж

Поступила 24.07.2023, одобрена после рецензирования 26.07.2023, принята к публикации 04.08.2023

Для цитирования. Ганьшин К. Ю., Винокурский Д. Л., Мезенцева О. С., Самойлов Ф. В. Численный метод решения оптимизационной задачи траекторного управления и поддержания формации группой автономных БПЛА с прогнозирующими моделями // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 55–60. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-55-60

Original article

Numerical method for solving the optimization problem of trajectory control and formation maintenance by a group of autonomous UAVs with predictive models

K.Yu. Ganshin, D.L. Vinokursky, O.S. Mezentseva, Ph.V. Samoilov

North-Caucasus Federal University
355017, Russia, Stavropol, 1, Pushkin street

Abstract. The article is devoted to the development of a numerical method for solving the optimization problem of trajectory control of a single UAV based on the penalty functions method with computational acceleration. The article described a numerical method for finding a solution to the trajectory control problem, presented as a quadratic programming problem, using the penalty function method with Aitken's computational acceleration.

Keywords: trajectory generation algorithms, UAV mathematical model, numerical method, Aitken's acceleration, penalty function, Lagrange

Submitted 24.07.2023, approved after reviewing 26.07.2023, accepted for publication 04.08.2023

For citation. Ganshin K.Yu., Vinokursky D.L., Mezentseva O.S., Samoilov F.V. Numerical method for solving the optimization problem of trajectory control and formation maintenance by a group of autonomous UAVs with predictive models. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 55–60. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-55-60

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БПЛА В ФОРМЕ ЛАГРАНЖА

Система управления на основе методов Model predictive control (MPC) [1–3] использует кинематическую модель реального объекта, который должен подвергаться управляющим воздействиям. Наиболее распространены записи кинематических моделей в формах уравнений Лагранжа и Гамильтона. В данном случае применяется форма Лагранжа из-за явного использования обобщенных скоростей в отличие от формы Гамильтона [4], где уравнения используют обобщенные импульсы.

Представим математическую модель четырехроторного БПЛА в форме Лагранжа. Для этого приведем обобщенный лагранжиан L , который представляет собой разность кинетической и потенциальной энергий моделируемого объекта. В случае квадрокоптера [5–7] рассматриваемая модель может быть основана на модели абсолютно твердого тела [8]:

$$L(q, \dot{q}) = T(\dot{q}) - U(q), \quad (1)$$

где $T(\dot{q})$, $U(q)$ – кинетическая и потенциальная энергия соответственно.

Из-за возможности БПЛА вращаться вокруг трех осей относительно собственного центра масс представим кинетическую энергию в форме Кенинга:

$$T = T_0 + T_r = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \quad (2)$$

где T_0 , T_r – энергия движения центра масс и энергия движения относительно центра масс соответственно, v , ω – линейная и угловая скорости объекта, I – его момент инерции.

Таким образом, Лагранжиан квадрокоптера примет следующий вид:

$$L(q, \dot{q}) = T_0(\dot{q}) + T_r(\dot{q}) - U(q) = \frac{m}{2} \dot{\xi}^T \dot{\xi} + \frac{1}{2} v^T I v - mgz. \quad (3)$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ШТРАФНЫХ ФУНКЦИЙ

Метод штрафных функций является одним из наиболее распространенных методов решения задач оптимального управления. Идея метода состоит в приближенном решении задачи минимизации при ограничениях и сведении ее к решению задачи минимизации целевой функции без ограничений. При этом вспомогательная функция выбирается так, чтобы она совпадала с минимизированной функцией внутри области допустимых решений и быстро возрастала вне ее [9]. Допустим, что исследуется задача при ограничениях:

$$\begin{cases} \min f_0(x) \\ f_i(x) \leq 0, i = 1, 2 \dots n. \end{cases} \quad (4)$$

Составим функцию:

$$\varphi_0(t) \begin{cases} t^2, t \geq 0 \\ 0, t < 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$S(x, r) = r \sum_{i=1}^n \varphi_0(f_i(x)), \quad (6)$$

тогда легко видеть, что $S(x, r)$ внутри области допустимых решений. Если же точку x взять вне этой области, то $S(x, r) > 0$ и $S(x, r) \rightarrow +\infty$ при $r \rightarrow \infty$.

Вспомогательная задача теперь состоит в минимизации $F(x, r) = f_0(x) + S(x, r)$. Ожидаемо, что решение этой задачи будет близким к решению исходной задачи [10]. В общем случае она строится так, чтобы график ее функции был гладким.

Пусть имеется задача минимизировать значение функции при ограничениях

$$\begin{aligned} \min f_0(x) \\ f_1(x) \leq 0, i = 1, 2 \dots n, \end{aligned} \quad (7)$$

которая далее будет разобрана поэтапно.

Этап подготовки: выбрать в качестве константы остановки $\varepsilon > 0$ начальную допустимую точку $x^0 \in R^n$, для которой $f_i(x) \leq 0$, скаляр r_0 и $0 < \beta < 1$. Положить, что $k=1$, и перейти к основному этапу.

Главный итерационный процесс: *k-я итерация*.

Шаг 1.

При исходной точке x_k решить следующую задачу безусловной оптимизации:

$$\min F(x, r) = f_0(x) + S(x, r), \quad (8)$$

где $r > 00$ – параметр, значения которого убывают на каждой итерации.

Примерами штрафных функций являются:

- 1) обратная функция $S_i(x, r) = 1/f_i(x), i = 1, 2, \dots, n$;
- 2) логарифмическая функция $S_i(x, r) = -\ln f_i(x), i = 1, 2, \dots, n$.

Положить x_{k+1} равным оптимальному решению задачи минимизации и перейти ко второму шагу.

Минимизация штрафной функции может быть выполнена любым методом безусловной оптимизации, например, градиентным [11].

Шаг 2.

Если $S(x, r) < \varepsilon$, то остановиться. Решение является искомым.

В противном случае положить, что $r_{k+1} = \beta r_k$. Изменить $k = k + 1$ и перейти к первому шагу ($k+1$)-й итерации.

Далее используем метод Эйткина [12] для ускорения вычислений по методу штрафных функций. С помощью этого метода можно добиться ускорения сходимости итерационных методов.

Пусть по методу штрафных функций получены точки x_{k-1}, x_k, x_{k+1} . Эти точки должны удовлетворять системе ограничений задачи $f_i(x) \leq 0$. Тогда будем определять каждое последующее значение из формулы

$$x_{n+1} = x_n - \frac{(x_n - x_{n-1})^2}{x_n - 2x_{n-1} + x_{n-2}} \quad (9)$$

при условии $f_i(x_{n+2}) \leq 0$.

Графическая интерпретация метода представлена на рисунке 1. Блок-схема всего численного метода изображена на рисунке 2.

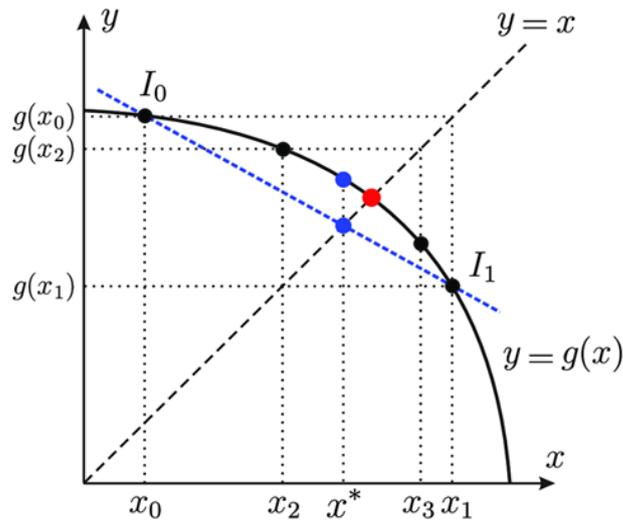


Рис. 1. Графическое представление поиска точки решения с ускорением Эйткина
Fig. 1. Graphical representation of the search for a solution point with Aitken's acceleration

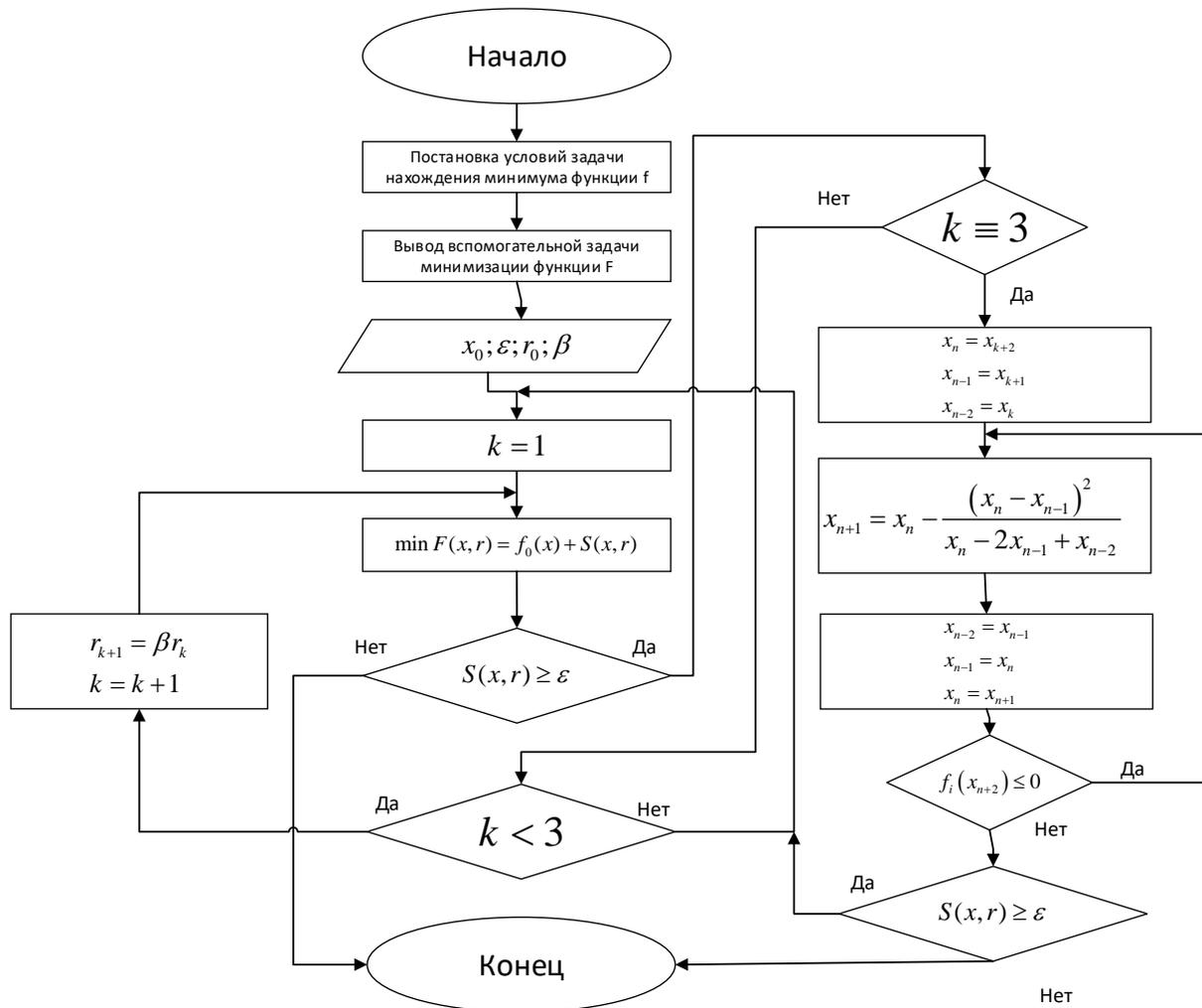


Рис. 2. Блок-схема разработанного метода поиска оптимального решения на основе метода штрафных функций и ускорения Эйткина

Fig. 2. Block diagram of the developed method for finding the optimal solution based on the method of penalty functions and Aitken's acceleration

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья посвящена разработке численного метода решения оптимизационной задачи траекторного управления единичным БПЛА, отличающегося от известных использованием прогнозирующих моделей на основе метода штрафных функций с вычислительным ускорением. Описана математическая модель БПЛА в форме Лагранжа.

В статье был разработан и описан численный метод поиска решения задачи траекторного управления, которая представлена в виде задачи квадратичного программирования, использующий метод штрафных функций с вычислительным ускорением Эйткина.

REFERENCES

1. *Jeziński A.* A comparison of LQR and MPC control algorithms of an inverted pendulum / A. Jeziński, J. Mozaryn, D. Suski. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham: Springer International Publishing. 2017. Pp. 65–76.
2. *Ławryńczuk M.* Introduction to model predictive control // in book «Nonlinear Predictive Control Using Wiener Models». Cham: Springer International Publishing. 2022. Pp. 3–40.
3. *Richalet J., Rault A., Testud J. et al.* Model predictive heuristic control. *Automatica (Oxf.)*. 1978. No. 14 (5). Pp. 413–428.
4. *Виноградов А. М., Красильчик И. С.* Что такое гамильтонов формализм? // УМН. 1975. Т. 30. No. 1(181). С. 173–198.
Vinogradov A.M., Krasil'shchik I.S. What is the Hamiltonian formalism? *Russian mathematical surveys*. 1975. Vol. 30. No. 1. Pp. 177–202.
5. *Garcia G.A., Kim A.R., Jackson E. et al.* Modeling and flight control of a commercial nano quadrotor // *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. IEEE. 2017. DOI: 10.1109/icuas.2017.7991439-2017.
6. *Chinedu Amata Amadi W.S.* Design and implementation of Model Predictive Control on Pixhawk Flight Controller. Stellenbosch University. 2018.
7. *Giernacki W., Skwierczynski M., Witwicki W. et al.* Crazyfly 2.0 quadrotor as a platform for research and education in robotics and control engineering. *22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*. IEEE. 2017. DOI: 10.1109/mmar.2017.8046794-2017.
8. *Арнольд В. И., Козлов В. В., Нейштатт А. И.* Математические аспекты классической и небесной механики // *Динамические системы – 3, Итоги науки и техн. Сер. Современ. пробл. мат. Фундам. направления. ВИНТИ: М., 1985. № 3. С. 5–290.*
Arnold V.I., Kozlov V.V., Nejshtadt A.I. *Mathematical aspects of classical and celestial mechanics. Itogi Nauki i Tekhniki. Seriya Sovremennye Problemy Matematiki. Fundamental'nye Napravleniya*. 1985. No. 3. Pp. 5–290. (in Russian)
9. *Wills A.G., Heath W.P.* Barrier function based model predictive control. *Automatica: the journal of IFAC, the International Federation of Automatic Control*. 2004. No. 8(40). Pp. 1415–1422.
10. *Gopal V., Biegler L.T.* Large scale inequality constrained optimization and control. *IEEE Control Systems Magazine*. 1998. No. 18(6). Pp. 59–68.
11. *Фаддеев Д. К., Фаддеева В. Н.* Вычислительные методы линейной алгебры. Ленинград: Наука, 1975.
Faddeev D.K., Faddeeva V.N. *Vychislitel'nyye metody lineynoy algebry [Computational methods of linear algebra]*. Leningrad: Nauka, 1975 (in Russian)

12. *Aitken A.C. XXV.* – On Bernoulli’s numerical solution of algebraic equations. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. 1927. (46). Pp. 289–305.

Информация об авторах

Ганьшин Константин Юрьевич, аспирант, Институт информационных технологий и телекоммуникаций, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7495-0736>

Винокурский Дмитрий Леонидович, канд. физ.-мат. наук, доцент, Институт информационных технологий и телекоммуникаций, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

dlvinokursky@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5225-8076>

Мезенцева Оксана Станиславовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Институт информационных технологий и телекоммуникаций, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5503-1056>

Самойлов Филипп Владимирович, доцент, Институт информационных технологий и телекоммуникаций, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3555-4479>

Information about the authors

Ganshin Konstantin Yuryevich, graduate student, Institute of Information Technologies and Telecommunications, North-Caucasus Federal University;

355017, Russia, Stavropol, 1, Pushkin street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7495-0736>

Vinokursky Dmitry Leonidovich, Ph.D. (Phys. & Math.), Associate Professor, Institute of Information Technologies and Telecommunications, North-Caucasus Federal University;

355017, Russia, Stavropol, 1, Pushkin street;

dlvinokursky@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5225-8076>

Mezentseva Oksana Stanislavovna, Ph.D. (Phys. & Math.) Associate Professor, Institute of Information Technologies and Telecommunications, North-Caucasus Federal University;

355017, Russia, Stavropol, 1, Pushkin street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5503-1056>

Samoilov Philipp Vladimirovich, Ph.D. (Phys. & Math.), Associate Professor, Institute of Information Technologies and Telecommunications, North-Caucasus Federal University;

355017, Russia, Stavropol, 1, Pushkin street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3555-4479>

==== ЧАСТНАЯ ЗООТЕХНИКА, КОРМЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ ====
И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

УДК 636.2.034

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-61-68

EDN: MMGSLJ

Аналитическая статья

Ново-Ивановская фабрика молока

Ж. Х. Жашуев, В. М. Гукежев, О. А. Батырова

Институт сельского хозяйства –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224

Аннотация. В статье приводятся данные по динамике повышения молочной продуктивности, производства молочных продуктов, реализации племенных нетелей и телок, их экономические показатели, полученные при совершенствовании в разные периоды коров красной степной породы родственными – красной датской, англерской и в последние годы – красно-пестрой голштинской породами. Для полного удовлетворения норм потребления населением животноводческих продуктов, рекомендуемых Институтом питания РАМН, требуется увеличение поголовья коров, повышение их продуктивности и производства молочных продуктов. Динамичное повышение уровня молочной продуктивности, качества молока, разнообразных молочных продуктов и их рентабельности достигнуто в хозяйстве за счет систематического улучшения уровня кормления и рационального использования генетического потенциала красной степной породы, обогащенного влиянием родственных пород. Благодаря целенаправленной племенной работе таких хозяйств, как кооператив «Ленинцы» по производству молока и молочных продуктов, население республики потребляет 285 кг молока и молочных продуктов, что больше на 13 % и 11,7 %, чем жители РФ и Северо-Кавказского федерального округа соответственно.

Ключевые слова: молочное скотоводство, кооператив, порода, генетический потенциал, удой, молоко и молочные продукты, рентабельность

Поступила 07.07.2023, одобрена после рецензирования 25.07.2023, принята к публикации 02.08.2023

Для цитирования. Жашуев Ж. Х., Гукежев В. М., Батырова О. А. Ново-Ивановская фабрика молока // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 61–68. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-61-68

Analytical article

Novo-Ivanovo milk factory

Zh.Kh. Zhashuev, V.M. Gukezhev, O.A. Batyrova

Institute of Agriculture –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street

Abstract. The article presents data on the dynamics of increasing milk productivity, dairy products production, the sale of breeding heifers and calves, their economic indicators obtained during the improvement in different periods of cows of the red steppe breed and breeds related to them: red Danish, Angeln and in recent years – red-and-white Holstein breeds. To fully meet the standards of consumption of livestock products by the population, recommended by the Institute of Nutrition, it is necessary to increase the number of cows, increase their productivity and dairy production. A dynamic increase in the level of

milk productivity, milk quality, a variety of dairy products and their profitability has been achieved in the farm due to the systematic improvement of the level of feeding and rational use of the genetic potential of the red steppe breed, enriched by the influence of related breeds. Thanks to the purposeful breeding work of farms such as the «Lenintsy» cooperative for the production of milk and dairy products, the population of the republic consumes 285 kg of milk and dairy products, which is 13 % and 11.7 % more than residents of the Russian Federation and of the North Caucasus Federal District.

Keywords: dairy cattle breeding, cooperative, breed, genetic potential, milk yield, milk and dairy products, profitability

Submitted 07.07.2023,

approved after reviewing 25.07.2023,

accepted for publication 02.08.2023

For citation. Zhashuev Jh.Kh., Gukezhev V.M., Batyrova O.A. Novo-Ivanovo milk factory. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2023. No. 4(114). Pp. 61–68. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-61-68

Памяти В. И. Бердюжи посвящается

Прошло уже два года, как не стало Владимира Ивановича, талантливого председателя правления СХПК «Ленинцы» Майского района КБР, преданного земле мудрого руководителя, который более 22 самых сложных или перестроечных, разрушительных для аграрного сектора лет бесменно возглавлял одно из крупнейших хозяйств республики. Умудренный жизненным опытом, он предвидел экономическую и социальную суть возможных последствий перемен, не только сохранил, но и существенно приумножил достоинство и значимость коллективного труда для селян и для всей страны. Сегодня «Ленинцы» – одно из лучших многоотраслевых рентабельных хозяйств, где в красивой благоустроенной станице Ново-Ивановской бок о бок дружно и слаженно живут и работают более 350 человек. Свою дальнейшую судьбу коллектив хозяйства доверил Владиславу Гербертовичу Руссу – главному зоотехнику, который родился, вырос и состоялся как профессиональный специалист под руководством Владимира Ивановича. Мы желаем ему с честью нести знамя «Ленинцев», быть достойным продолжателем славных традиций селян (ново-ивановцев).

Dedicated to the memory of V.I. Berdyuzha

It has been two years since Vladimir Ivanovich passed away. He was a talented chairman of the board of the "Lenintsy" Agricultural Complex in the May district of the KBR, a devoted to the earth wise leader, who headed one of the largest farms of the republic for more than 22 of the most difficult and destructive years for the agrarian sector. Wise with life experience, he foresaw the economic and social essence of the possible consequences of changes, not only preserved, but significantly increased the dignity and importance of collective labor for the villagers and for the country. Today "Lenintsy" is one of the best diversified profitable farms in Novo-Ivanovskoe, where more than 350 people live and work side by side amicably and harmoniously in a beautiful well-run village. The collective of the farm entrusted its future to Vladislav Herbertovich Russ, the chief zootechnician, who was born, grew up and became a professional specialist under the leadership of Vladimir Ivanovich. We wish him to carry the banner of the "Lenintsy" with honor, to be a worthy successor of the glorious traditions of the villagers (Novo-Ivanovtsev).

ВВЕДЕНИЕ

Современная жизнь ставит задачу перед животноводцами всех форм собственности, наукой и передовой практикой обеспечить потребность населения в качественных, экологически безопасных продуктах. Согласно научно обоснованным нормам,

рекомендуемым Институтом питания РАМН, они составляют: 392 кг молока на 1 человека в год или цельного молока – 116, масла сливочного – 6,1, сметаны – 6,5, творога – 8,8, сыра – 6,1, мороженого – 8, молочных консервов – 3, обезжиренного молока – 12,3. По данным института, рационы должны совершенствоваться в направлении сокращения потребления хлебных злаков, картофеля, сахара и увеличения молока, молочных продуктов, мяса, яиц, растительного масла, овощей. Успешное выполнение этой задачи основано на внедрении интенсивных технологий повышения молочной продуктивности, качества молока и молочных продуктов, продления сроков продуктивного использования коров, укрепления кормовой базы, обеспечивающей полноценное кормление, способное максимально выявить генетический потенциал продуктивности животных.

СХПК «Ленинцы» расположен в юго-западной части Майского района Кабардино-Балкарской Республики, является крупным сельскохозяйственным предприятием по производству животноводческой и растениеводческой продукции, реализации племенного крупного рогатого скота и инкубационных яиц родительских форм стада. Развитие кооператива базируется на современной технической основе, систематически пополняющейся новой техникой, что позволяет проводить полевые работы в оптимальные агротехнические сроки. Он имеет свои жизнеобеспечивающие объекты: школу, дом культуры, детский сад, магазины, пекарню, столовую, машинный двор с полным набором прицепных, навесных, самоходных с/х машин и оборудования, ремонтные мастерские, строительную бригаду, животноводческие фермы и цеха по переработке своей сельскохозяйственной продукции. Кооператив «Ленинцы» арендует 4261 га земли, в том числе 3088 га пашни, большая часть которых – орошаемые земли, благоприятные для возделывания зерновых, зернобобовых, кормовых культур, овощей и плодов. Многоотраслевая структура производства сглаживает характерные для сельского хозяйства сезонные поступления денежных средств, во многом благодаря ежегодному росту и реализации животноводческой продукции. Кооператив приумножил свою экономику, стабильно сохранив трудовой коллектив в перестройку. Более 25 лет в хозяйстве совместно с сотрудниками Института сельского хозяйства КБНЦ РАН ведется планомерная работа по созданию высокопродуктивного молочного стада на основе повышения генетического потенциала маточного поголовья красной степной породы при улучшенных условиях кормления и содержания путем использования семени быков проверенных по качеству потомства красной датской и красно-пестрой голштинской породы [1, 2, 3]. Эти мероприятия повысили молочную продуктивность коров большинства молочных пород, в том числе молочного стада «Ленинцев» до уровня 5500–6000 кг, но сократили продолжительность продуктивного использования до 2,2–2,7 лактации, что не позволяет дальнейший рост продуктивности. Своевременная оценка быков родственных пород, их использование, а также управление селекционным процессом позволили удержать этот показатель на уровне 3,5 лактации, что обуславливает возможность увеличения до 4–4,5 лактации методом направленного подбора и дальнейшего увеличения среднего удоя по стаду. Специалисты хозяйства совместно с учеными составляют полноценные рационы кормления телок и коров, систематически проводят целенаправленную работу по подбору, отбору, интенсивному выращиванию телок для ремонта стада, воспроизводства, обновляя научно

обоснованную технологию кормления и содержания с учетом достижения живой массы в возрасте 6 мес. 160–170 кг, в 12 мес. – 290–310, в 14–16 мес. – 350–380 кг. Это позволяет постепенно перейти на осеменение хорошо развитых телок в возрасте 14–15 мес. при наименьших затратах [1]. Исследования направлены на получение животных с более выраженным молочным типом, но сохранивших высокую жизнеспособность, приспособленность к кормовым условиям жаркого климата степной зоны, с крепким копытным рогом, устойчивых к маститам и лейкозу [4]. Большое внимание обращается на вопросы выровненности стада по молочной продуктивности и интенсивности молокоотдачи, быстрой адаптации к условиям кормления и содержания. Количество первотелок, отбираемых по продуктивности, позволяет системно проводить качественный ремонт молочного стада и ежегодную реализацию сверхремонтных нетелей живой массой 500–520 кг в пределах 80–100 голов, бычков более 100, среди которых 25–30 происходящих от высокопродуктивных коров с удоем 7,0–9,5 тыс. кг молока, жирностью 3,72–3,84 %, – сыновей быков-улучшателей голштинской и красной датской пород. Фермеры и хозяйства населения предпочитают закупать нетелей, так как они имеют высокий потенциал продуктивности.

В 1994 году колхоз «Ленинцы» был преобразован в СХПК «Ленинцы». В хозяйстве имеется 2687 голов крупного рогатого скота, в том числе 720 коров. Среднегодовое количество работников хозяйства составляет 360–380 человек, в т.ч. – 58 в животноводстве, 25 в птицеводстве, все специалисты высокой квалификации. Текущее состояние работников, особенно связанных с производством молока, – редкое явление. В структуре ВВП продукция животноводства стабильно занимает более 40 %. СХПК «Ленинцы» со времени своей организации (колхоза) занимается разведением плановой для степной зоны красной степной породы. Повышение продуктивности коров проводится на базе интенсификации селекционного процесса при чистопородном разведении и скрещивании с породами, наиболее полно отвечающими современным требованиям. Симбиоз науки и практики на фоне коллективного труда – наглядное свидетельство того, что такая форма собственности и хозяйствования явилась основой динамичного развития животноводства, что наглядно демонстрирует таблица 1 [5, 6].

Как видно из данных таблицы, именно в 2016 году, когда по средней продуктивности стадо вплотную приблизилось к 6000-му рубежу, была принята программа по установлению рациональной структуры стада, обеспечивающей оптимальное соотношение между тремя основными качественными показателями: плодовитость – продуктивность – жизнеспособность. Программа предусматривала обеспечить выход телят на уровне не менее 90 от 100 коров и их сохранность не ниже 97 %, а также приостановить наметившуюся тенденцию резкого снижения продолжительности использования коров, стабилизировать данный показатель на уровне 3,8–4 лактации.

Целенаправленная селекционная работа обеспечивает стабильный рост всех показателей. Так, по итогам 2022 года валовое производство молока составило 4958,3 тонны, что на 205,9 т выше, чем в 2021 году, а средний удой на корову вырос на 184 кг и составил 6915 кг – это самый высокий показатель по породе на Северном Кавказе.

Таблица 1. Динамика поголовья и производства продукции животноводства за 2016–2022 гг.

Table 1. Dynamics of livestock and livestock production for 2016–2022

№ п/п	Показатель	Годы						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	Поголовье крупного рогатого скота, гол.	2632	2413	2362	2450	2552	2586	2687
2	в том числе коров, гол.	680	700	700	705	710	715	720
3	Удой на фуражную корову, кг.	5967	6328	6165	6702	6770	6731	6915
4	Произведено молока, т	4016	4309	4316	4698	4807	4752,4	4958,3
5	Произведено мяса всего, т	774	716	661	631	595,3	688	651
6	в том числе говядины, т	485	495	446	415	371,7	426	470
7	птицы, т	289	221	215	216	224	253	221
8	Среднесуточный привес КРС, г	645	718	693	635	616	648	712
9	Получено телят, гол.	827	785	766	860	804	892	917
10	Получено телят на 100 коров, гол.	92	92	91	92,7	92	87	88
11	Яйцо, тыс. шт.	5050	4868	4110	3063	2658	3534	3617
12	Расход корма на 1 кг молока, к. ед.	1,25	1,3	2,08	1,06	0,85	1,15	0,95
13	На 1 кг привеса, к. ед.	12,6	8,2	11,7	10,1	13,9	9,55	13,92

Решающим условием роста продуктивности скота и птицы в хозяйстве являются животноводы – «золотой» фонд – это квалифицированные зооветспециалисты, мастера машинного доения, которые своим упорным трудом определяют успех селекции, всей племенной работы. Мастера машинного доения имеют большой опыт в индивидуальном подходе к животным в вопросах кормления и раздоя высокопродуктивных коров. На данном этапе 19 первотелок разной кровности по улучшаемым породам раздоены до 6679 кг молока с содержанием жира 3,78 %, выходом 252,5 кг молочного жира; 22 коровы по второй лактации с удоем 7238 кг жирностью 3,72 % и 269 кг молочного жира, а третьей и старше лактации – 17 коров со средним удоем 8540 кг с содержанием жира 3,70 % и выходом молочного жира 316 кг. Рекордистками молочного стада по удою за первую лактацию стали коровы Дружба 5718, Метелица 2450, Самара 5461 и Шарада 5500 с удоем от 6700 кг до 7623 кг молока; за вторую – Кукла 3143, Кадриль 3734, Мидия 3519, Шалуныя 3094, Задача 2671 с удоем от 7653 до 9652 кг молока; за третью и старше лактациям – Мудрая 2587, Улыбка 1499 и Чайка 3090, их удои – до 9890 кг молока [6].

Существенным элементом, определяющим стабильно высокую рентабельность молочного скотоводства хозяйства, является налаженная система переработки и реализации продуктов животноводства (табл. 2).

Кооператив поставляет в торговую сеть молочную продукцию исключительно из натурального молока «без пищевых добавок», не испытывает трудностей с реализацией своей продукции. «Молочники» работают по российским ГОСТам. Вся продукция пастеризуется, поэтому сроки хранения, как в советские времена, – пять-семь суток. Сливки, сме-

тана, сливочное масло, творог, кефир, молоко под брендом «Натуральные продукты из Ново-Ивановки» пользуются неизменным спросом и любовью покупателей, расходуется продукция СХПК «Ленинцы» по всему Северному Кавказу. Население республики давно знакомо с качеством молочной продукции, покупатели доверяют поставщикам из этого хозяйства благодаря биологической полноценности, доступности по стоимости для всех слоев населения в течение года. Одна только Ново-Ивановская фабрика ежедневно производит молока на потребление 12262 человека по рекомендуемым нормам. В целом можно отметить, что хозяйство успешно вписалось в рыночные отношения, а конкурентоспособность обеспечивается ассортиментом и высоким качеством производимой продукции, что подтверждается нарастающим спросом.

Таблица 2. Динамика ассортимента и объемов производства продукции животноводства по годам, т

Table 2. Dynamics of the range and volumes of livestock production by years, tons

№ п/п	Наименование	Годы						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	Колбасные изделия	63,1	65,9	63,0	50,7	78,3	74,8	75,3
2	Молоко питьевое пастеризованное	301,4	346,0	292,2	330,8	345	340	316
3	Кефир	134,8	108,0	86,4	98,1	107	136	97,4
4	Йогурт	-	-	-	-	-	26	27
5	Сметана	260,8	215,1	234,3	270	305,7	284	287
6	Сливки	120,3	63,2	52,4	51,6	56,3	76	87,2
7	Творог	91,3	88,7	92,3	117,7	136,0	150	135
8	Масло животное	26,7	29,1	40,2	50,6	46,2	37	34
9	Сыры	130,5	174,0	170,5	182,3	154,2	177,8	200,0
10	Хлеб	285,6	250	287	207	158,2	114,3	77,3

В заключение можно отметить:

– целенаправленная, методологически обоснованная селекционная работа по обогащению генотипа и установлению потенциала продуктивности красной степной породы на фоне обеспечения потребности животных более чем на 95 % качественными кормами собственного производства позволила сформировать самое высокопродуктивное стадо в регионе;

– племенной репродуктор СХПК «Ленинцы» Майского района КБР является одним из ведущих хозяйств, отвечающих всем современным требованиям, предъявляемым к такого рода предприятиям по количеству и племенной ценности животных, продуктивности, воспроизводству стада, выращиванию и реализации племенного высокоценного молодняка;

– на современном этапе развития агропромышленного комплекса только творческий сознательный союз науки и практики может установить оптимальное соотношение растениеводства и животноводства, способное обеспечить, с одной стороны, восстановление и поддержание на экологически безопасном уровне почвенного плодородия, с другой – рациональное использование природно-климатических, трудовых, национальных традиций региона.

На наш взгляд, коллективная форма хозяйствования в сельской местности на примере станции Ново-Ивановская была и остается единственно объединяющей, социально ориентированной, защищающей и обеспечивающей нормальную жизнедеятельность населения, проживающего на определенной территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батырова О. А., Гукеев В. М. Эффективность использования англеской и красно-пестрой голштинской пород для улучшения крупного рогатого скота (методические рекомендации). Нальчик, 2005. 19 с.
2. Габаев М. С., Жашуев Ж. Х. Эффективность использования улучшающей породы в зависимости от уровня кормления и продуктивности исходных маточных стад красного степного скота // *Аграрная Россия*. 2013. № 6. С. 14–15.
3. Гукеев В. М., Габаев М. С., Батырова О. А., Жашуев Ж. Х. Социально-экономические аспекты развития животноводства // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2018. № 1(81). С. 10–16.
4. Бердюжа В. И., Холаев М. Ж. Опыт создания высокопродуктивного стада в КБР. Нальчик, 2006. 14 с.
5. Гукеев В. М., Габаев М. С., Губжоков М. А. Красная степная порода – перспектива для юга России // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. № 2(88). 2019. С. 89–95. DOI: 10.35330/1991-6639-2019-2-88-89-95.
6. Жашуев Ж. Х. В СХПК «Ленинцы» есть чему поучиться // *Молочное скотоводство*. 2018. С. 31–32.

REFERENCES

1. Batyrova O.A., Gukezhev V.M. *Effektivnost' ispol'zovaniya anglerskoj i krasno-pestroj golshhtinskoj porod dlya uluchsheniya krupnogo roगतого skota (metodicheskie rekomendacii)* [The effectiveness of the use of Angler and red-mottled Holstein breeds for the improvement of cattle (methodological recommendations)]. Nalchik, 2005. 19 p. (In Russian)
2. Gabaev M.S., Zhashuev Zh.Kh. The efficiency of using an improving breed depending on the level of feeding and productivity of the initial breeding herds of red steppe cattle. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia]. 2013 No. 6. Pp. 14–15. (In Russian)
3. Gukezhev V.M., Gabaev M.S., Batyrova O.A., Zhashuev Zh.Kh. Socio-economic aspects of livestock development. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2018. No. 1(81). Pp. 10–16. (In Russian)
4. Berdyuzha V.I., Kholaev M.Zh. *Opyt sozdaniya vysokoproduktivnogo stada v KBR* [The experience of creating a highly productive herd in the KBR]. Nalchik, 2006. 14 p. (In Russian)
5. Gukezhev V.M., Gabaev M.S., Gubzhokov M.A. Red steppe breed – perspective for the South of Russia. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. No 2(88). 2019. Pp. 89–95. DOI: 10.35330/1991-6639-2019-2-88-89-95. (In Russian)
6. Zhashuev Zh.Kh. There is a lot to learn in the Lenintsy agricultural complex. *Molochnoe skotovodstvo* [Dairy cattle breeding]. 2018. Pp. 31–32. (In Russian)

Информация об авторах

Жашуев Жамал Хусеевич, ст. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-4750>

Гукеев Владимир Мицахович, д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2523-1246>

Батырова Ольга Александровна, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6041-9626>

Information about the authors

Zhashuev Zhamal Khuseyevich, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-4750>

Gukezhev Vladimir Mitsakhovich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2523-1246>

Batyrova Olga Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6041-9626>

**Итерационное моделирование.
Логическое упорядочение входных параметров
системы поддержки принятия решений**

С. В. Веретехина

Финансовый университет при Правительстве РФ
125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект 49/1

Аннотация. Актуальность исследования обоснована необходимостью поиска консенсуса между отечественным производителем наукоемкой продукции и зарубежным заказчиком для достижения удовлетворенности техническими характеристиками, экономическими показателями, стоимостью интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации для ситуации экспорта. Предметом исследования является цифровой двойник системы поддержки принятия решения. В данной статье решается проблема логического обоснования входных изменяемых параметров. Объектами исследования являются математический инструментарий, итерационный алгоритм, логическое упорядочение входных параметров. Эмпирическая аргументация логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров системы обосновывает количество проводимых итераций. Используется мезоэкономическая теория взаимодействия экономических систем среднего иерархического уровня, а именно: отрасли радиолокации и международного экспортного рынка. В публикации представлены факторы управления стоимостью интегрированной логистической поддержки. Описаны результаты итераций. Определено, что в многофакторной модели управления стоимостью интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации имеет больший вес в части положительного исхода экспорта. Окончательной итерацией является достижение баланса спроса и предложения на международном рынке экспорта наукоемкой продукции.

Ключевые слова: итерационное моделирование, логическое упорядочение, система поддержки принятия решений, мезоэкономика, многофакторная модель управления, стоимость

Поступила 31.07.2023, одобрена после рецензирования 09.08.2023, принята к публикации 10.08.2023

Для цитирования. Веретехина С. В. Итерационное моделирование. Логическое упорядочение входных параметров системы поддержки принятия решения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 69–87. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-69-87

JEL: C1; C36; F63

Original article

**Iterative modeling.
Logical ordering of the input parameters
of decision support systems**

S.V. Veretekhina

Financial University under the Government of the Russian Federation
125167, Russia, Moscow, 49/1 Leningradsky Avenue

Abstract. The relevance of the study is based on the need for finding a consensus between a domestic producer of science-intensive products and a foreign customer to achieve satisfaction with technical characteristics, economic indicators, cost of integrated logistics support for technical operation for the export situation. The subject of the study is the digital twin of the decision support system. This article solves the problem of logical justification of input variable parameters. The objects of the research are mathematical tools, iterative algorithm, logical ordering of input parameters. The empirical argumentation of the logical ordering of the input variable and immutable parameters of the system justifies the number of carried out iterations. The mesoeconomical theory of the interaction of economic systems of the middle hierarchical level, namely, the radar industry and the international export market, is used. The publication presents the cost management factors of integrated logistics support. The results of iterations are described. It is determined that in a multi-factor management model, the cost of integrated logistics support for technical operation has a greater weight in terms of a positive export outcome. The final iteration is achievement of supply and demand balance in the international market of science-intensive products export.

Keywords: iterative modeling, logical ordering, decision support system, mesoeconomics, multifactorial management model, cost

Submitted 31.07.2023,

approved after reviewing 09.08.2023,

accepted for publication 10.08.2023

For citation. Veretekhina S.V. Iterative modeling. Logical ordering of the input parameters of the decision support system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 69–87. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-69-87

1. ВВЕДЕНИЕ

Цифровой двойник системы поддержки принятия решений (СППР) – инструмент итерационного технико-экономического моделирования. Конечной операцией является достижение консенсуса между зарубежным заказчиком и отечественным производителем на экспорт наукоемкой продукции в зарубежную страну. Поиск консенсуса сводится к балансу технико-экономических показателей, где стоимость является основным фактором в системе управления принятием решения. Цифровой двойник отображен итерационным алгоритмом (Приложение 1). Достоинством итерационного моделирования является использование компьютерной обработки данных и ручной корректировки, что позволяет гибко настраивать входные изменяемые параметры и наблюдать за откликом системы. Откликом системы считается результирующая стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкого изделия. Научный подход эмпирической аргументации логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров позволяет сократить количество итераций. Итерационный алгоритм содержит блоки компьютерного технико-экономического моделирования и блоки ручной обработки данных. Результаты итерационного моделирования имеют место в модели общего экономического равновесия спроса зарубежного заказчика на наукоемкую продукцию и предложения только одного отраслевого производителя. Разработка цифрового двойника СППР опиралась на основные принципы математического моделирования, которые содержат следующие постулаты¹:

1) *адекватность* – наукоемкое изделие исследуется по уровням сложности, проводится дробление изделия на его составные части: система – подсистема – агрегат – блок – узел – ячейка;

¹ <https://ecanet.ru/word/Постулат> – положение, выставляемое как истина, не требующая доказательств, из которой выводится какой-нибудь научный закон. Словарь «Экономика-Аналитика-Этимология», <https://ecanet.ru/word>

2) *вариативность* – наукоемкое изделие исследуется по всем тактико-техническим характеристикам, технико-экономическим показателям, создается цифровой двойник СППР непосредственно для ситуации экспорта наукоемкого изделия в отдельно взятую страну (simulation model);

3) *вычислимость (вычислительный эксперимент)* – модель цифрового двойника СППР исследуется программными (инструментальными) методами, имеет многовариантный характер, т.к. достижение консенсуса отечественного производителя и зарубежного заказчика зависит от перечисленных факторов управления стоимостью интегрированной логистической поддержки (ИЛП).

Научная задача проблематики исследования экспорта уникальной наукоемкой продукции в зарубежные страны состоит в том, что зарубежный заказчик хочет знать: сколько раз от стоимости изделия придется заплатить за интегрированную логистическую поддержку технической эксплуатации, чтобы своевременно и качественно поддерживать работоспособность изделия с достижением заданного значения коэффициента готовности.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В модели экономического равновесия спроса и предложения на уникальную наукоемкую продукцию на международном рынке отсутствует ограничение на стоимость уникальной продукции. Стоимость уникальной продукции на международном рынке не является доминирующей, а стоимость технической эксплуатации в виде комплекса мероприятий по интегрированной логистической поддержке технической эксплуатации многократно превышает стоимость уникальной продукции на международном рынке. Сколько бы изделие ни стоило, для зарубежного заказчика основным условием приобретения является обоснование стоимости технической эксплуатации на длительном жизненном цикле послепродажного обслуживания. Для ситуации экспорта уникальное наукоемкое изделие изготавливается один раз под требования зарубежного заказчика с учетом климатического пояса зарубежной страны.

В исследовании используется мезоэкономическая теория взаимодействия экономических систем среднего иерархического уровня, а именно: отрасль радиолокации и международный экспортный рынок. Классическая теория макроэкономического равновесия не подходит для ситуации экспорта единичных экземпляров наукоемкой продукции. Классическая теория макроэкономического равновесия в работах Д. Рикардо, А. Смита, Ж.-Б. Сэя, Маршалла, модель общего экономического равновесия Л. Вальраса используют механизмы производства товаров в непродолжительном периоде в условиях меняющихся цен. Для уникальной наукоемкой продукции цена на международном рынке не имеет значения, товар все равно купят. Зарубежный заказчик ищет страны, владеющие технологиями производства наукоемкой продукции и комплексом мероприятий по интегрированной логистической поддержке технической эксплуатации одновременно.

Мезоэкономическая теория рассматривает уровень взаимодействия отраслевых предприятий с различными странами на международном экспортном рынке. Объектом мезоэкономики выступают «экономические системы среднего иерархического уровня: отрасли, рынки, комплексы и группы предприятий» [1]. В многофакторной модели управления учитывается влияние технических характеристик, экономических показателей, стоимости, где результирующая стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации имеет больший вес в части положительного исхода экспорта.

2.1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Основными факторами управления системы принятия решения выступают: 1) значения тактико-технических характеристик, которые зарубежный заказчик выставляет как желаемые значения; 2) стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкого изделия в стране экспорта при выставленных (согласованных с зарубежным заказчиком) технических характеристиках.

Следовательно, чем выше значения тактико-технических характеристик и длиннее период гарантийного обслуживания, тем сложнее отечественному производителю гарантировать зарубежному заказчику высокий уровень технической эксплуатации в зарубежной стране.

Формулировка основной задачи, стоящей перед отечественным производителем: каким образом провести конструирование уникального наукоемкого экспортируемого изделия таким образом, чтобы обеспечить его транспортирование составными частями и выдержать расчетные значения тактико-технических характеристик изделия, параметров, характеристик и коэффициентов интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации на длительном этапе послепродажного обслуживания в зарубежной стране?

Формулировка основной задачи, стоящей перед зарубежным заказчиком: как дорого придется заплатить за интегрированную логистическую поддержку технической эксплуатации, если приобретаемое наукоемкое изделие планируется использовать на длительном жизненном цикле с высоким значением технического коэффициента готовности?

Две стороны заинтересованы найти обоюдовыгодное решение в части согласования технических характеристик, экономических показателей, суммарной стоимости затрат на интегрированную логистическую поддержку на длительном интервале послепродажного обслуживания.

2.2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИТЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Итерационное моделирование включает в себя последовательность $\{X^*\}$ приближенных решений системы, сходящейся к точному решению зависимых значений, которыми являются тактико-технические характеристики, технико-экономические показатели и стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации изделия в зарубежной стране (стране экспорта). Первым элементом X^* является первое приближение. Последовательность, построенная с помощью итерационных методов, является последовательностью векторов.

Определение. Последовательность сходится к значению X , если

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|X - X^*\| = 0. \quad (1)$$

В качестве нормы вектора принимается норма:

$$\|X\|_p = (\sum |X_i|^p)^{1/p}, \quad p - \text{натуральное число,}$$

$$\|X\| = \max |X_i|, \quad (\text{предельный случай } p \rightarrow \infty).$$

$$\|X\| = \max |X_i|, \quad (\text{предельный случай } p \rightarrow \infty).$$

Теоретической основой в разработке итерационного алгоритма в части сходимости (поиска обоюдовыгодного решения для зарубежного заказчика и отечественного производителя по тактико-техническим характеристикам наукоемкого изделия, экономическим показателям эксплуатационно-экономической эффективности применения изделия в

стране экспорта и стоимости интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации) послужил математический инструментальный итерационного моделирования². Скорость сходимости последовательности не критична.

Определение. Последовательность $\{X^k\}$ сходится к значению X^* с порядком p , если существуют числа $p > 1$, $c > 0$ такие, что начиная с некоторого номера $K Y_k > K$,

$$\|X^{k+1} - X^*\| \leq c \|X^k - X^*\|^p$$

для случая $p = 1$, $c < 1$ сходимость будет линейной, что является достаточным условием для итерационного метода.

2.3. ЛОГИЧЕСКОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ

Основной решаемой задачей проводимого исследования является логическое упорядочение входных данных для следующего шага итерации. Автором используется научный подход эмпирической аргументации логического упорядочения изменяемых и неизменяемых входных параметров. Для поиска консенсуса между отечественным производителем и зарубежным заказчиком в части проектирования наукоемкой продукции экспортного варианта требуется двустороннее согласование технических характеристик, экономических показателей, суммарной стоимости интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации.

В работах [2, 3] и других работах отечественных авторов представлены модели, используемые для решения серийных задач. Экспорт наукоемкой продукции является единичной задачей поиска консенсуса в модели равновесия, где *объектом мезоэкономики выступает экономическая система среднего иерархического уровня, а именно: отрасль радиолокации и международные рынки наукоемкой продукции.*

С этой целью автором разработан итерационный алгоритм системы поддержки принятия решения с автоматизированной и ручной обработкой данных, где аргументированно доказаны входные изменяемые и неизменяемые параметры.

Для *первой итерации* входными параметрами являются значения тактико-технических характеристик изделия, которые зарубежный заказчик выставляет как желаемое значение. Результатом первой итерации являются выходные результирующие значения технико-экономического моделирования с расшифровкой по статьям. Первая итерация не устраивает заказчика результирующей стоимостью ИЛП, т.к. расшифровка стоимости ИЛП по статьям расходов не соответствует планируемому зарубежным заказчиком распределению затрат.

В процессе моделирования имеется возможность пересчитать результирующую стоимость затрат ИЛП, но требуется обосновать изменение входных параметров системы и провести следующую итерацию. Общее количество итераций зависит от научного подхода, который объясняет (доказывает) необходимость (возможность) изменения входных параметров. В итерационном алгоритме используется автоматизация расчетов в лицензионном программном обеспечении технико-экономического моделирования «Mercury» <https://cals.ru/products/mercury>.

Ручная обработка данных возникает как следствие неопределенности. В связи с отсутствием географических данных о стране экспорта, местах размещения базы материально-технического обслуживания (МТО), транспортной инфраструктуре, GIS-локации размещения изделия, складах длительного и промежуточного хранения; складах запасных частей, ин-

² Iterative methods – Methods of optimal solutions in economics and finance // Electronic Resource, 2023. https://bstudy.net/682715/ekonomika/iteratsionnye_metody#679

струментов и принадлежностей группового и одиночного (ЗИП), местах проживания персонала в алгоритме управления блок «GIS-локация» обрабатывается в ручном режиме. Проектирование месторасположения проводится алгоритмами Дейкстры в ручном режиме. Алгоритм Дейкстры удобен тем, что позволяет рассчитать кратчайший путь от места дислокации изделия до мест проживания технического персонала, складов, базы МТО.

Научный подход к эмпирической аргументации логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров позволяет сократить количество итераций.

Неизменяемыми входными параметрами являются: состав изделия с разукрупнением по составным частям; логистическая структура; структурная и функциональная схемы изделия; анализ деревьев отказов; адаптированная по уровню унификации стоимость составных частей изделия; данные отечественного квалификационного справочника перечня должностей инженерно-технических работников (рис. 1).

Основными изменяемыми входными параметрами для первой итерации являются: значение коэффициента готовности, которое зарубежный заказчик выставляет как желаемое; сценарий материально-технического обеспечения; блок «GIS-локация». В программном обеспечении технико-экономического моделирования отображаемая панель управления показывает входные данные, к которым относятся: структура изделия; логистическая структура; функциональная структура; анализ деревьев отказов; *сценарии МТО (изменяемый параметр)*; стоимость составной части изделия (СЧИ); среднее время восстановления СЧИ (рис. 1).

Структура	Цена	Количество	Расчетная наработка на отказ	Среднее время вос
1: Блок 1:1	560 000	1	22 000	0,5
Излучатель 1: Излучатель 1:1	300 000	2	200 000	0,5
Излучатель 2: Излучатель 2:1-2	250 000	2	50 000	0,5
Согласующее устройство: Согласующее устройство :1-3	12 000	2	50 000	0,5
2: Блок 2:2	520 000	1	16 121	0,5
Блок 2.1: Блок 2.1:2-1	130 000	1	28 000	0,5
Блок 2.2: Блок 2.2:2-2	370 000	1	38 000	0,5
3: Блок 3: Блок 3 (98) каналов	12 000 000	1	1 000 000	0,5
канал: канал :3-1	110 000	98	53 306,94	0,5
подключатель: подключатель:3-1-1	40 000	2	1 625 000	0,5
сумматор: сумматор :3-1-2	10 000	1	3 115 000	0,5
вибратор: вибратор :3-1-3	50 000	2		0,5
4: Блок 4:4	520 000	1	12 380	0,5
Блок 4.1: Блок 4.1:4-1	86 000	1	37 500	0,5
Блок 4.1-01: Блок 4.1.1:4-1-1	27 000	1	46 512	0,5
Блок 4.1-02: Блок 4.1.2:4-1-2	35 000	1	42 512	0,5
Блок 4.2: Блок 4.2:4-2	410 000	1	36 000	0,5
Блок 4.2-01: Блок 4.2.1:4-2-1	2 000	1	110 000	0,5
АРМ: АРМ :4-2-2	50 000	3	110 000	0,5
ИБП: ИБП :4-2-3	330 000	1	110 000	0,5
Блок 4.3: Блок 4.3:4-3	50 000	1	38 000	0,5
5: Блок 5: 5	700 000	1	12 500	0,5
6: Изделие :6	415 000	1	2 500	0,5

Рис. 1. Видимая панель управления, отображающая используемые основные неизменяемые входные параметры, имеющие отношение к составу изделия и его функциям (разработано автором)

Fig. 1. Visible control panel showing the main non-changeable input parameters used, related to the composition of the product and its functions (designed by the author)

Вспомогательными изменяемыми входными параметрами системы управления являются: стоимость нормо-часа на выполнение операций по техническому обслуживанию составных частей изделия; квалификационный перечень должностей инженерно-технических работников; проектная норма прибыли; гарантийный период; периодичность обслуживания; процентное соотношение стоимости затрат на здания, сооружения, оборудование и средства МТО (рис. 2).

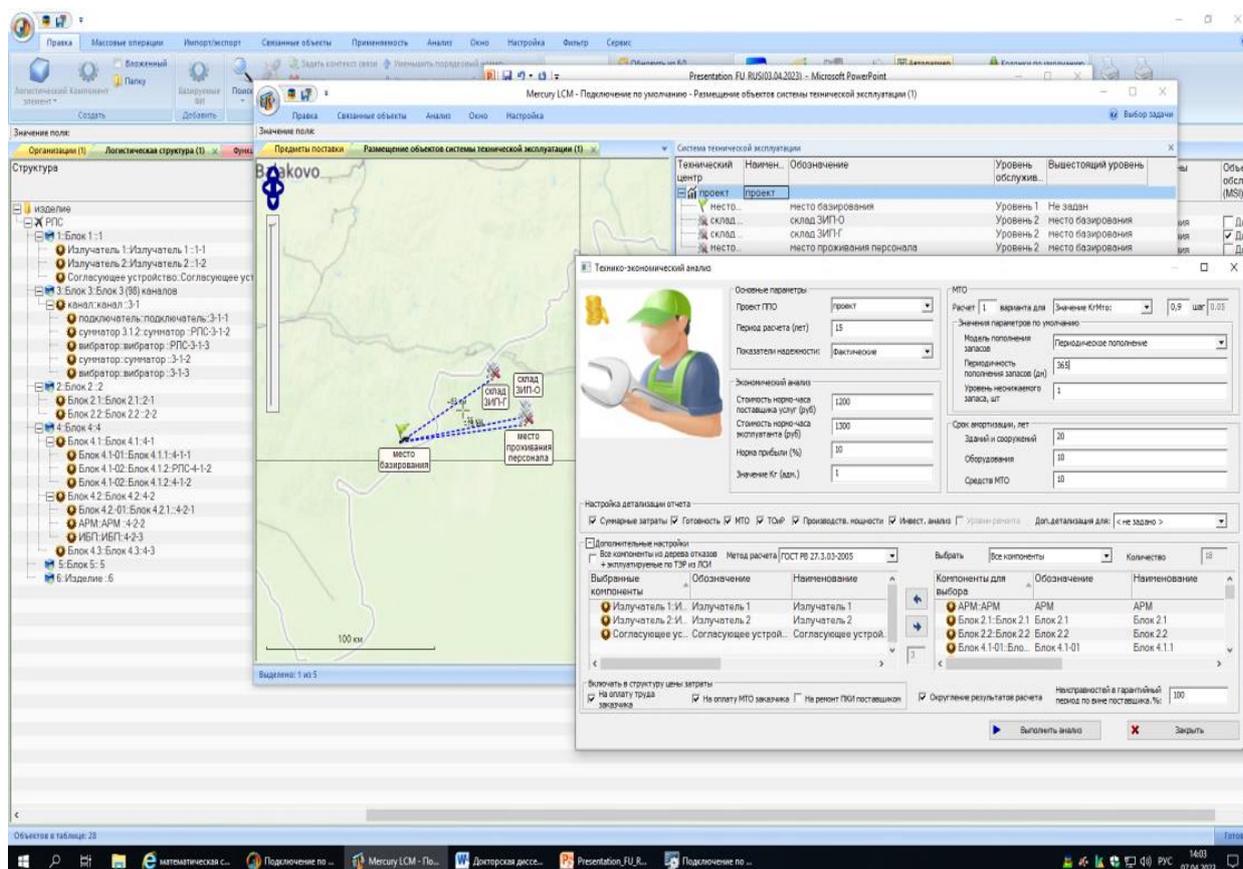


Рис. 2. Видимая панель управления, отображающая значения изменяемых входных параметров: технические характеристики; сценарий МТО; стоимость нормо-часа на выполнение операций по техническому обслуживанию составных частей изделия; квалификационный перечень должностей инженерно-технических работников; проектная норма прибыли; гарантийный период; периодичность обслуживания (разработано автором)

Fig. 2. Visible control panel displaying the values of the variable input parameters: technical characteristics; MTO scenario; the cost of a standard hour for performing maintenance operations on the component parts of the product; qualification list of positions of engineering and technical workers; project rate of return; warranty period; frequency of maintenance (developed by the author)

Преимуществом проведения итерационного моделирования является возможность детального изучения поведения системы и выявление влияния основных и вспомогательных изменяемых входных параметров системы на результирующую стоимость ИПП. В итерационном моделировании вычислительный эксперимент является единственным возможным вариантом исследования сложных технико-экономических систем [9]. Система поддержки принятия решений включает в себя цифровую модель изделия реального мира и итерационный алгоритм. Цифровая модель изделия отображена разбиение изделия на его составные части со схмотехническим отображением логистических и

функциональных связей составных частей изделия, имеет деревья отказов по каждой составной части изделия. В цифровой модели изделия применяется адаптированная по уровню унификация стоимость СЧИ с указанием наработку на отказ по каждой СЧИ. Система поддержки принятия решения использует цифровую модель изделия и итерационный алгоритм обработки данных.

2.4. АНАЛИЗ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ИТЕРАЦИЙ

При проведении первой итерации использовались желаемые значения технических характеристик. Сценарий материально-технического обеспечения и блок «GIS-локация» выступали как «не определено» и вынесены на ручную обработку данных (см. Приложение). Выходной отклик системы показывает результаты технико-экономического анализа, где стоимость интегрированной логистической поддержки разбита по статьям расходов на: транспортирование; оплату труда персонала; текущий ремонт; проведение технического обслуживания и ремонта; оборотные фонды; приобретение оборудования; создание инфраструктуры (рис. 3). Первая итерация не устраивает заказчика результирующей стоимостью ИЛП, т.к. расшифровка стоимости ИЛП по статьям расходов не соответствует планируемому зарубежным заказчиком распределением затрат по статьям расхода.

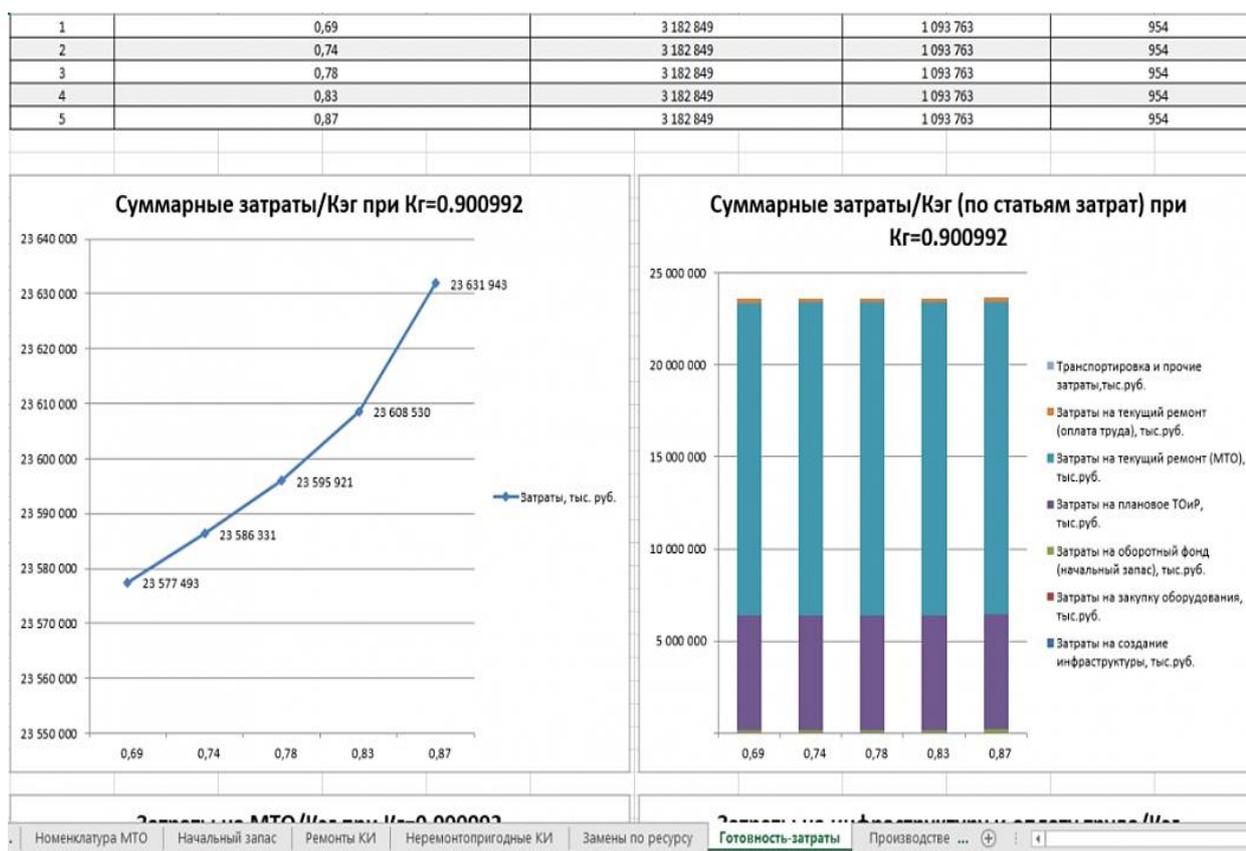


Рис. 3. Технико-экономический анализ. График суммарных затрат по статьям расходов при установленных зарубежным заказчиком желаемых численных значениях коэффициента готовности. <https://cals.ru/products/mercury>

Fig. 3. Technical-economical analysis. Graph of total costs by items of expenditure with the desired numerical values of the availability factor set by the foreign customer. <https://cals.ru/products/mercury>

При проведении второй итерации технико-экономический анализ стоимости ИЛП показал включение стоимости транспортирования в суммарную стоимость ИЛП, что неприемлемо для ситуации экспорта. Отечественный производитель и зарубежный заказчик соглашаются, что автоматизированный расчет технико-экономического анализа включает стоимость транспортирования в суммарную стоимость ИЛП, и это юридически неприемлемо. Транспортирование экспортируемого изделия имеет отдельную стоимость, оформляется отдельным договором по правилам международной торговли Инкотермс 2023. Транспортирование оформляется отдельным соглашением на перевозку товара с распределением ответственности между отечественным производителем и зарубежным заказчиком за утрату и повреждение товара в процессе доставки [7–8].

Третья и последующие итерации дают возможность проведения бесконечного количества вычислительных экспериментов. С целью оптимизации затрат по вычислительной мощности и ресурсам, а также сокращения количества итераций автором применяется научный подход к моделированию *изменяемых и неизменяемых входных данных* для последующих итераций.

В результате проведенной первой итерации консенсус не найден в силу отсутствия понимания удовлетворенности отечественного разработчика и зарубежного заказчика в части согласования тактико-технических характеристик изделия и результатов технико-экономического анализа.

В результате второй итерации консенсус не найден, т.к. технико-экономический анализ показал включение стоимости транспортирования в суммарную стоимость ИЛП, что юридически неприемлемо для ситуации экспорта. Отечественный производитель и зарубежный заказчик соглашаются исключить стоимость транспортирования, разграничить юридическую ответственность, риски и санкции, вынести стоимость транспортирования из суммарной стоимости ИЛП.

Для проведения последующих итераций требуется научно обосновать изменения входных параметров системы. В монографии автора была выявлена регрессионная зависимость тактико-технических характеристик и показателя эксплуатационно-экономической эффективности [9]. По номенклатуре показателей эксплуатационно-технических характеристик применительно к уникальному наукоемкому изделию автором разработана базовая система показателей (рис. 4). На предпроектном этапе исследования автором проанализирован 31 показатель эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации единичного экземпляра наукоемкого изделия. Номенклатура показателей отображена диаграммами Исикавы. На основании проведенных расчетов автором выявлено влияние коэффициента готовности на комплексный показатель, указаны границы численных значений коэффициентов: технической готовности; готовности к применению; готовности (ТЗ). Определено влияние циклов анализа на численное значение коэффициента готовности при эксплуатации изделия на объекте заказчика в стране экспорта [10].

Представленная на диаграммах Исикавы номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации экспортируемого наукоемкого изделия является результатом исследования автора (рис. 4) [4–8].

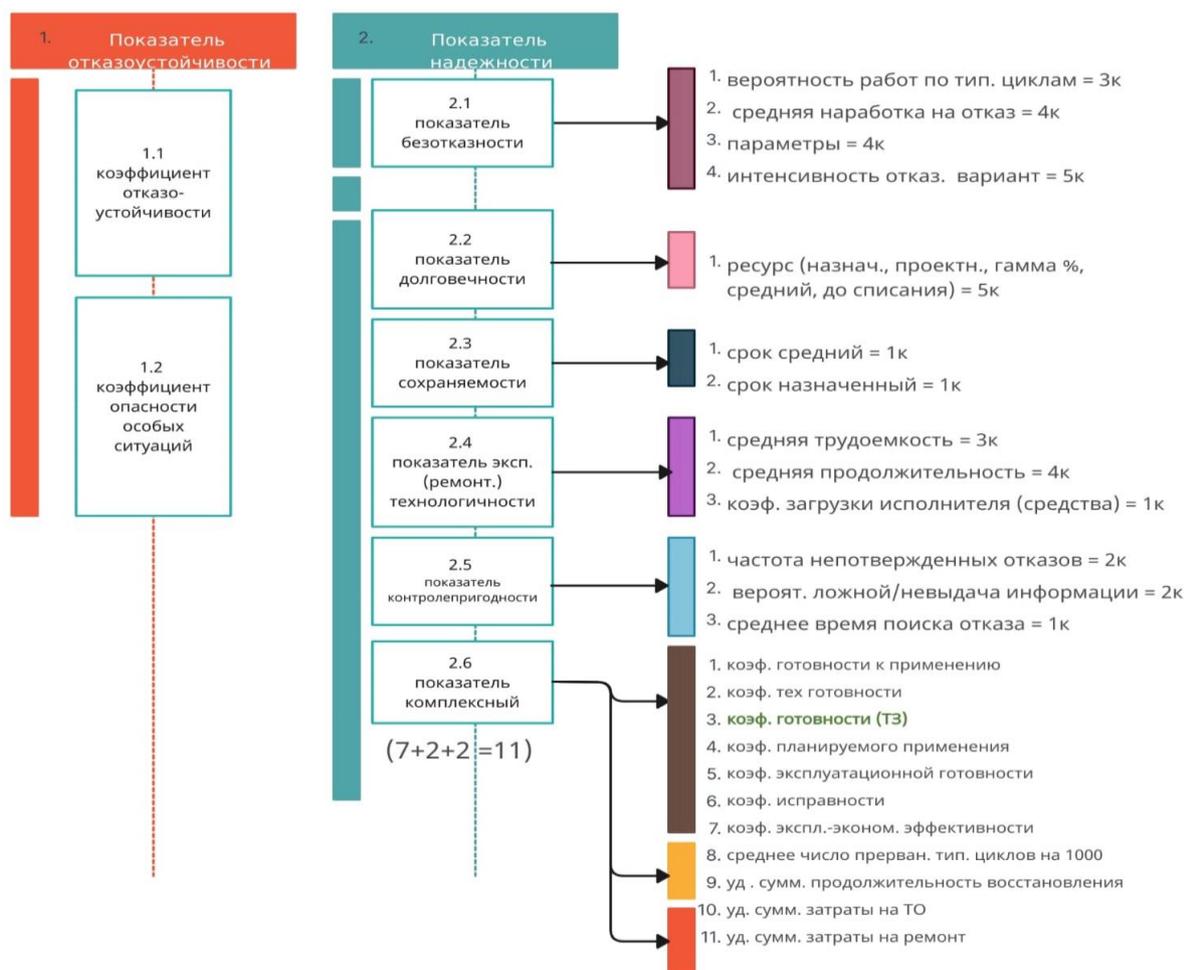


Рис. 4. Номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации экспортируемого наукоемкого изделия

Fig. 4. Indicators nomenclature of operational and technical characteristics of the integrated logistic support for the technical operation of the exported science-intensive product

На диаграммах Исикавы от входа (слева) до выхода (справа) стрелками указана значимость показателей: от малозначимых до значительно влияющих на характеристики ИЛП – это первый слой визуализации данных (рис. 5). На рисунке (второй слой визуализации данных) отображены выявленные численные значения, которые являются неизменяемыми входными параметрами. Второй слой визуализации данных отображает **9 характеристик показателя надежности**, к которым относятся:

- 1) среднее время восстановления работоспособности составной части изделия;
- 2) средняя наработка на отказ составных частей изделия;
- 3) коэффициент готовности изделия при наличии ЗИП (одиночный и групповой);
- 4) среднее время восстановления составной части изделия;
- 5) общее время работы изделия (в сутках);
- 6) средняя наработка на отказ изделия;
- 7) срок службы;
- 8) гарантийный срок службы;
- 9) ресурс.

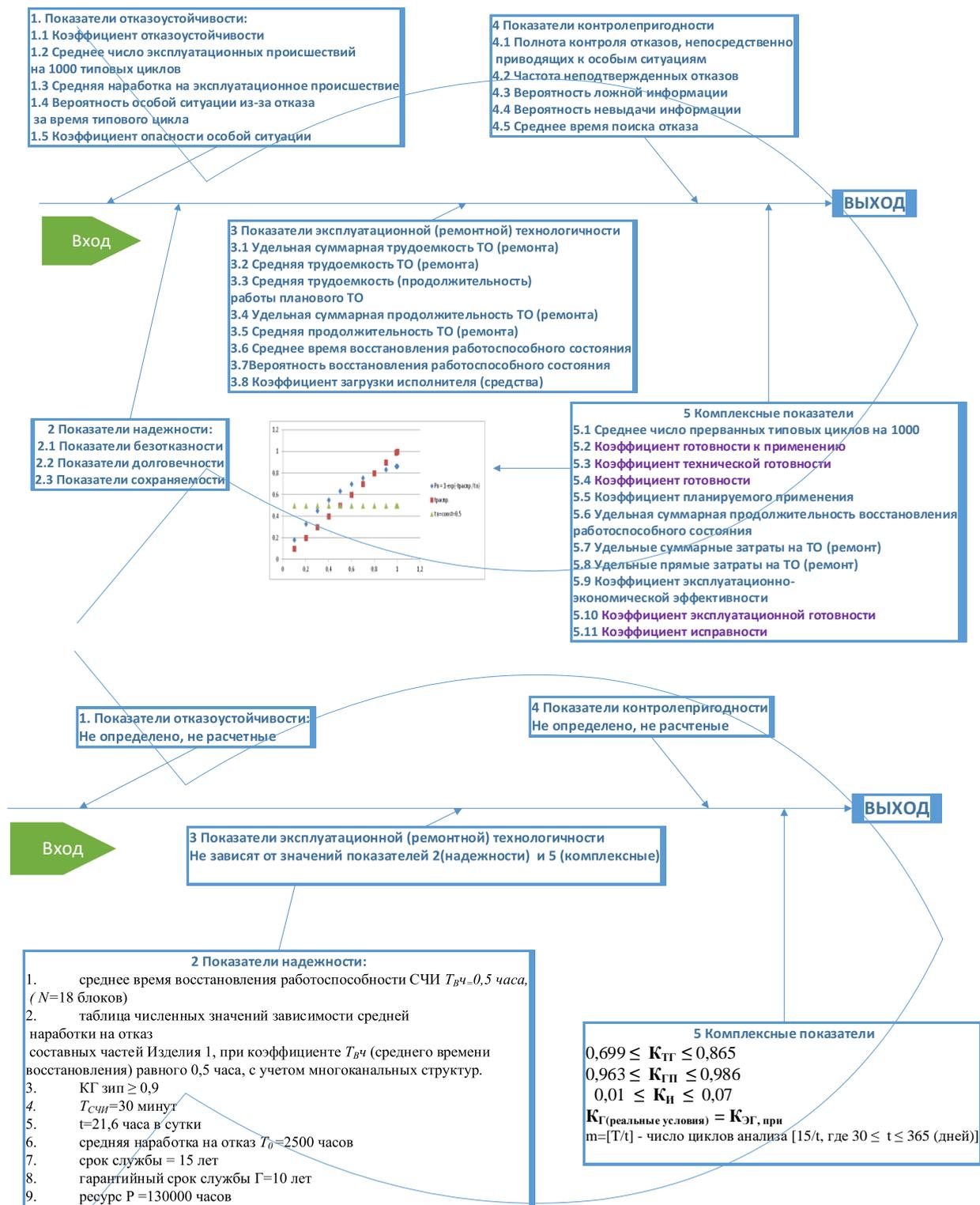


Рис. 5. Номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкого изделия. Первый и второй слой визуализации данных (разработано автором)

Fig. 5. Indicators nomenclature of operational and technical characteristics of integrated logistical support for the technical operation of a science-intensive product. First and second layer of data visualization (developed by the author)

С использованием научного подхода к моделированию изменяемых и неизменяемых входных параметров определены границы показателя комплексного. На диаграмме показатель комплексный представлен системой взаимозависимых коэффициентов: технической готовности; готовности к применению; готовности (реальные условия), исправности; циклы анализа, в течение которых анализируется фактическое количество исправных составных изделий. Определено незначительное влияние циклов анализа на коэффициент исправности. Применять изменение входного параметра коэффициента исправности нецелесообразно, т.к. экспортируемое наукоемкое изделие является единственным экземпляром наукоемкой продукции, поставляемой на экспорт в зарубежную страну. Коэффициент исправности применяется для серийных изделий. Разработанная автором базовая система показателей ИЛП технической эксплуатации представлена системой взаимозависимых показателей, коэффициентов, характеристик [4]. В техническом задании на проектирование зарубежный заказчик определяет значение коэффициента готовности как нестрогое неравенство, а именно: коэффициент готовности изделия при наличии в зарубежной стране одиночного и группового ЗИП: если $K_{Г\text{зип}} \geq 0,9$, то коэффициенты технологической готовности, готовности к применению, коэффициент исправности имеют нестрогие предельно допустимые расчетные значения (система показателей 2) [8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{Г\text{зип}} \geq 0,9 \\ 0,699 \leq K_{ГГ} \leq 0,865 \\ 0,963 \leq K_{ГП} \leq 0,986 \\ 0,01 \leq K_{И} \leq 0,07 \\ K_{Г(\text{реальные условия})} = K_{ЭГ}, \\ \text{при } m = \left[\frac{T}{t} \right] - \text{число циклов анализа.} \end{array} \right. \quad (2)$$

В итерационном алгоритме блок «Планирование, размещение ЗИП». Планирование ЗИП реализуется авторской методикой расчета номенклатуры одиночного и группового ЗИП. Ведомость ЗИП отображает количественные и стоимостные значения составных частей изделия. Стоимость комплектования запасными частями и принадлежностями выражается функцией $f(x) = \sum_{i=1}^n C_i$, зависит от номенклатуры составных частей, их количества и стоимости каждого элемента одиночного комплекта ЗИП. Для группового комплекта ЗИП функция $g(x) = \sum_{i=1}^{n+m} C_i$ зависит от номенклатуры составных частей, их количества и стоимости по каждому элементу составной части изделия одиночного комплекта ЗИП, дополнительно добавляются элементы $+m$. Таким образом, формируется групповой комплект ЗИП, который разрабатывается на группу агрегатов, блоков, узлов и ячеек для технического обслуживания наукоемкого изделия ремонтными органами непосредственно в процессе эксплуатации в стране экспорта силами и средствами обученного технического персонала на послепродажных стадиях жизненного цикла. Групповой комплект ЗИП по стоимости выше, т.к. по номенклатуре составных частей, по количеству элементов повторяет комплект одиночного ЗИП (n) плюс m , где m – добавленное число элементов запасных частей и принадлежностей, выработка на отказ которых происходит значительно позднее этапов гарантийного и послегарантийного обслуживания (система показателей 3).

$$\begin{cases} f(x) = \sum_{i=1}^n C_i, \\ g(x) = \sum_{i=1}^{n+m} C_i. \end{cases} \quad (3)$$

Научный подход доказывает, что стоимость комплектов одиночного и группового ЗИП является неизменяемыми входными параметрами [8].

Блок «Формирование результирующей стоимости ИЛП» отображает суммарную стоимость интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации единичного экземпляра наукоемкого изделия, проектируемого на экспорт в определенную страну, представляет собой калькуляцию затрат и определяется

$$\sum_{\text{илп}} = \sum_{\text{изд}} + \sum_{\text{зип}} + \sum_{\text{иэтр}} + \sum_{\text{транс}} + \sum_{\text{мто}} + \sum_{\text{пер}}, \quad (4)$$

где:

$\sum_{\text{изд}}$ – стоимость изделия;

$\sum_{\text{зип}}$ – стоимость (окончательная) одиночного и группового комплектов запасных частей и принадлежностей, приблизительно составляет 20 % от стоимости изделия;

$\sum_{\text{иэтр}}$ – стоимость интерактивной формы представления технической документации, информационно-компьютерной поддержки отечественного производителя и международного заказчика;

$\sum_{\text{транс}}$ – стоимость транспортирования изделия составными частями согласно правилам международной торговли и экспорта;

$\sum_{\text{мто}}$ – стоимость планирования МТО, распределения и управления запасами;

$\sum_{\text{пер}}$ – стоимость оплаты труда технического персонала.

Для серийных изделий отрасли машиностроения стоимость жизненного цикла наукоемких изделий машиностроения определяется формулой (4.35) [10, с. 148]. Формула стоимости ЖЦ серийных изделий неэкспортного варианта и уникальных образцов техники экспортного варианта имеют ряд принципиальных отличий. Для экспортируемого наукоемкого изделия стоимость транспортирования и утилизации исключается из общей стоимости. Исключение из общей формулы стоимости ЖЦ объясняется следующим научным подходом:

1. *Транспортирование.* В формуле стоимости жизненного цикла для серии однотипной продукции неэкспортного варианта отрасли машиностроения стоимость транспортирования изделий включается в общую стоимость ЖЦ. Для экспортируемого единичного экземпляра наукоемкой продукции разрабатывается последовательность процедур кастомизации процессов экспорта на основе современной теории управления социально-экономическими системами. Процессы экспорта описаны в Положении внешнеторгового контракта, в котором учитывается юридическая ответственность отечественного разработчика и зарубежного заказчика за транспортирование изделия с этапа на этап: отгрузка/погрузка – таможня – разгрузка/погрузка – доставка на объект эксплуатации в стране экспорта; риски своевременного выставления инвойса (товаросопроводительной документации), форс-мажор.

2. *Утилизация*. В формуле стоимости жизненного цикла для изделий машиностроения неэкспортного варианта добавлена стоимость утилизации. Для эскортируемой отечественной наукоемкой продукции утилизация рассматривается после полной (окончательной) выработки ресурса изделия. В будущем решением зарубежного заказчика модернизация техники может иметь вторую жизнь. Утилизация наукоемких изделий в странах экспорта рассматривается как составная часть контроля экологии живой природы, экономической эффективности вторичной переработки, соблюдение норм экологической безопасности. Требования зарубежных стандартов утилизации с точки зрения экономической эффективности вторичной переработки предусматривают утилизацию (изъятие) драгоценных металлов, содержащихся в микроэлектронике. Отдельно утилизации подлежат ядерные, радиоактивные, химические элементы, если такие имеются в составе изделия. Утилизация наступает после последнего внепланового ремонта составных частей изделия. Утилизация имеет высокую стоимость. Зарубежный заказчик по истечении десятков лет эксплуатации наукоемкой продукции самостоятельно принимает решение об утилизации. Стоимость работ по утилизации изделия определяется зарубежным заказчиком и решается за счет средств будущих периодов.

2.5. ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ

Факторами управления стоимостью, влияющими на результирующую суммарную стоимость ИЛП, являются следующие переменные:

- базовая система показателей ИЛП по номенклатуре показателей эксплуатационно-технических характеристик интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации экспортируемого наукоемкого изделия (рис. 4);
- характеристики показателя надежности;
- границы показателя комплексного (значения системы показателей (2));
- норма планируемой прибыли;
- стоимость нормо-часа в оплате труда;
- гарантийный период;
- периодичность обслуживания;
- процентное соотношение стоимости затрат на здания, сооружения, оборудование и средства МТО в долях: для отечественного производителя и зарубежного заказчика – 50/50 или 20/80, если зарубежный заказчик имеет *другие целевые источники финансирования* на строительство дорог, складов промежуточного и длительного хранения, зданий и сооружений для проживания технического персонала; *способов размещения ремонтной базы; сроков ввода изделия в эксплуатацию.*

Факторами управления стоимостью, не влияющими на суммарную стоимость ИЛП, являются следующие переменные, которые определяются и согласовываются с зарубежным заказчиком заранее, до момента подписания экспортного контракта: стоимость $\Sigma_{ЗИП}$, $\Sigma_{ИЭТР}$, $\Sigma_{пер}$ (см. формулу 4). Факторы управления стоимостью не влияют потому, что комплект запасных частей одиночного и группового ЗИП изначально рассчитывается и принимается зарубежным заказчиком как величина постоянная, т.е. поддает-

ся предварительному расчету и согласованию с зарубежным заказчиком. Следовательно, факторами управления стоимостью, не влияющими на суммарную стоимость ИЛП, являются:

- 1) стоимость $\sum_{\text{ЗИП}}$ определяется системой показателей (2);
- 2) стоимость $\sum_{\text{ИЭТР}}$ определяется общим количеством модулей данных технической документации. Графики зависимости стоимости от количества модулей данных в Интерактивном электронном руководстве (ИЭТР) [11];
- 3) стоимость $\sum_{\text{пер}}$ оплаты труда отечественного технического персонала согласно тарифной сетке оплаты труда специалистов по квалификационному справочнику перечня должностей инженерно-технических работников Российской Федерации.

В цифровом двойнике СППР неизменяемыми входными параметрами являются:

- 1) среднее время восстановления работоспособности составной части изделия;
- 2) средняя наработка на отказ составных частей изделия;
- 3) коэффициент готовности изделия при наличии ЗИП (одиночный и групповой);
- 4) среднее время восстановления составной части изделия;
- 5) общее время работы изделия (в сутках);
- 6) средняя наработка на отказ изделия;
- 7) срок службы;
- 8) гарантийный срок службы;
- 9) ресурс.

Указаны границы показателя комплексного. На диаграмме показатель комплексный представлен системой взаимозависимых коэффициентов: технической готовности; готовности к применению; готовности (реальные условия).

В цифровом двойнике СППР изменяемыми входными параметрами являются основные и вспомогательные входные параметры, а именно:

1. *Основными изменяемыми входными параметрами* являются численные значения коэффициентов технологической готовности, готовности к применению, коэффициента исправности, коэффициента готовности (система показателей (1)).

2. *Вспомогательными изменяемыми входными параметрами* системы управления являются: стоимость нормо-часа на выполнение операций по техническому обслуживанию составных частей изделия, квалификационный перечень должностей инженерно-технических работников, проектная норма прибыли, гарантийный период, периодичность обслуживания; процентное соотношение стоимости затрат на здания и сооружения; оборудование и средства МТО (рис. 2).

Применение научного подхода логического упорядочения входных изменяемых и неизменяемых параметров сократило количество итераций. Требуется отметить, что цифровой двойник системы управления принятием решения автоматизирует только часть расчетов. По стоимости затрат в (4) стоимость $\sum_{\text{МТО}}$ имеет весомую часть затрат, которую зарубежный заказчик и отечественный производитель могут в различных долях делить между собой. Стоимость планирования материально-технического обеспечения зарубежный заказчик может решать самостоятельно, за счет других привлеченных средств. Стоимость планирования материально-технического обеспечения

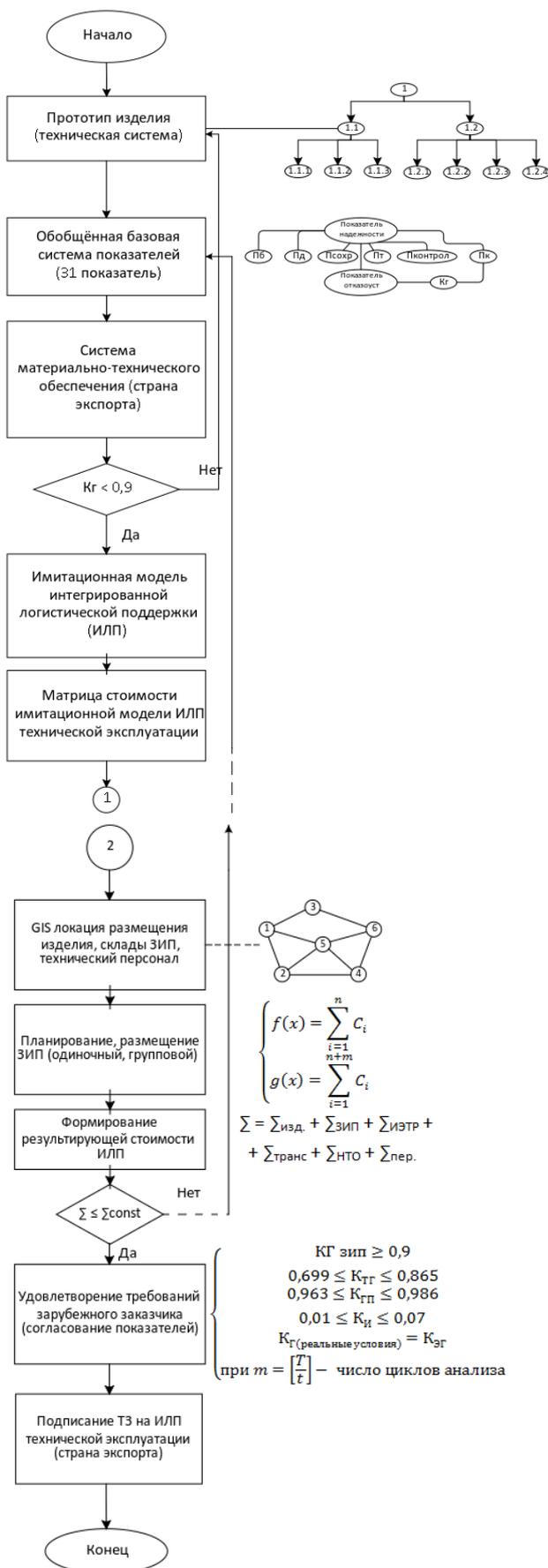
зависит от следующих внешних факторов: наличия у зарубежного заказчика *других целевых источников финансирования* на строительство дорог, складов промежуточного, длительного хранения, зданий и сооружений для проживания технического персонала; *способов размещения ремонтной базы; сроков ввода изделия в эксплуатацию.*

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Принципиальную роль в международной торговле играет наличие у продавца технологии (комплекса мероприятий) интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации наукоемкой продукции. Наибольший вес добросовестного поставщика на международном рынке имеет экспортер, который владеет комплексом мероприятий по интегрированной логистической поддержке технической эксплуатации. Для зарубежного заказчика затраты на техническую эксплуатацию наукоемкой продукции очень значимы, т.к. стоимость интегрированной логистической поддержки (ИЛП) технической эксплуатации превышает стоимость изделия. Автором предложен алгоритм итерационного моделирования. Обоснован научный подход к логическому упорядочению изменяемых входных параметров. В итерационном алгоритме конечной итерацией считается достижение консенсуса между отечественным разработчиком и зарубежным заказчиком.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В модели общего экономического равновесия применительно к экспорту уникального наукоемкого изделия имеет место использование результатов модели цифрового двойника СППР и итерационного алгоритма моделирования результирующей стоимости ИЛП. Эмпирическая аргументация научного обоснования изменяемых входных основных и вспомогательных параметров итерационного моделирования проводится на стыке технических характеристик и экономических показателей. Автором используется мезоэкономическая теория взаимодействия экономических систем среднего иерархического уровня, а именно: отрасли радиолокации и международного экспортного рынка. Включением в модель общего экономического равновесия спроса и предложения на экспортном рынке отечественной наукоемкой продукции цифрового двойника системы поддержки принятия решения решается научная задача исследования формирования результирующей стоимости интегрированной логистической поддержки. Как следствие поиск консенсуса между отечественным производителем и зарубежным заказчиком решается итерационным моделированием с логическим упорядочением входных параметров. Проводя итерационное моделирование, отечественный разработчик и зарубежный заказчик достигают консенсуса в части согласования технических характеристик, экономических показателей, результирующей стоимости ИЛП.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клейнер Г. Б. Интеллектуальная теория фирмы // Вопросы экономики. 2021. № 1. С. 73–97.
2. Бозиева А. М., Дзамихова Ф. Х. Модель интеллектуальной системы, основанной на нечеткой логике, в задачах оценки деятельности высшего учебного заведения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 1(111). С. 11–17. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-11-17.
3. Котлярова И. О. Технологии искусственного интеллекта в образовании // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. 2022. Т. 14. № 3. С. 69–82. DOI: 10.14529/ped220307.
4. Веретехина С. В. Регрессионный анализ зависимости тактико-технических характеристик и показателя эксплуатационно-экономической эффективности: монография. Москва: Директ-Медиа, 2023. 72 с.
5. Веретехина С. В. Последовательность процедур кастомизации процессов экспорта на основе теории управления социально-экономическими системами // Вопросы новой экономики. 2022. Т. 4(64). С. 46–56.
6. Веретехина С. В. Технология поддержки экспорта: экономико-математическое моделирование внешнеторгового контракта // Вопросы новой экономики. 2022. Т. 3(63). С. 108–166.
7. Веретехина С. В. Концепция эконометрического моделирования интегрированной логистической поддержки экспорта наукоемких изделий // Model Economy Success. 2021. Т. 5. С. 116–120.
8. Веретехина С. В. Методика расчета комплектов запасных частей и принадлежностей, экспортируемых наукоемких изделий // Russian Economic Bulletin. 2021. Т. 4(5). С. 108–121.
9. Истратов В. А. О развитии компьютерного алгоритма формирования привычки // Искусственные общества. 2020. Т. 15. № 3. DOI: 10.18254/S207751800010916-6.
10. Судов Е. В., Левин А. И., Петров А. В., Чубарова Е. В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. Москва: ИнформБюро, 2006. 232 с.
11. Веретехина С. В. Методика разработки интерактивной электронной технической документации для наукоемких изделий отрасли связи и информатизации: автореф. дисс... канд. экон. наук. Москва, 2008. 16 с.

REFERENCES

1. Kleiner G.B. Intellectual theory of the firm. *Questions of economics*. 2021. No. 1. Pp. 73–97. <http://elib.fa.ru/art2021/bv51.pdf>. (In Russian)
2. Bozieva A.M., Dzamikhova F.Kh. A model of an intelligent system based on fuzzy logic in the tasks of evaluating the activities of a higher educational institution. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 1(111). Pp. 11–17. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-1-111-11-17. (In Russian)
3. Kotlyarova I.O. Artificial intelligence technologies in education. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie. Pedagogicheskie nauki* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Pedagogical Sciences]. 2022. Vol. 14. No. 3. Pp. 69–82. DOI: 10.14529/ped220307. (In Russian)
4. Veretekhina S.V. *Regressiionnyy analiz zavisimosti taktiko-tekhnicheskikh kharakteristik i pokazatelya ekspluatatsionno-ekonomicheskoy effektivnosti* [Regression analysis of the dependence of tactical and technical characteristics and the indicator of operational and economic efficiency]: monograph. Moscow: Direct-Media, 2023. 72 c. (In Russian)

5. Veretekhina S.V. The sequence of procedures for customization of export processes based on the theory of management of socio-economic systems. *Issues of the new economy*. 2022. Vol. 4(64). Pp. 46–56. (in Russian)
6. Veretekhina S.V. Export support technology: economic and mathematical modeling of a foreign trade contract. *Issues of the new economy*. 2022. Vol. 3(63). Pp. 108–166. (in Russian)
7. Veretekhina S.V. The concept of econometric modeling of integrated logistics support for the export of knowledge-intensive products. *Model Economy Success*. 2021. Vol. 5. Pp. 116–120. (in Russian)
8. Veretekhina S.V. Methodology for calculating sets of spare parts and accessories exported knowledge-intensive products. *Russian Economic Bulletin*. 2021. Vol. 4(5). Pp. 108–121.
9. Istratov V.A. On the development of a computer algorithm for habit formation [Artificial Societies]. 2020. Vol. 15. No. 3. DOI: 10.18254/S207751800010916-6. (in Russian)
10. Sudof E.V., Levin A.I., Petrov A.V., Chubarova E.V. *Tekhnologii integrirovannoy logisticheskoy podderzhki izdeliy mashinostroyeniya* [Technologies of integrated logistics support of machine–building products]. Moscow: InformByuro, 2006. 232 p. (in Russian)
11. Veretekhina S.V. *Metodika razrabotki interaktivnoy elektronnoy tekhnicheskoy dokumentatsii dlya naukoymkikh izdeliy otrasli svyazi i informatizatsii* [Methodology for the development of interactive electronic technical documentation for knowledge-intensive products of the communications and informatization industry]: avtoref. diss... kand. ekon. nauk. Moscow, 2008. 16 c. (in Russian)

Информация об авторе

Веретехина Светлана Валерьевна, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный социальный университет; докторант, Финансовый университет при Правительстве РФ;
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1;
125167, Россия, Москва, Ленинградский проспект 49/1;
Veretehinas@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3014-5027>

Information about the author

Veretekhina Svetlana Valerievna, Candidate of Economics, Associate Professor, Russian State Social University; Doctoral Student, Financial University under the Government of the Russian Federation;
129226, Russia, Moscow, 4 Wilhelm Pieck street, 1 Build.;
125167, Russia, Moscow, 49/1 Leningradsky Avenue;
Veretehinas@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3014-5027>

УДК 519.86

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-88-97

EDN: RQMAСK

Анализ моделей динамических экономических систем

Д. А. Канаметова

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. В работе анализируются модели динамических экономических систем: модель Солоу, также известная как модель роста с одним фактором производства, является простой моделью, которая описывает экономический рост на основе накопления капитала и технологического прогресса; модель Дина (Dynamic New Keynesian Phillips Curve Model), которая является развитием нового Кейнсианства и использует динамические модели для описания процесса формирования инфляционных ожиданий; модель Динамического Случайного Равновесия (DSGE), которая объединяет элементы микроэкономики и макроэкономики, используя формальные математические методы для описания взаимодействия между агентами в экономике. Рассматриваются достоинства и недостатки данных моделей, а также область их применения.

Ключевые слова: система, динамическая система, инфляция, рост, модель, переменная, процесс

Поступила 26.07.2023, одобрена после рецензирования 03.08.2023, принята к публикации 08.08.2023

Для цитирования. Канаметова Д. А. Анализ моделей динамических экономических систем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 88–97. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-88-97

JEL: C81, C83

Original article

Analysis of models of dynamic economic systems

D.A. Kanametova

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street

Abstract. The paper analyzes models of dynamic economic systems: the Solow model, also known as the single factor growth model, is a simple model that describes economic growth based on capital accumulation and technological progress; Dean's Dynamic New Keynesian Phillips Curve Model, which is a development of New Keynesianism and uses dynamic models to describe the process of forming inflationary expectations; the Dynamic Random Equilibrium Model (DSGE), which combines elements of microeconomics and macroeconomics, using formal mathematical methods to describe the interactions between agents in economy. The advantages and disadvantages of these models, as well as the scope of their application are considered.

Keywords: system, dynamic system, inflation, growth, model, variable, process

Submitted 26.07.2023, approved after reviewing 03.08.2023, accepted for publication 08.08.2023

For citation. Kanametova D.A. Analysis of models of dynamic economic systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 88–97. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-88-97

ВВЕДЕНИЕ

В экономике динамическими называют процессы, которые меняются во времени и не могут быть описаны статическими моделями. Динамические процессы характеризуются изменением переменных во времени и взаимодействием между ними. Некоторые из таких процессов в экономике включают в себя:

– Рост экономики. Рост экономики – это динамический процесс, который описывает изменение экономической активности и производительности во времени. Рост экономики может зависеть от многих факторов, таких как технологический прогресс, инвестиции, налоговая политика и т.д.

– Инфляцию. Инфляция – это динамический процесс, который описывает изменение уровня цен на товары и услуги во времени. Инфляция может быть вызвана различными факторами, такими как рост спроса на товары и услуги, увеличение затрат на производство, изменение налоговой политики и др.

– Рыночные циклы. Рыночные циклы – это динамический процесс, который описывает колебания экономической активности в течение времени. Рыночные циклы могут включать в себя периоды роста и спада экономики, которые могут быть вызваны различными факторами, такими как изменение уровня спроса и предложения, изменение уровня производительности, политические и финансовые кризисы и т.д. [1–4].

– Инвестиции. Инвестиции – это динамический процесс, который описывает изменение объема инвестиций во времени. Инвестиции могут быть вызваны различными факторами, такими как изменение уровня процентных ставок, изменение налоговой политики, изменение уровня спроса на товары и услуги и т.д.

– Развитие технологий. Развитие технологий – это динамический процесс, который описывает изменение технологического уровня производства и использования техники и технологий во времени. Развитие технологий может изменять способ производства товаров и услуг, уровень затрат на производство и т.д.

Математические модели динамических экономических систем используются для описания поведения экономических агентов и их взаимодействия во времени. Они позволяют прогнозировать изменения в экономике и исследовать эффекты различных экономических политик [5].

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Математические модели динамических экономических систем позволяют описывать и анализировать динамику экономики во времени. Такие модели основываются на математических уравнениях, которые описывают изменение экономических переменных во времени и взаимодействие между ними.

Математические модели динамических экономических систем могут быть использованы для прогнозирования будущих тенденций в экономике, а также для анализа различных сценариев и политических решений. Однако, как и любая модель, они могут иметь ограничения и упрощения, которые не всегда отражают реальность в полной мере. Поэтому важно использовать модели в сочетании с другими методами анализа и учитывать их ограничения при принятии решений [6].

Под *динамической системой* понимается система «вход-выход» с пространством состояний, динамическое поведение которой определяется следующими соотношениями [1, 2]:

– с дискретным временем:

$$x(t+1) = f(x(t), u(t)), y(t) = h(x(t)) \text{ – для нелинейных систем,} \quad (1)$$

$$x(t + 1) = Fx(t) + Gu(t), y(t) = Hx(t) \text{ – для линейных систем;} \quad (2)$$

– с непрерывным временем:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Fx(t) + Gu(t), \\ y(t) &= Hx(t) \end{aligned}$$

МОДЕЛЬ СОЛОУ И ЕЕ МОДИФИКАЦИИ

Одной из самых распространенных является модель Солоу (Solow Model), которая описывает экономический рост в условиях постоянной технологической прогрессии. В этой модели используется производственная функция, которая связывает уровень производства с уровнем капитала, труда и технологического прогресса.

Модель Солоу описывает зависимость между объемом производства (Y), объемом капитала (K), численностью занятых в экономике (L) и технологическим прогрессом (A). Математически она может быть записана в виде производственной функции:

$$Y = A * (K^\alpha) * (L^{\alpha-1}), \quad (3)$$

где α – это параметр, который определяет вес капитала в производственном процессе. Значение α обычно лежит в диапазоне от 0 до 1, и чем больше α , тем больший вес имеет капитал в производственном процессе.

Технологический прогресс A представляет собой изменение производственной функции, которое не связано с увеличением входных факторов K и L . Технологический прогресс может быть записан в виде:

$$A(t) = A(0) * e^{gt}, \quad (4)$$

где t – это время, $A(0)$ – это начальный уровень технологического прогресса, g – это скорость роста технологического прогресса.

Модель Солоу также учитывает инвестиции (I), которые определяют объем капитала в экономике. Инвестиции могут быть записаны в виде:

$$I = s * Y, \quad (5)$$

где s – это доля дохода, которая инвестируется в капитал.

Таким образом, модель Солоу описывает производственную функцию с учетом входных факторов (капитал и труд), технологического прогресса и инвестиций. Она позволяет оценить вклад каждого из этих факторов в рост экономики и выявить факторы, которые могут стимулировать экономический рост.

Одно из основных отличий между моделью Солоу и моделью Кобба-Дугласа заключается в том, как они описывают эффект масштаба. Модель Кобба-Дугласа предполагает постоянные отдачи от масштаба производства, то есть, если производственные факторы увеличиваются в одинаковой пропорции, то производительность тоже увеличивается в одинаковой пропорции. Модель Солоу же учитывает не постоянные, а убывающие отдачи от масштаба производства, то есть при увеличении производственных факторов на одинаковую величину производительность растет, но не в такой же пропорции, как увеличились производственные факторы. Это означает, что в модели Солоу производительность растет медленнее, по мере того, как увеличиваются объемы производства.

Другим отличием между моделью Солоу и моделью Кобба-Дугласа является то, что модель Кобба-Дугласа вообще не учитывает технологический прогресс, в то время как модель Солоу учитывает его влияние на рост экономики. В модели Солоу технологический прогресс описывается как экзогенный фактор, то есть он не зависит от изменений в других переменных модели.

Наконец, модель Солоу учитывает, что капитал не является однородным фактором производства, а различные виды капитала могут иметь разные веса в производственном процессе. Например, в модели Солоу физический капитал и человеческий капитал имеют разные веса, в то время как в модели Кобба-Дугласа капитал рассматривается как однородный фактор производства.

В целом модели Солоу и Кобба-Дугласа имеют различные подходы к описанию производственной функции, что приводит к различным выводам о зависимости между объемом производства и производственными факторами. Каждая из моделей имеет свои преимущества и ограничения и может быть использована для анализа различных аспектов экономического роста.

Модель Солоу предполагает, что экономика находится в долгосрочном равновесии, при котором сбережения и инвестиции равны друг другу. Это означает, что изменения в капитале происходят только за счет инвестиций. Кроме того, модель предполагает, что капитал и труд со временем подвержены убыли [7].

Модель Солоу позволяет исследовать влияние различных факторов на экономический рост, таких как изменения в уровне инвестиций, технологический прогресс, демографические изменения и другие. Она также позволяет оценить, как изменения в экономической политике (налоговой или политике инвестирования) могут повлиять на экономический рост в долгосрочной перспективе.

Существует несколько модификаций модели Солоу, которые учитывают различные аспекты роста экономики и позволяют более точно описывать экономические процессы.

Одной из модификаций является модель расширенной производственной функции. В этой модели учитываются не только капитал и труд, но и другие факторы производства, такие как природные ресурсы и человеческий капитал. Человеческий капитал учитывает вклад образования и опыта работы в производительность труда. Модель расширенной производственной функции позволяет получить более точную оценку вклада различных факторов в рост экономики.

Математически расширенная модель может быть записана следующим образом:

$$Y = A * (K^\alpha) * (L^\beta) * (H^\gamma) * (N^\delta) * (R^\varepsilon), \quad (6)$$

где Y – объем производства, K – объем капитала, L – численность занятых в экономике, H – объем человеческого капитала, N – объем природных ресурсов, R – уровень технологий, A – общий уровень технологий.

Параметры α , β , γ , δ и ε определяют вес каждого фактора в производственном процессе. Значения параметров должны удовлетворять условию $\alpha + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon = 1$.

Коэффициент A представляет собой общий уровень технологий, который влияет на производительность всех факторов производства.

Человеческий капитал H определяется как совокупность знаний, навыков и опыта, которыми обладает рабочая сила. Он может быть увеличен через образование, тренинги, научные исследования и т.д.

Объем природных ресурсов N может включать в себя различные виды природных ресурсов, такие как земля, вода, леса, нефть и газ.

Уровень технологий R может быть увеличен через научные исследования, разработку новых технологий, инновации и т.д.

Расширенная модель Солоу позволяет оценить вклад каждого из факторов в экономический рост и выявить факторы, которые могут стимулировать экономический рост. Она также позволяет оценить влияние изменений в отдельных факторах на производительность и прогнозировать будущий рост экономики [8].

Другой модификацией модели Солоу является модель эндогенного роста. В этой модели учитывается, что технологический прогресс и инновации могут быть стимулированы инвестициями в научные исследования и развитие человеческого капитала. Модель эндогенного роста позволяет более точно описывать процессы, которые приводят к росту экономики, и предлагает новые политические инструменты для стимулирования экономического роста.

Одна из самых известных моделей эндогенного роста была разработана Ромером (Romer, 1990) и может быть записана следующим образом:

$$Y = A * (K^\alpha) * (L^{1-\alpha}) * (E^\beta), \quad (7)$$

где Y – объем производства, K – объем капитала, L – численность занятых в экономике, E – инновации и исследования, A – общий уровень технологий.

Параметры α , $1-\alpha$ и β определяют вес каждого фактора в производственном процессе.

Коэффициент A представляет собой общий уровень технологий, который влияет на производительность всех факторов производства.

Инновации и исследования E могут быть созданы как государственными, так и частными исследовательскими организациями. Они могут быть стимулированы через научные исследования, разработку новых технологий, инновации и т.д.

Модель Ромера показывает, что экономический рост может быть стимулирован через инвестиции в человеческий капитал и исследования, которые способны привести к технологическим инновациям и улучшению производительности [9].

Однако следует отметить, что существует множество различных моделей эндогенного роста, которые могут включать в себя различные факторы и механизмы. Конкретные модели могут быть адаптированы для описания конкретных экономических систем и имеют свои особенности, ограничения и применения.

Третьей модификацией модели Солоу является модель двух секторов. Эта модель учитывает, что экономика может состоять из нескольких секторов, каждый из которых имеет свои особенности. Например, один сектор может быть ориентирован на производство товаров, а другой – на сельское хозяйство. Модель двух секторов позволяет более точно описывать взаимодействие между различными секторами и их вклад в рост экономики.

Модель двух секторов (Two-Sector Model) – это модель макроэкономического анализа, которая делит экономику на два сектора: промышленность и сельское хозяйство. Эта модель позволяет исследовать взаимодействие между двумя секторами и их влияние на экономический рост [10].

Математически модель двух секторов может быть записана следующим образом:

$$Y = C + I + G + NX, \quad (8)$$

где Y – это ВВП, C – потребление, I – инвестиции, G – государственные расходы, NX – чистый экспорт.

Далее, модель может быть разделена на два сектора: сельское хозяйство (A) и промышленность (I) и записана в следующем виде:

$$\begin{aligned} Y &= Y_A + Y_I, \\ Y_A &= C_A + I_A, \\ Y_I &= C_I + I, \end{aligned} \quad (9)$$

где Y_A – объем производства в сельском хозяйстве, Y_I – объем производства в промышленности, C_A – потребление в сельском хозяйстве, I_A – инвестиции в сельском хозяйстве, C_I – потребление в промышленности, I – инвестиции в промышленности.

При этом сумма потребления и инвестиций в каждом из секторов должна быть равна объему производства в этом секторе:

$$\begin{aligned} C_A + I_A &= Y_A, \\ C_I + I &= Y_I. \end{aligned} \quad (10)$$

Из этих уравнений можно вывести выражения для ВВП и инвестиций в экономике:

$$\begin{aligned} Y &= Y_A + Y_I = C_A + I_A + C_I + I, \\ I &= I_A + I. \end{aligned} \quad (11)$$

Данная модель позволяет анализировать взаимодействие между секторами экономики и их вклад в общий экономический рост. Например, изменения в инвестициях в одном из секторов могут привести к изменениям в объеме производства и потребления в другом секторе. Также модель может быть использована для анализа эффектов экономической политики и изменений в мировой торговле на экономический рост.

В целом модификации модели Солоу позволяют более точно описывать рост экономики и учитывать различные аспекты экономических процессов. Однако, как и любая модель, они могут иметь ограничения и упрощения, которые не всегда отражают реальность в полной мере. Поэтому важно использовать модели в сочетании с другими методами анализа и учитывать их ограничения при принятии решений.

МОДЕЛЬ ДИНА

Модель Дина (Dinamic New Keynesian Phillips Curve Model) – это модель, которая используется для описания инфляционных процессов в экономике и является развитием модели Филипса. Она учитывает динамику рынка труда и товаров, а также взаимодействие между ними.

Модель Дина может быть записана следующим образом:

$$\pi_t = E_t \pi_{t+1} + \beta(y_t - y_{t^*}) + u_t, \quad (12)$$

где π_t – текущий уровень инфляции, $E_t \pi_{t+1}$ – ожидаемый уровень инфляции в будущем, β – параметр, отражающий отклонение реального выпуска от потенциального, y_t – текущий уровень выпуска, y_{t^*} – потенциальный уровень выпуска, u_t – шок спроса.

В этой модели ожидания о будущем уровне инфляции являются ключевым фактором, который определяет текущий уровень инфляции. Более точно текущий уровень инфляции зависит от разницы между ожидаемым уровнем инфляции и уровнем реального выпуска относительно потенциального уровня выпуска.

Модель Дина является динамической моделью, это означает, что изменения в экономике могут привести к изменению инфляционных ожиданий и, соответственно, к изменению уровня инфляции. Например, изменения в уровне безработицы могут привести к изменению инфляционных ожиданий, что в свою очередь может привести к изменению уровня инфляции.

Модель Дина позволяет анализировать влияние монетарной политики на уровень инфляции и безработицы. Путем изменения ставок процента Центральный банк может повлиять на уровень инфляции и безработицы, управляя инфляционными ожиданиями и сокращая или расширяя неравновесие между уровнем реального выпуска и потенциальным уровнем выпуска.

В модели Дина инфляция зависит от нескольких факторов, таких как уровень производительности, денежная масса, уровень безработицы и т.д. Основной идеей модели является то, что изменения в экономике могут привести к изменению уровня инфляции в будущем. Например, если уровень безработицы снижается, то это может привести к росту заработной платы и цен на товары и услуги, что в свою очередь может привести к увеличению инфляции.

Модель Дина также учитывает роль Центрального банка в регулировании уровня инфляции. Центральный банк может использовать различные инструменты, например изменение уровня процентных ставок, для контроля уровня инфляции в экономике.

Одним из основных преимуществ модели Дина является то, что она позволяет более точно описывать динамику инфляционных процессов в экономике и предсказывать изменения в будущем. Это может быть полезно для принятия решений в области монетарной политики и финансов [11].

Однако, как и любая модель, модель Дина имеет ограничения и упрощения, которые не всегда отражают реальность в полной мере. Поэтому важно использовать модель в сочетании с другими методами анализа и учитывать ее ограничения при принятии решений.

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО СЛУЧАЙНОГО РАВНОВЕСИЯ

Другой популярной моделью является модель Динамического Случайного Равновесия (DSGE). Это метод моделирования экономических систем, который использует математические модели, основанные на теории микроэкономики и макроэкономики, чтобы объяснить поведение экономических агентов в условиях неопределенности и изменчивости во времени.

DSGE-модели представляют экономику как систему дифференциальных уравнений, описывающих поведение экономических агентов, таких как домохозяйства, фирмы, банки и правительство. В модели учитываются множество факторов: уровень производства, инфляция, безработица, процентные ставки, государственный долг и другие.

DSGE-модели позволяют исследовать влияние различных факторов на экономические переменные и прогнозировать экономические показатели в будущем. Они также могут использоваться для оценки эффектов экономической политики: изменений в налоговой политике, изменений в монетарной политике, изменений в бюджетной политике и т.д.

Модель DSGE может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 C_t &= E(\sum_{i=0}^{\infty} \beta^i (1+r)^{(-i)} u(C_{t+i})(1+r)^{-1}) \\
 Y_t &= A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \\
 K_{t+1} &= (1-\delta) K_t + I_t \\
 I_t &= \delta K_t \\
 r &= \alpha A_t K_t^{\alpha-1} L_t^{1-\alpha} - \delta,
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

где C_t – потребление, Y_t – выпуск, K_t – капитал, L_t – труд, I_t – инвестиции, r – процентная ставка, A_t – технологический прогресс, β – дисконтный фактор, δ – склонение капитала [11].

Модель DSGE объединяет несколько элементов микроэкономической теории – потребление, инвестиции, трудовые рынки, денежная политика и технологический прогресс – для описания макроэкономической динамики в экономике. В этой модели все решения принимаются рациональными агентами, которые максимизируют свою полезность в соответствии с доступной информацией.

Модель DSGE позволяет анализировать влияние экономической политики на экономический рост и инфляцию. Например, изменение налоговой политики или уровня процентных ставок может привести к изменению уровня инфляции и безработицы в экономике.

Однако следует отметить, что модель DSGE имеет свои ограничения и приближения, и ее применение может быть ограничено сложностью и требованиями к данным. Также, в зависимости от конкретной экономической ситуации, модель может требовать дополнительные переменные и уточнения [12].

Одним из основных преимуществ DSGE-моделей является возможность учитывать неопределенность и изменчивость в экономике, что позволяет получать более точные прогнозы. Однако их сложность может быть препятствием для использования в практических целях, поэтому они чаще используются в академических исследованиях и в работе центральных банков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель Солоу, модель Дина и модель Динамического Случайного Равновесия (DSGE) являются динамическими моделями макроэкономического анализа, которые используются для изучения экономического роста и его детерминантов.

Можно сделать вывод, что модель Солоу, модель Дина и модель DSGE имеют разные уровни сложности и используются для анализа различных аспектов экономического роста и инфляции. Модель Солоу является более простой моделью, которая используется для анализа влияния инвестиций и технологического прогресса на экономический рост. Модель Дина более специализированная модель, которая используется для анализа связи между инфляцией и безработицей. Модель DSGE является более сложной моделью, которая объединяет элементы микроэкономики и макроэкономики, используя формальные математические методы для описания взаимодействия между агентами в экономике и позволяет анализировать влияние экономической политики на экономический рост и инфляцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вудфорд М. Что не так с экономическими моделями? // Вопросы экономики. 2012. № 5. С. 14–21.
2. Гальперин В. М. Макроэкономика / общая редакция Л. С. Тарасевича. Изд. 3-е, перераб. и доп. СПб.: СПбГУЭФ, 1999. 653 с.
3. Зарецкий А. Сравнение вариантов монетарной политики в рамках простой DSGE-модели // Банкаўскі веснік. 2013. № 7(588). С. 21–28.
4. Ивантер А. Е. Аперитив для сильных духом // Эксперт. 2013. № 38(688). С. 22–25.
5. История экономических учений: учебное пособие / под ред. В. С. Автономова и др. Москва: ИНФРА-М, 2002. 784 с.
6. История экономических учений: (современный этап) / под ред. А. Г. Худокормова. Москва: ИНФРА-М, 1998. 733 с.
7. Коландер Д. и др. Финансовый кризис и провалы современной экономической науки // Вопросы экономики. 2010. № 6. С. 10–25.
8. Кэй Дж. Карта – не территория: о состоянии экономической науки // Вопросы экономики. 2012. № 5. С. 4–13.
9. Микушева А. Оценивание динамических стохастических моделей общего равновесия // Квантиль. 2014. № 12. С. 1–21.
10. Миллер Р. Л., Ван-Хуз Д. Д. Современные деньги и банковское дело. Москва: Инфра-М, 2000. С. 856.
11. Мэнкью Н. Г. Макроэкономист как ученый и инженер // Вопросы экономики. 2009. № 5. С. 86–103.
12. Симонов П. М., Шульц Д. Н., Шульц М. Н. Эволюция теории общего экономического равновесия // Вестник Пермского университета. 2012. № 3. С. 32–38.

REFERENCES

1. Woodford M. What is wrong with economic models? *Voprosy ekonomiki* [Questions of Economics]. 2012. No. 5. Pp. 14–21. (In Russian)
2. Galperin V.M. *Makroekonomika* [Macroeconomics]. General edition of L. S. Tarasevich. St.-P.: SPbGUEF, 1999. 653 p. (In Russian)
3. Zaretsky A. Comparison of monetary policy options within the framework of a simple DSGE model. *Банкаўскі веснік*. 2013. No. 7(588). Pp. 21–28. (In Russian)
4. Ivanter A.E. Aperitif for the strong in spirit. *Ekspert*. 2013. No. 38(688). Pp. 22–25. (In Russian)
5. *Istoriya ekonomicheskikh ucheniy* [History of economic doctrines]: textbook. Ed. V.S. Avtonomova. Moscow: INFRA-M, 2002. 784 p. (In Russian)
6. *Istoriya ekonomicheskikh ucheniy: (sovremennyy etap)* [History of economic doctrines: (modern stage)]. Ed. A.G. Khudokormova. Moscow: INFRA-M, 1998. 733 p. (In Russian)
7. Kolander D. et al. Financial crisis and failures of modern economic science. *Voprosy ekonomki* [Questions of the economy]. 2010. No. 6. Pp. 10–25. (In Russian)
8. Kay J. The map is not the territory: on the state of economic science. *Voprosy ekonomki* [Questions of the economy]. 2012. No. 5. Pp. 4–13. (In Russian)
9. Mikusheva A. Estimation of dynamic stochastic general equilibrium models. *Kvantil*. 2014. No. 12. Pp. 1–21. (In Russian)

10. Miller R.L., Van Hoose D.D. *Sovremennyye den'gi i bankovskoye delo* [Modern money and banking]. Moscow: Infra-M, 2000. P. 856. (In Russian)

11. Mankiw N.G. Macroeconomist as a scientist and engineer. *Voprosy ekonomki* [Questions of the economy]. 2009. No. 5. Pp. 86–103. (In Russian)

12. Simonov P.M., Shults D.N., Shults M.N. Evolution of the theory of general economic equilibrium. *Vestnik Permskogo universiteta* [Bulletin of the Perm University]. 2012. No. 3. Pp. 32–38. (In Russian)

Информация об авторе

Канаметова Дана Асланбиевна, канд. экон. наук, науч. сотр., Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;
danocha_999@mail.ru

Information about the author

Kanametova Dana Aslanbievna, candidate of economic sciences, researcher, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS;
360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street;
danocha_999@mail.ru

Классификация моделей системы управления жилищно-коммунальным хозяйством

А. А. Попов, А. М. Трамова

Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова
117997, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

Аннотация. В статье рассмотрено решение задачи систематизации моделей, используемых для управления жилищно-коммунальным хозяйством. Целью исследований является уточнение классификации моделей, используемых для моделирования деятельности предприятий в сфере жилищно-коммунального хозяйства, регионального жилищно-коммунального хозяйства, а также жилищно-коммунального хозяйства в целом. Объект исследований в данной работе – жилищно-коммунальное хозяйство. Предмет исследований – множество моделей, используемых для управления жилищно-коммунальным хозяйством. Исходными данными для исследования являются материалы по предметной области «Модели в управлении жилищно-коммунальным хозяйством», приведенные в работах российских ученых. К методам исследования, используемым в работе, относятся: системный подход, методы анализа и синтеза, а также теоретико-множественный подход. В результате анализа публикаций по выбранной предметной области было определено восемь типов моделей. Рассмотрено соответствие моделей различных типов, полученных в результате исследований, классификации моделей, полученных ранее. Уточнена классификация моделей за счет появления новых моделей, использующих различные виды оптимизации, а также цифровые двойники зданий и новых формальных теоретических моделей, описывающих методику создания моделей с учетом различных факторов.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, классификация моделей, подмножество моделей, системный подход, концептуальная модель, теория массового обслуживания, оптимизационная модель, процессная модель, мультиагентная модель, цифровая модель здания, формальная модель

Поступила 07.07.2023, одобрена после рецензирования 14.07.2023, принята к публикации 21.07.2023

Для цитирования. Попов А. А., Трамова А. М. Классификация моделей системы управления жилищно-коммунальным хозяйством // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 98–109. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-98-109

JEL: L9

Original article

Classification of models of the housing and communal services management system

A.A. Popov, A.M. Tramova

Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics,
117997, Russian, Moscow, Stremyanny lane, 36

Abstract. The article considers the solution of the problem of systematization of models used to manage housing and communal services. The purpose of the research is to clarify the classification of models used to model the activities of enterprises in the field of housing and communal services, regional housing and

communal services, as well as housing and communal services in general. The object of research in this work is housing and communal services. The subject of research is the set of models used to manage housing and communal services. The initial data for research are materials on the subject area «Models in the management of housing and communal services», given in the works of Russian scientists. The research methods used in the work include a systematic approach, methods of analysis and synthesis, as well as a set-theoretic approach. As a result of the analysis of publications in the selected subject area, eight types of models were identified. The correspondence of models of various types, obtained as a result of research, to the classification of models obtained earlier is considered. The classification of models obtained earlier has been refined due to the emergence of new models using various types of optimization, due to new models using digital twins of buildings, as well as due to new formal theoretical models that describe the methodology for creating models taking into account various factors.

Keywords: housing and communal services, classification of models, subset of models, system approach, conceptual model, queuing theory, optimization model, process model, multi-agent model, digital building model, formal model

Submitted 07.07.2023,

approved after reviewing 14.07.2023,

accepted for publication 21.07.2023

For citation. Popov A.A., Tramova A.M. Classification of models of the housing and communal services management system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2023. No. 4(114). Pp. 98–109. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-98-109

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в научной литературе практически отсутствуют обзорные работы, в которых проводится разносторонний анализ моделей, используемых для управления жилищно-коммунальным хозяйством (ЖКХ). Одной из последних работ в данной предметной области является [1], где показано существование трех типов моделей в сфере ЖКХ.

Первый тип моделей предназначен для моделирования состояния и динамики жилого фонда (моделирование капитального ремонта зданий, моделирование деятельности предприятий, управляющих жилым фондом, а также моделирование динамики жилого фонда на основе ипотечного кредитования).

Второй тип моделей предназначен для моделирования тарифной политики в сфере ЖКХ.

Третий тип моделей предназначен для моделирования различных сторон деятельности предприятий в сфере ЖКХ (концептуальное моделирование управления предприятиями, а также моделирование конкретных видов деятельности предприятий).

С момента публикации данной работы прошло уже 15 лет. Поэтому классификация моделей, используемых для управления ЖКХ, могла измениться. Тем более, в [1] указано, что модели типа «Моделирование объектов ЖКХ» ранее были развиты достаточно слабо. Кроме этого, рассматривается классификация лишь экономико-математических моделей, а для управления ЖКХ могут быть использованы модели, отличающиеся по своей сути от экономико-математических.

Таким образом, в данной работе делается попытка усовершенствовать классификацию моделей, приведенных в [1], на основе анализа публикаций в предметной области «Модели в управлении ЖКХ».

Целью исследования является усовершенствование классификации моделей, используемых для моделирования деятельности предприятий в сфере ЖКХ, регионального ЖКХ, а также ЖКХ в целом.

Объектом исследований в данной работе является ЖКХ. Предметом исследований является совокупность моделей, используемых для управления ЖКХ.

Исходными данными для проведения исследований являются материалы по предметной области «Модели в управлении ЖКХ», приведенные в работах российских ученых. К методам исследования, используемым в работе, относятся методы анализа и синтеза, методы, основанные на системном подходе, а также метод, основанный на теоретико-множественном подходе.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Постановка задачи исследований, проводимых в работе, выглядит следующим образом.

Дано:

Множество моделей K , полученное в [1]:

$$K = \bigcup_{i=1}^I k(i),$$

где i – номера подмножеств;

I – количество подмножеств, ($I = 3$);

$k(1)$, $k(2)$, $k(3)$ – подмножества моделей соответственно для моделирования состояния и динамики жилого фонда, для моделирования тарифной политики в сфере ЖКХ, а также для моделирования деятельности предприятий в сфере ЖКХ.

При этом в составы подмножеств $k(1)$, $k(2)$, $k(3)$ входят следующие подмножества:

$$k(1) = \bigcup (m(1,1), m(1,2), m(1,3)),$$

$$k(2) = \bigcup (m(2,1), m(2,2)),$$

$$k(3) = \bigcup (m(3,1), m(3,2)).$$

В состав подмножества $k(1)$ входят три подмножества моделей: для моделирования капитального ремонта зданий, для моделирования деятельности предприятий, управляющих жилым фондом, а также для моделирования динамики жилого фонда на основе ипотечного кредитования.

В состав подмножества $k(2)$ входят два подмножества моделей: для моделирования тарифной политики и для моделирования значений параметров, характеризующих результаты тарифной политики.

В состав подмножества $k(3)$ входят два подмножества моделей: для концептуального моделирования развития предприятий в сфере ЖКХ, а также для моделирования деятельности предприятий по оказанию конкретных видов жилищно-коммунальных услуг.

Необходимо определить:

Новые подмножества моделей $k(i)$ и $m(i, f)$, которые будут дополнять множество K и входить в состав обновленного множества KN за счет:

- появления новых подмножеств $k(i)$ множества K и входящих в них подмножеств $m(i, f)$, то есть значение I становится больше 3;

- появления только новых подмножеств $m(i, f)$, входящих в состав имеющихся подмножеств $k(1)$, $k(2)$, $k(3)$.

При этом для f выполняются следующие соотношения:

$$f = \begin{cases} 4, 5, \dots, F(i); & (i = 1; I \geq 3); \\ 2, 3, \dots, F(i); & (i = 2, 3; I \geq 3); \\ 1, 2, \dots, F(i); & (i > 3; I \geq 3), \end{cases}$$

где $F(i)$ – количество подмоделей в подмодели $k(i)$, при этом $F(1) \geq 3$, $F(2) \geq 2$, $F(3) \geq 2$, а также $F(i) \geq 1$ при $i > 3$.

Таким образом, необходимо определить уточненное множество моделей KN . При этом $K \in KN$, $I \geq 3$,

$$KN = \bigcup_{i=1}^I \left(\bigcup_{f=1}^{F(i)} m(i, f) \right).$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОВ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖКХ

В результате анализа публикаций было выделено несколько типов моделей управления предприятиями в сфере ЖКХ. Установим соответствие определенных типов моделей тем подмножествам, которые входят в состав множества K . Особое внимание уделяется описанию новых подмножеств, которые требуется создать для получения уточненного множества KN .

Первым типом моделей являются модели процессного управления. В качестве примера можно привести модель [2], где модель информационных процессов управления предприятиями в сфере ЖКХ представлена в виде совокупности диаграмм, разработанных с использованием нотации UML, и предполагает сокращение времени, затрачиваемого на сбор показаний счетчиков, установленных на объектах учета, и передачу их в управляющую организацию. Модель соответствует подмножеству моделей $m(3, 1)$. Остальные модели данного типа также соответствуют подмножествам моделей $m(3, 1)$ или $m(1, 2)$. Таким образом, наличие моделей не требует появления новых подмножеств моделей в дополнение к классификации [1].

Вторым типом моделей являются модели на основе системного подхода. В [3] приведено использование теории ограничения систем для моделирования работы предприятия в сфере ЖКХ. Деятельность организации в сфере ЖКХ характеризуется тремя параметрами: скорость генерации дохода предприятием в сфере ЖКХ в результате продаж жилищно-коммунальных услуг, денежные средства, вложенные в предприятие, а также денежные средства, используемые предприятием для превращения денег, вложенных в предприятие, в доход предприятия. Модель соответствует подмножеству моделей $m(1, 2)$. В [4] рассмотрена трансформация модели системы управления ЖКХ, состоящей (на основании теории систем и теоретико-множественного подхода) из шести компонентов. Также приведены модели единых информационных пространств нескольких типов в зависимости от информационных технологий, используемых на предприятиях сферы ЖКХ. Модель соответствует подмножеству моделей $m(3, 1)$. Остальные модели соответствуют подмножествам моделей $m(3, 1)$ или $m(1, 2)$. Таким образом, использование моделей данного типа не приводит к появлению новых подмножеств моделей в дополнение к классификации [1].

Третьим типом моделей являются модели на основе теории массового обслуживания. В качестве примера можно привести работу [5], где рассмотрена модель, разработанная с использованием теории массового обслуживания и предназначенная для оптимизации значений параметров, характеризующих систему водоснабжения. В результате использо-

вания модели [5] обеспечивается экономия ресурсов предприятий сферы ЖКХ, занимающихся системами водоснабжения. Модели данного типа соответствуют подмножеству моделей $m(3, 2)$. Таким образом, наличие таких моделей не приводит к появлению новых подмножеств моделей в дополнение к подмножествам, приведенным в [1].

Четвертым типом моделей являются модели на основе мультиагентного подхода. В [6] рассматривается создание мультиагентной модели, в составе которой имеется четыре агента («Органы местного самоуправления», «Внешние по отношению к ЖКХ предприятия», «Жилищно-коммунальные предприятия», «Жители») и которая должна формировать рациональный вариант планирования бюджетных средств для работы городского ЖКХ. Такой тип моделей можно отнести к новому подмножеству моделей $m(1, 4)$, которое дополняет подмножество $k(1)$ и предназначено для моделирования процесса бюджетирования в ЖКХ с учетом динамики состояния жилого фонда. В [7] в качестве ядра модели для оценки эффективности деятельности организации в сфере ЖКХ используются облачные функции АИС «Бизнес-Аналитик», которая является мультиагентной гибридной экспертной системой. Представление знаний для работы модели в [7] производится с помощью продукционной экспертной системы. Для ее работы формировалась система качественных оценок (термов) по результатам ответов сотрудников управляющих компаний на ряд вопросов. Для работы модели используются показатели, характеризующие деятельность предприятий в сфере ЖКХ (масштаб деятельности, финансовая устойчивость, репутация, прозрачность). По результатам работы модели [7] может быть построен рейтинг всех управляющих организаций в сфере ЖКХ. Модель соответствует новому подмножеству моделей $m(3, 3)$, которое дополняет подмножество $k(3)$ и предназначено для оценки эффективности деятельности предприятий в сфере ЖКХ. В [8] рассмотрено создание модели энерго-технологического комплекса (ЭТК), то есть ЖКХ, с использованием коборг-технологии (A complicated organized objects, Coborgs). В соответствии с [8] модель ЖКХ представляется как сетцентрическая информационно-управляющая система, в которой автономные интеллектуальные агенты взаимодействуют между собой. Такая система агентов образует мультиагентный ЭТК-коборг, который осуществляет решение задачи по оптимальному управлению энергоресурсами. Модель соответствует подмножеству моделей $m(3, 2)$. При этом модель может соответствовать и новому подмножеству моделей $m(3, 4)$, которое дополняет подмножество $k(3)$ и предназначено для определения оптимальных вариантов деятельности предприятий в сфере ЖКХ.

Таким образом, использование моделей данного типа соответствует появлению новых подмножеств моделей в дополнение к подмножествам, приведенным в [1].

Пятым типом моделей являются модели для описания организационных механизмов управления в ЖКХ. Большинство моделей данного типа предполагают концептуальное моделирование управления ЖКХ, и поэтому они соответствуют подмножеству моделей $m(3, 1)$. Примером является модель, приведенная в [9] и описывающая роли субъектов управления ЖКХ на четырех уровнях (собственники жилищного фонда, жилищно-коммунальные предприятия, организации для управления жилищным фондом и операторы по управлению жилищно-коммунальными услугами, а также органы власти в сфере управления ЖКХ). При этом среди моделей данного типа есть модели, соответствующие другим подмножествам множества K . В [10] разработана модель механизма управления в сфере ЖКХ, в которой учитываются факторы, влияющие на осуществление инвестиционно-инновационной деятельности в сфере ЖКХ, а инвестиционный налоговый кредит в данной мо-

дели рассматривается как основной финансовый инструмент. Поэтому модель соответствует новому подмножеству моделей $m(2, 3)$ для моделирования инвестиционно-инновационной деятельности в сфере ЖКХ в дополнение к подмножеству $k(2)$. В [11] разработана графическая модель, позволяющая сформировать взаимодействие предприятий сферы ЖКХ со сторонними коммерческими организациями и частным сектором на условиях частичной самокупаемости. Модель соответствует новому подмножеству моделей $m(2, 4)$, которое дополняет подмножество $k(2)$ и предназначено для моделирования взаимодействия предприятий сферы ЖКХ со сторонними организациями. В [12] рассмотрена модель, предназначенная для выбора рационального варианта формы управления предприятием сферы ЖКХ. При создании модели были использованы положения теории нечетких множеств. Модель соответствует новому подмножеству моделей $m(1, 5)$, которое дополняет подмножество $k(1)$ и предназначено для выбора рационального варианта формы управления предприятиями сферы ЖКХ.

Таким образом, использование моделей данного типа соответствует появлению новых подмножеств моделей в дополнение к подмножествам, приведенным в [1].

Шестым типом моделей являются модели для оптимизации значений параметров, характеризующих различные виды деятельности предприятий в сфере ЖКХ. В [13] рассмотрена модель, предназначенная для определения оптимальных значений затрат на планируемую модернизацию, капитальный ремонт и текущий ремонт МКД, а также затрат на эксплуатацию МКД. При этом в качестве управляемых параметров рассматривались параметры, характеризующие надежность и стоимость отремонтированных МКД, стоимость работ по ремонту МКД, а также технологические, социальные и экологические показатели ремонта МКД. Условно управляемыми параметрами в [13] рассматриваются параметры, обеспечиваемые организациями, сторонними по отношению к ЖКХ: качество (надежность) МКД, организационно-технические, эргономические, экологические, эстетические показатели МКД после постройки или ремонта. Модель соответствует подмножеству $m(1, 1)$, а также рассмотренному ранее новому подмножеству $m(3, 4)$. В [14] приведены две модели для описания деятельности предприятия сферы ЖКХ (управляющей компании). Первая модель использует балансовые уравнения предприятия. Вторая модель предусматривает решение задачи оптимального управления. Параметром для осуществления оптимизации является дисконтированная прибыль предприятия в сфере ЖКХ. Управляемым параметром в моделях [14] являются затраты на модернизацию жилого фонда. Обе модели соответствуют подмножеству $m(1, 2)$, а также рассмотренному ранее новому подмножеству $m(3, 4)$. В [15] в качестве основы для разработки имитационной модели для оптимизации деятельности предприятий сферы ЖКХ используется модель [1]. В модели [15] оптимальные решения определяются с использованием дискретного принципа максимума Понтрягина. Модель соответствует подмножеству $m(2, 2)$, а также новому подмножеству $m(3, 4)$. В [16] рассматривается алгоритм обработки информации и поиска оптимальных технологических и экономических решений в сфере ЖКХ, который основывается на фреймах, имеющих графовую структуру. Модель соответствует новому подмножеству $m(3, 4)$.

Таким образом, наличие моделей данного типа приводит к появлению новых подмножеств моделей в дополнение к подмножествам, приведенным в [1].

Седьмым типом моделей являются информационные модели зданий (Building Information Models, BIM). Пока что практическое использование моделей данного типа

непосредственно на предприятиях сферы ЖКХ производится достаточно редко. В случае использования для управления ЖКХ ВІМ обеспечивает сбор, централизованное хранение, отображение и анализ данных для отслеживания текущего состояния МКД, моделирование изменений в конструкции МКД для принятия мер по эксплуатации и ремонту МКД. Примером является работа [17], где рассматривается использование ВІМ для решения проблемы, которая выражается в высоких затратах в сфере ЖКХ и ориентированности ЖКХ на аварийные работы. Указанная проблема приводит к ограничениям в работе системы управления ЖКХ, что мешает повышению эффективности предприятий в сфере ЖКХ. Для устранения проблемы в [17] с помощью ВІМ производятся прогнозирование значений параметров, характеризующих деятельность объектов ЖКХ, и прогнозирование нештатных ситуаций. Система прогнозирования встраивается в общую систему управления ЖКХ. Это показано с помощью UML-диаграмм компонентов для показа структуры системы управления объектами ЖКХ, в состав которой входит модуль интеллектуальной аналитики. Рассмотрен пример использования ВІМ, реализованной с помощью нейросети, для управления тепловым узлом в МКД. Модель соответствует новому подмножеству моделей $m(4, 1)$, предусматривающему использование цифровых двойников зданий для принятия решений в сфере ЖКХ. Подмножество $m(4, 1)$ входит в состав нового подмножества $kn(4)$ для моделирования состояния зданий в рамках управления ЖКХ.

Восьмым типом моделей являются формальные модели управления ЖКХ. В [18] теоретически обосновано построение модели для выбора и принятия решений при обеспечении деятельности предприятий в сфере ЖКХ, в которой учтены факторы вероятностной неопределенности. В [19] рассмотрены теоретические положения для построения модели с учетом неравновесных состояний подсистемы, в качестве которой выступает совокупность предприятий в сфере ЖКХ, имеющих одинаковую функциональность. Для моделирования состояний подсистем во времени может быть использована система дифференциальных или разностных уравнений, правая часть которых будет зависеть от параметров, характеризующих текущее состояние подсистемы и распределение жилищно-коммунальных услуг. Формальные модели соответствуют новому подмножеству моделей $m(5, 1)$ для формального описания учета неопределенности при разработке моделей для управления ЖКХ. Подмножество $m(5, 1)$ входит в состав нового подмножества $kn(5)$, предназначенного для развития методического аппарата, используемого при разработке моделей управления ЖКХ.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате исследований было получено уточненное множество моделей KN . При этом для получения множества KN множество K должно быть дополнено следующими новыми подмножествами:

1. Подмножество $kn(1)$ по сравнению с подмножеством $k(1)$ дополняется подмножеством $m(1, 4)$ для моделирования бюджетирования в ЖКХ с учетом динамики состояния жилого фонда и подмножеством $m(1, 5)$ для выбора рационального варианта формы управления предприятием сферы ЖКХ.

2. Подмножество $kn(2)$ по сравнению с подмножеством $k(2)$ дополняется подмножеством $m(2, 3)$ для моделирования инвестиционно-инновационной деятельности в сфере ЖКХ и подмножеством $m(2, 4)$ для моделирования взаимодействия предприятий сферы ЖКХ со сторонними организациями.

3. Подмножество $kn(3)$ по сравнению с подмножеством $k(3)$ дополняется подмножеством $m(3, 3)$ для оценки эффективности деятельности предприятий в сфере ЖКХ и подмножеством $m(3, 4)$ для определения оптимальных вариантов деятельности предприятий в сфере ЖКХ.

4. Появляется новое подмножество $kn(4)$ для моделирования состояния зданий в рамках управления ЖКХ. В составе данного подмножества содержится подмножество моделей $m(4, 1)$ для использования цифровых двойников зданий в сфере ЖКХ.

5. Появляется новое подмножество $kn(5)$ для развития методического аппарата, используемого при разработке моделей управления ЖКХ. В составе данного подмножества содержится подмножество моделей $m(5, 1)$ для формального описания учета неопределенности при разработке моделей для управления ЖКХ.

Уточненная классификация моделей, полученная в результате исследований, показывает, что она не противоречит классификации, полученной ранее в [1]. В результате решения задачи получено множество KN :

$$KN = \bigcup_{i=1}^5 kn(i),$$

$$kn(1) = \bigcup (m(1,1), m(1,2), m(1,3), m(1,4), m(1,5)),$$

$$kn(2) = \bigcup (m(2,1), m(2,2), m(2,3), m(1,4)),$$

$$kn(3) = \bigcup (m(3,1), m(3,2), m(3,3), m(3,4)),$$

$$kn(4) = m(4,1),$$

$$kn(5) = m(5,1).$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье решена задача систематизации моделей, используемых для управления ЖКХ. Результаты исследований показывают, что классификация моделей, полученная ранее в [1], должна быть уточнена:

- за счет моделей, использующих различные виды оптимизации;
- за счет моделей, использующих цифровые двойники зданий;
- за счет формальных теоретических моделей, описывающих методику создания моделей с учетом различных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егорова Н. Е., Митрофанова И. Н., Королева Н. В. и др. Имитационная модель предприятия ЖКХ как инструмент анализа тарифно-ценового механизма // Аудит и финансовый анализ. 2007. № 6. С. 160–199.
2. Бученков О. В., Жаишкова Т. В., Колобова Е. А. Модель информационных процессов контроля и учета потребления энергоресурсов в сфере ЖКХ // Современные информационные технологии. 2020. № 32(32). С. 21–26.

3. *Колларж В. В.* Анализ сбалансированности деятельности предприятия сферы ЖКХ на основе теории энтропии и теории ограничения систем // *Экономический вектор*. 2016. № 2 (5). С. 66–73.
4. *Попов А. А.* Трансформация системы управления жилищно-коммунальным хозяйством в условиях цифровизации. Москва: Русайнс, 2021. 188 с.
5. *Шibaева М. А., Околелова Э. Ю., Ларина Е. М.* Реформирование жилищно-коммунального хозяйства на основе моделирования инженерных систем // *Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы: сборник научных статей 19-й Международной научно-практической конференции*. Том 1. Курск, 25 апреля 2020 года. Москва: Финансовый университет при Правительстве РФ, 2020. С. 324–329.
6. *Гафарова Е. А., Зеленова Е. В.* Агентная модель для оценивания последствий управленческих решений в жилищно-коммунальной сфере (на примере г. Стерлитамак) // *Государственное управление. Электронный вестник*. 2011. № 29. С. 6.
7. *Пятковский О. И., Бир А. А.* Использование мультиагентных гибридных экспертных систем для оценки деятельности управляющих компаний ЖКХ // *Ползуновский альманах*. 2014. № 1. С. 130–134.
8. *Соловьев В. И.* Применение коборг-технологии для построения сетевидной системы управления энерго-технологическим комплексом // *Автоматизация и ИТ в энергетике*. 2019. № 2(115). С. 14–20.
9. *Юматов А. С.* Управление жилищно-коммунальными услугами в условиях цифровой экономики // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2018. № 7. С. 65–70.
10. *Нечаев А. С., Никитюк Л. Г.* Создание модели инвестиционно-инновационного механизма управления в сфере жилищно-коммунального хозяйства // *Налоги и налогообложение*. 2011. № 12. С. 26–31.
11. *Зимовец А. В., Макареня Т. А.* Модель развития сферы ЖКХ в контексте развития энергоэффективных технологий // *Региональная экономика: теория и практика*. 2018. Т. 16. № 11(458). С. 2121–2134.
12. *Булкина Я. С.* Модели выбора форм управления в сфере ЖКХ на основе теории нечетких множеств // *Инициативы XXI века*. 2012. № 4. С. 125–127.
13. *Бурланков С. П.* Модель оптимизации системы управления конкурентоустойчивостью жилищно-коммунальных хозяйств // *Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова*. 2017. № 5 (95). С. 96–101.
14. *Вишнева Е. В.* Примеры математической модели управляющей компании // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2015. № 10. С. 98–108.
15. *Клачек П. М., Корягин С. И., Дворниченко Р. И. и др.* Интеллектуальная производственная система как инструмент инновационного развития ЖКХ России // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2013. № 1(23). С. 84–92.
16. *Полупан К. С., Бабкин А. В., Клачек П. М. и др.* Создание цифровых центров ситуационного управления в сфере жилищно-коммунального хозяйства // *Цифровая экономика и Индустрия 4.0: тенденции 2025: сборник трудов научно-практической конференции с международным участием*. Санкт-Петербург, 3–5 апреля 2019 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2019. С. 190–197.

17. Хохловский В. Н., Олейников В. С., Курочкина В. С. и др. Применение цифровых двойников в автоматизированных системах управления технологическими объектами с использованием теории ограничения систем // *Modern Science*. 2020. № 11–1. С. 422–427.

18. Ларин С. Н., Стебеньева Т. В., Юрятина Н. Н. Моделирование условий вероятностной неопределенности при симметричных и несимметричных распределениях для принятия решений экономическими субъектами сферы ЖКХ // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2019. № 1–1. С. 96–100.

19. Ларин С. Н., Малков У. Х. Повышение эффективности деятельности экономических субъектов сферы ЖКХ на основе ее структурирования и динамического моделирования неравновесных состояний функциональных подсистем // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2019. Т. 9. № 1–1. С. 678–687.

REFERENCES

1. Egorova N.E., Mitrofanova I.N., Koroleva N.V. et al. Simulation model of the housing and communal services enterprise as a tool for analyzing the tariff-price mechanism. *Audit i finansovyy analiz* [Audit and financial analysis]. 2007. No. 6. Pp. 160–199. (In Russian)

2. Buchenkov O.V., Zhashkova T.V., Kolobova E.A. Model of information processes for monitoring and accounting for energy consumption in the housing and communal services sector. *Sovremennye informacionnye tehnologii* [Modern information technologies]. 2020. No. 32(32). Pp. 21–26. (In Russian)

3. Kollarzh V.V. Analysis of the balance of activity of a housing and communal services enterprise based on the theory of entropy and the theory of system constraints. *Jekonomicheskij vektor* [Economic vector]. 2016. No. 2(5). Pp. 66–73. (In Russian)

4. Popov A.A. *Transformacija sistemy upravlenija zhilishhno-kommunal'nym hozjajstvom v uslovijah cifrovizacii* [Transformation of the housing and communal services management system in the context of digitalization]. Moscow: RuScience, 2021. 188 p. (In Russian)

5. Shibaeva M.A., Okolelova Je.Ju., Larina E.M. Reforming the Housing and Communal Services Based on the Modeling of Engineering Systems. *Social'no-jekonomicheskoe razvitie Rossii: problemy, tendencii, perspektivy* [Socio-economic development of Russia: problems, trends, prospects]: *sbornik nauchnyh statej 19-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Vol. 1. Kursk, 2020*. Moscow: Finansovyj universitet pri Pravitel'stve RF, 2020. Pp. 324–329. (In Russian)

6. Gafarova E.A., Zelenova E.V. Agent-based model for assessing the consequences of management decisions in the housing and communal sector (on the example of the city of Sterlitamak). *Gosudarstvennoe upravlenie. Jelektronnyj vestnik* [State management. Electronic herald]. 2011. No. 29. Pp. 6. (In Russian)

7. Pjatkovskij O.I., Bir A.A. Using multi-agent hybrid expert systems to evaluate the activities of housing and communal services management companies. *Polzunovskij al'manah* [Polzunovskii almanac]. 2014. No. 1. Pp. 130–134. (In Russian)

8. Solovev V.I. Application of coborg technology to build a network-centric control system for an energy-technological complex. *Avtomatizacija i IT v jenergetike* [Automation and IT in the energy sector]. 2019. No. 2(115). Pp. 14–20.

9. Jumatov A.S. Management of housing and communal services in the digital economy. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovations. Investments]. 2018. No. 7. Pp. 65–70. (In Russian)
10. Nechaev A.S., Nikitjuk L.G. Creation of a model of investment and innovation management mechanism in the field of housing and communal services. *Nalogi i nalogooblozhenie* [Taxes and taxation]. 2011. No. 12. Pp. 26–31. (In Russian)
11. Zimovec A.V., Makarenja T.A. The development model of the housing and communal services sector in the context of the development of energy efficient technologies. *Regional'naja jekonomika: teorija i praktika* [Regional Economics: Theory and Practice]. 2018. Vol. 16. No. 11(458). Pp. 2121–2134. (In Russian)
12. Bulkina Ja.S. Models for choosing forms of management in the housing and communal services sector based on the theory of fuzzy sets. *Inicijativy XXI veka* [XXIst century initiatives]. 2012. No 4. Pp. 125–127. (In Russian)
13. Burlankov S. P. Model of optimization of the management system of competitiveness of housing and communal services. *Vestnik Rossijskogo jekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plehanova* [Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics]. 2017. No. 5(95). C. 96–101. (In Russian)
14. Vishneva E.V. Examples of the mathematical model of the management company. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta* [Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant]. 2015. No. 10. Pp. 98–108. (In Russian)
15. Klachek P.M., Korjagin S.I., Dvornichenko R.I. et al. Intelligent production system as a tool for innovative development of housing and communal services in Russia. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of the service]. 2013. No. 1(23). Pp. 84–92. (In Russian)
16. Polupan K.S., Babkin A.V., Klachek P.M. et al. Creation of digital centers for situational management in the field of housing and communal services. *Cifrovaja jekonomika i Industrija 4.0: tendencii 2025* [Digital Economy and Industry 4.0: Trends 2025]: *sbornik trudov nauchno-prakticheskij konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Sankt-Peterburg, 2019*. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskij politehnicheskij universitet Petra Velikogo, 2019. Pp. 190–197. (In Russian)
17. Hohlovskij V.N., Olejnikov V.S., Kurochkina V.S., Burjachek I.Ju., Peresvet V.A. The use of digital twins in automated control systems for technological objects using the theory of system constraints. *Modern Science* [Modern Science]. 2020. No. 11–1. Pp. 422–427. (In Russian)
18. Larin S.N., Stebenjaeva T.V., Jurjatina N.N. Modeling the conditions of probabilistic uncertainty with symmetric and asymmetric distributions for decision-making by economic entities in the housing and communal services sector. *Vestnik Altajskoj akademii jekonomiki i prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. 2019. No. 1–1. Pp. 96–100. (In Russian)
19. Larin S.N., Malkov U.H. Improving the efficiency of economic entities in the housing and communal services sector based on its structuring and dynamic modeling of non-equilibrium states of functional subsystems. *Jekonomika: vchera, segodnja, zavtra* [Economics: yesterday, today, tomorrow]. 2019. Vol. 9. No. 1–1. Pp. 678–687. (In Russian)

Информация об авторах

Попов Алексей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова;

117997, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Popov.aa@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0692-3629>

Трамова Азиза Мухамадияевна, д-р экон. наук, профессор, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова;

117997, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Tramova.am@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4089-6580>

Information about the authors

Popov Aleksey Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Plekhanov Russian University of Economics;

117997, Russian, Moscow, 36, Stremyanny lane;

Popov.aa@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0692-3629>

Tramova Aziza Mukhamadiyevna, Doctor of Economics, Professor, Plekhanov Russian University of Economics;

117997, Russian, Moscow, 36, Stremyanny lane;

Tramova.am@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4089-6580>

УДК 339.986

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-110-120

EDN: VNQYAA

Научная статья

Цифровизация российской экономики образования под влиянием санкций

С. В. Тищенко

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1

Аннотация. Целью данной работы являются анализ и оценка возможностей цифровизации экономики образования в условиях санкционного воздействия. Для достижения поставленных целей определены задачи: выделить направления воздействия на экономику образования; проанализировать перспективы цифровизации экономики образования, определить место цифровизации в комплексе мер по нивелированию санкций. Теоретической базой исследования стали работы российских и иностранных ученых. Информационной базой являются нормативно-правовые акты России, интернет-источники, научные публикации по теме. В работе использованы общенаучные методы: анализ и синтез, сравнение, обобщение, экономический анализ. В ходе работы выявлено, что экономика образования обладает специфическими характеристиками: формирование рыночной компоненты только в 90-х годах прошлого столетия, несогласованность между рынком труда и образовательными организациями, традиционная инертность отрасли, прикладной характер экономики. Исследование определило, что экономические санкции оказали влияние на следующие направления экономики образования: развитие научно-педагогической школы, материально-техническую базу, информационные ресурсы, IT-продукты и решения. Цифровизация экономики образования является одной из системных мер, позволяющих нейтрализовать санкционное воздействие на отрасль. Основные направления: предоставление образовательных услуг с использованием дистанционных технологий, цифровизация образовательного пространства, формирование компетенций в области цифровой экономики образования, цифровизация систем управления и обеспечения деятельности и системы проверки знаний, персонализация образования, создание новых специальностей, специализаций и компетенций.

Ключевые слова: экономика образования, цифровизация экономики образования, санкционное воздействие

Поступила 28.07.2023, одобрена после рецензирования 01.08.2023, принята к публикации 07.08.2023

Для цитирования. Тищенко С. В. Цифровизация российской экономики образования под влиянием санкций // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 110–120. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-110-120

JEL: F51

Original article

Digitalization of the Russian education economy under the influence of sanctions

S.V. Tishchenko

Lomonosov Moscow State University
119991, Russian, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory

Abstract. The purpose of this work is to analyze and evaluate the possibilities of digitalization of the education economy in the context of sanctions. In order to achieve these goals, the tasks are defined: to identify areas of impact on the education economy; to analyze the prospects for digitalization of the education economy, to determine the place of digitalization in the package of measures to level sanctions. The theoretical basis of the study was works of Russian and foreign scientists. The information base is the Russian normative legal acts, Internet sources, scientific publications on the topic. General scientific methods used in the work are: analysis and synthesis, comparison, generalization; economic analysis. In the course of the work, it was revealed that the education economy has specific characteristics: the formation of a market component only in the 90s of the last century, inconsistency between the labor market and educational organizations, the traditional inertia of the industry, the applied nature of the economy. The study found that economic sanctions had an impact on the following areas of the education economy: the development of a scientific and pedagogical school, the material and technical base, information resources, IT products and solutions. Digitalization of the education economy is one of the systemic measures to neutralize the sanctions impact on the industry. Main directions: access to educational services using distance technologies, digitalization of the educational space, formation of competencies in the field of digital education economy, digitalization of management and support systems and knowledge verification systems, personalization of education, creation of new specialties, specializations and competencies.

Keywords: education economy, digitalization of the education economy, sanctions impact

Submitted 28.07.2023,

approved after reviewing 01.08.2023,

accepted for publication 07.08.2023

For citation. Tishchenko S.V. Digitalization of the Russian education economy under the influence of sanctions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2023. No. 4(114). Pp. 110–120. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-110-120

ВВЕДЕНИЕ

В современных экономических условиях существует несколько факторов, которые делают текущую экономическую ситуацию нестабильной. Во-первых, произошла глобализация экономики, крупнейшие корпорации имеют свои экономические интересы в каждой стране мира. Во-вторых, усиливается процесс политического давления на бизнес, что является в современных условиях обратной стороной лоббирования интересов бизнеса в политике. В-третьих, большая часть мировых экономик придерживаются принципов, основанных на одинаковых капиталистических постулатах. В-четвертых, велика взаимозависимость финансовых институтов разных стран, взаимопроникновение финансового и банковского капитала. В-пятых, экономика находится в напряжении в связи с кризисами 2008-2009 гг., отрицательным влиянием пандемии COVID-19 на основные параметры развития мировых процессов. В-шестых, развивается кризис энергетической сферы, где одновременно идет уменьшение легкодоступных энергетических ресурсов в мире, давление приверженцев «зеленой» энергии на институты, использующие традиционные источники энергии, невозможность одномоментной замены «грязных» источников энергии на «зеленые». В-седьмых, происходит перераспределение экономических мощностей среди крупнейших мировых игроков, на ключевые роли в мировой экономике выходят страны (Китай, Индия), которые стали сильными игроками в финансовой сфере; Российская Федерация, утратившая позиции в начале 90-х годов XX века, теперь имеет амбиции, в том числе и в экономике. На этом фоне введение каких-либо санкций может оказаться тем самым последним толчком, который выведет мировую экономическую систему из состояния неустойчивого равновесия и приведет к неуправляемой лавине крахов. С такой же

вероятностью экономические санкции могут привести к трансформации экономики, в частности российской, в какое-то новое качество, когда будет снижена зависимость финансовых институтов от внешних факторов и найдены новые пути развития. Одним из путей может стать цифровизация некоторых сфер экономической деятельности. Экономика образования выбрана для исследования как раздел общей экономики, который в наибольшей степени регулируется государством, а следовательно, подвержен воздействию экономических санкций. Эта сфера сейчас переживает переходный период, связанный с внедрением цифровых технологий. Актуальность данной работы обусловлена тем, что в настоящий момент происходит введение новых санкций и контрсанкций, которые влияют непосредственно на экономику образования. Одним из инструментов решения возникающих проблем может стать цифровизация ее отдельных элементов.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы являются анализ и оценка возможностей цифровизации экономики образования в условиях санкционного воздействия.

Для достижения поставленных целей определены следующие задачи:

- выделить основные сферы санкционного воздействия на экономику образования;
- проанализировать перспективы цифровизации экономики образования, определить место цифровизации в комплексе мер по нивелированию санкционного воздействия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является влияние экономических санкций против Российской Федерации 2014–2022 гг. и ответных экономических мер на состояние российской экономики. Предмет исследования – возможности цифровизации экономики образования. Теоретической базой исследования стали работы ведущих российских и иностранных ученых. Информационной базой являются нормативно-правовые акты России, США и других стран, интернет-источники, научные публикации по теме. В работе использованы общенаучные методы: анализ и синтез, сравнение, обобщение, экономический анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Влияние санкций на экономику образования России

Для рассмотрения мы взяли отрасль, обладающую специфическими экономическими характеристиками, это экономика образования. Она претерпевает в настоящее время существенные изменения, связанные с неоиндустриальным развитием экономики XXI в. Кроме того, экономика образования как отрасль народного хозяйства стала формироваться в нашей стране только в 90-е годы прошлого века, когда возникла необходимость решения ресурсного обеспечения системы образования в условиях рыночной экономики и появилась возможность привлечения для финансирования развития отрасли частных средств, а также обострилась потребность в согласованных действиях между рынком труда и образовательными организациями, готовящими специалистов. С одной стороны, экономические процессы реформирования системы образования еще не завершены, что позволяет наименее безболезненно встроить процессы цифровизации в экономику образования, но одновременно с этим в силу исторической традиции образование – наиболее инертная область общественной жизни, где нововведения встречают значительное сопротивление

как в среде профессионалов, так и в обществе в целом. С точки зрения экономической науки экономика образования занимает прикладное место в иерархии экономических знаний. Основой является изучение аспектов различных образовательных услуг, процессов, связанных с их производством и потреблением, изучение влияния экономических показателей на развитие экономики образования на различных уровнях, предполагающее непрерывное и обоснованное воспроизводство человеческого капитала для нужд всех отраслей экономики, воспроизводство квалифицированных кадров и обученных специалистов для всех экономических отраслей. На рис. 1 показана связь различных экономических процессов в экономике образования и уровней экономических отношений. Таким образом, наглядно видно, что экономика образования встроена в общую мировую экономическую систему на различных ее уровнях, а следовательно, подвержена влиянию на нее всех экономических факторов, в том числе экономических санкций других стран и общемировой тенденции к цифровизации.



Рис. 1. Связь экономических процессов в экономике образования и уровней экономических отношений¹

Fig. 1. Connection of economic processes in the education economy and levels of economic relations

Выделим несколько направлений действия экономических санкций на экономику образования.

Развитие научно-педагогической школы. Для полноценного развития научно-педагогической школы, которая является базой для успешного функционирования экономики образования, необходимо постоянное взаимодействие различных ее субъектов, обмен профессиональными идеями, педагогическими новациями, научными достижениями. Причем это взаимодействие должно быть организовано как по вертикали (детский сад – школа – колледж – вуз), так и по горизонтали (обмен между субъектами одного уровня, например, межвузовский обмен). Соответственно, в условиях санкций, когда многие зарубежные образовательные институты выходят из программ международного сотрудничества с

¹ Составлен автором

Россией, уменьшается взаимодействие при международном сотрудничестве в горизонтальной плоскости, так как вертикальное взаимодействие обычно происходило в рамках страны, не выходя на международный уровень. Образовательные проекты с Россией прекратили Германия, Финляндия, Украина, Норвегия, Великобритания, Европейский Союз. Приостановлено финансирование различных образовательных проектов и грантов. Также под санкции попали научные и образовательные учреждения: Объединенный институт ядерных исследований, Международный центр научной и технической информации, Российский научный фонд и другие. России приостановили членство или исключили из следующих международных образовательных сообществ: Европейского пространства высшего образования (Болонский процесс), Всеевропейской федерации академий наук All European Academies (ALLEA), Ассоциации университетов Европы (некоторые вузы), Европейской ассоциации гарантии качества в высшем образовании (ENQA). IELTS и TOEFL отменили экзамены на территории России. Сворачиваются многие программы обмена студентами, программы выплат стипендий для обучения российских студентов за рубежом. Может сократиться приток в Россию иностранных студентов, что повлияет на экономику конкретного вуза.

Материально-техническая база. Подготовка специалистов в профессиональных образовательных организациях – это высокочатратный и трудоемкий процесс. Для качественного освоения профессиональных образовательных программ, особенно в технологических отраслях, требуется не только соответствующее учебное оборудование, но и доступ к объектам реальной экономической инфраструктуры для получения практического опыта по освоению различных образовательных дисциплин и разделов. Введенные санкции напрямую затронули данную сферу экономики образования. Рядом стран был введен запрет на поставку товаров и технологий, в том числе запрет касается оборонной промышленности, авиации и космической индустрии. Также санкции затронули товары, оборудования и технологии для нефтепереработки, микроэлектронику, морское и навигационное оборудование. Соответственно, в долгосрочной перспективе образовательным организациям необходимо будет перестроить свою деятельность с учетом новых технологических реалий и возможностей материально-технической базы, доступной для развития на текущий момент. Много будет зависеть от развития собственных российских технологий и внедрения их в производственные процессы тех отраслей промышленности, которые подверглись санкционным нагрузкам в большем масштабе.

Информационные ресурсы. В постиндустриальном обществе доступ к информационным ресурсам является важной компонентой экономики. Особенно информационные ресурсы значимы для образовательной отрасли. Речь идет о научной и учебной литературе, издательствах, библиотеках. В сфере высшего образования российское научное сообщество ориентировалось на зарубежные рейтинги вузов, где российские университеты старались занять достойное место с целью привлечения инвестиций, участия в грантах и совместных зарубежных проектах, привлечения иностранных студентов, которые ориентировались на мировые рейтинги [1]. В системе оценивания деятельности вузов и российских ученых использовались европейская база Web of Science и американская база Scopus, это позволяло оценить вклад российского ученого в мировую науку, определить уровень влияния российской науки [2]. Свообразным информационным ресурсом можно было считать и участие

России в различных оценочных процедурах в сфере образования. Это, например, Международная программа по оценке образовательных достижений учащихся (Programme for International Student Assessment, PISA), Международное исследование качества чтения и понимания текста (Progress in International Reading Literacy Study, PIRLS), Международное мониторинговое исследование качества школьного математического и естественнонаучного образования (Trends in Mathematics and Science Study, TIMSS), соревнования по стандартам профессиональной подготовки (WorldSkills International) и другие [3]. Исключение или ограничение прав России в участии в этих информационных мероприятиях может привести к снижению качества образования, так как такие рейтинги и системы независимой оценки помогали непредвзято оценить успехи и достижения образования нашей страны, выявить недостатки.

IT-продукты и решения. Для экономики образования программное обеспечение является одновременно и инструментом разработки прикладных решений, и объектом профессионального изучения. В вопросе цифровизации экономики образования роль программного обеспечения трудно переоценить. Санкции в этой сфере тоже достаточно существенны. В сфере глобальной информационно-коммуникационной сети Интернет в Российской Федерации принят закон, вступивший в силу с 1 ноября 2019 года, который часто называют законом о суверенном Интернете. Он необходим, чтобы обеспечить технологические меры по защите от последствий при возможном отключении России от системы распределения доменных имен и IP-адресов, принадлежащей американской Корпорации по управлению доменными именами и IP-адресами (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, ICANN). Следующим объектом, который подвергается санкционному воздействию, являются социальные сети. За последние несколько лет социальные сети стали полноправным участником образовательного процесса. В совокупности с инструментами видеоконференцсвязи социальные сети являются не только коммуникационным каналом между участниками образовательного процесса, но и методическим инструментом для размещения и использования образовательного контента. Запрещение деятельности на территории России социальных сетей фирмы Мета (Facebook, Twitter, Instagram), блокирование некоторых российских Youtube-каналов, которое может повлечь за собой блокировку сервиса на территории России, способно привести к утрате образовательных платформ, рекламных площадок и каналов продвижения образовательной продукции. Здесь значительный урон понесут проекты, которые занимались продвижением своих образовательных услуг на данных площадках. Но наиболее значимую проблему для экономики образования представляет собой уход с российского рынка крупных производителей компьютерной техники и программного обеспечения, таких как Microsoft, Apple, IBM, Intel, Cisco, AutoDesk и другие. Компьютерную технику и программное обеспечение, возможно, частично заменят производители стран, которые не принимают участия в санкциях против нашей страны, например, китайские компании Huawei, ZTE и Xiaomi. В области программного обеспечения мы можем компенсировать потребности образования свободным программным обеспечением, частично собственными разработками, в крайнем случае предлагается исключение из области действия патентного права, авторских и смежных прав тех компаний, которые ушли из России. Фактически в условиях, когда западными странами незаконно заморожены и конфискуются

российские финансовые и материальные активы, этичность таких мер не вызывает сомнения. Минцифры России 6 апреля 2022 года разослало письмо, содержащее рекомендации для государственных органов по замене облачных решений и программного обеспечения иностранных корпораций на аналогичные решения российских производителей. Была проведена классификация программного обеспечения и предложены альтернативные решения по каждому классу используемых программ тех фирм, деятельность которых запрещена на территории России или ограничена, а также деятельность которых может повлечь массовую утечку персональных данных пользователей. Эти рекомендации также можно применить для коммерческих организаций, при домашнем использовании. Отечественные образовательные ресурсы, которые рекомендует Минцифры, имеют наиболее широкий список². Общий вывод по санкциям, затронувшим сферу образования в Российской Федерации, можно сделать такой: частично экономический эффект будет нивелирован за счет активизации внутренних резервов России – технологических, финансового капитала и человеческого капитала, частично ущерб будет компенсирован привлечением других рынков заимствований и изменением рынков сбыта (переориентация рынка образовательных услуг на Азию, Африку, Латинскую Америку), потребуются некоторое время, и успех будет зависеть от общего состояния российской экономики и от того, как она в целом справится с санкционным давлением.

2. Цифровизация экономики образования России

Направления действия санкций, которые оказывают существенное влияние на экономику образования, описанные выше, могут быть также сглажены путем цифровизации, полной или частичной, некоторых разделов. Рассмотрим направления цифровизации экономики образования, акцентируя внимание на развитии каждого направления в условиях санкций.

Предоставление образовательных услуг с использованием дистанционных технологий. Онлайн-образование получило толчок к развитию не только в России, но и во всем мире, в условиях ограничений пандемии COVID-19. Выделяют корреспондентское обучение, связанное с отправкой материалов по цифровым каналам связи; автоматизированное обучение онлайн, содержащее мультимедийные материалы, тесты и прочее; дистанционное обучение в рамках традиционного; смешанное обучение, использование цифровых коммуникационных каналов и традиционных с использованием цифровых инструментов. По оценке экономистов, объем рынка дистанционного образования в 2021 году в России увеличился вдвое и составил 53,4 миллиарда рублей [4]. Основные плюсы дистанционных технологий: уменьшение логистических затрат, транспортных расходов, расходов на коммунальные платежи, расходов на арендную плату, расходов на создание и обслуживание рабочего места, легкая масштабируемость образовательного проекта, рабочие места не привязаны к географии работника и работодателя, возможность использовать наиболее квалифицированные преподавательские кадры и, следовательно, получить наиболее качественную образовательную услугу, что приведет к существенному ро-

² Перечень рекомендованного российского ПО и сервисов для замены иностранного ПО и облачных решений [Электронный ресурс] / URL: https://d-russia.ru/wp-content/uploads/2022/04/recomendovannyye_analogi.pdf. (дата обращения: 25.04.22).

сту квалифицированных кадров и повышению их востребованности на рынке труда. Недостатки дистанционных технологий с экономической точки зрения следующие: возможное уклонение от налогов, необходимость вложения средств в коммуникационное и компьютерное оборудование, недоступность коммуникационных сетей в некоторых районах проживания участников образовательного процесса, необходимость обучения и переобучения преподавателей, что требует времени и финансирования, невозможность перевода изучения некоторых дисциплин исключительно в онлайн-формат.

Цифровизация образовательного пространства. Речь идет о внедрении цифровизации в традиционную систему обучения. Использование современных мультимедийных технологий предполагает замену традиционных инструментов преподавания, таких как мел, доска, учебник, тетрадь, на объекты цифровой культуры: мультимедийные проекторы, интерактивные доски, системы онлайн-тестирования, электронные образовательные ресурсы, электронные учебники и библиотеки. Соответственно для развития этого направления требуются значительные финансовые вложения, для чего правительством Российской Федерации реализуются различные образовательные проекты, например, федеральный проект «Цифровая образовательная среда» [5]. Основные плюсы цифровизации образовательного пространства: создается комфортная среда, созвучная современным технологическим требованиям; развиваются компетенции, связанные с применением информационно-коммуникационных технологий; за счет использования цифровых технологий сокращается рутинная работа, соответственно растет производительность труда учителей, профессорско-преподавательского состава; сокращается время, которое требуется для овладения определенными компетенциями; доступ к электронным образовательным ресурсам; безбумажные технологии позволяют сократить потребление бумаги, сэкономить древесину и положительно влияют на экологию планеты [6]. Недостатки: превращение цифровизации из инструмента в цель; необходимость финансовых вложений в улучшение материально-технической базы и обучение сотрудников образовательных учреждений и преподавателей.

Формирование компетенций в области цифровой экономики образования. Человеческий капитал в этой области является определяющим. Для полноценного использования преимуществ цифровизации экономики образования необходимо обучение и переобучение кадров подходящей квалификации. Одним из факторов, оказывающих негативное воздействие в данном направлении, является нежелание изучения новых технологий, моральное неприятие внедрения цифровых технологий в учебный процесс. Как показывают исследования возрастного состава преподавателей вузов, последнее десятилетие характеризуется ростом доли лиц 60 лет и старше (в 2014 году их доля превысила 25 % от общего числа преподавателей) [7]. Зачастую представители именно этой возрастной группы являются активными противниками внедрения цифровых технологий. Для решения этой проблемы необходимо вести просветительскую и разъяснительную работу, приводить аргументы за внедрение цифровизации в образовании.

Цифровизация систем управления и обеспечения деятельности. Различные системы, позволяющие предоставлять услуги в электронном виде, нужны образованию. Они сокращают время, которое пользователь будет тратить на рутинные операции, использование таких инструментов позволяет улучшить учет, автоматизировать сбор информации

и отчетов, упорядочить системы бухгалтерского, управленческого и кадрового учета. Для рядового потребителя услуги начинается все с подачи документов на зачисление в образовательную организацию (детский сад, школу, колледж, вуз), затем в информационно-аналитических системах организации ведется учет учебной деятельности обучающегося, предоставляются обязательные электронные услуги по информированию об успеваемости обучающегося, идет создание электронного портфолио достижений, ведется финансовый учет и прочее.

Цифровизация системы проверки знаний. Автоматизированная проверка знаний позволяет преподавателям сократить время механической работы, дает объективную оценку знаний и умений, не связанную с личностным отношением. Возможность онлайн-трансляций во время проведения аттестационных мероприятий (ОГЭ, ЕГЭ, демонстрационные экзамены) позволяет ликвидировать коррупцию в образовании и дает соответствующую требованиям времени информационную открытость образовательной деятельности.

Персонализация образования. Цифровизация экономики образования позволяет перейти от системы коллективного обучения в рамках учебной аудитории к системе персонализированного образования в рамках персонального обучения или виртуальных классов. Экономический эффект персонализации еще необходимо изучить, положительным моментом является то, что благодаря целевому воздействию на обучение тратится меньше времени, а значит, и средств, и есть возможность удовлетворения «экзотических», уникальных запросов по подготовке редких специалистов благодаря доступности цифровых технологий.

Новые специальности, специализации и компетенции. Ускорился процесс «обновления» перечня специальностей. Развитие цифровых технологий, появление новых специальностей и отмирание старых приводят к тому, что экономика образования должна стать более гибкой и мобильной. Увеличиваются количество и востребованность «коротких» курсов переобучения и переподготовки, так как экономика срочно нуждается в специалистах, подготовить которых не могут по традиционным программам среднего и высшего профессионального образования. Современному человеку приходится переучиваться несколько раз в жизни, тогда как раньше большинство получало одну профессию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из анализа санкционного воздействия, которому подверглась экономика образовательной отрасли, опираясь на опыт преодоления влияния санкций, введенных с 2014 года, делаем выводы:

1. Исторически сложилось, что экономика образования большей частью является производной от базовой экономики страны, ее состояние сильно зависит от показателей экономики в целом. Экономические санкции западных стран, применяемые в качестве инструмента давления на международную и внутреннюю политику России, затрагивают экономику образования косвенно, опосредованно, через те области «большой» экономики, которые подвергаются санкционному воздействию. Именно поэтому успешность преодоления последствий санкций в экономике образования будет зависеть от того, как справятся различные сектора экономики: финансовый и банковский, промышленно-производственный и прочие.

2. Сфера образования в основном страдает от политики «культуры отмены», чем от законных санкций. В большей части подвергаются воздействию и разрываются негосударственные и неформальные связи между образовательными субъектами. Цифровизация экономики образования является одним из инструментов, позволяющих в какой-то степени нивелировать санкционные последствия, но это не панацея и не единственное решение проблемы. Цифровизация образования подчиняется логике развития постиндустриального общества, ее ускорение начиная с 2020 года во многом связано ограничениями в связи с пандемией COVID-19, но, по сути, это системное явление и долговременный тренд развития экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широкова Я. С. Международный рейтинг вузов как инструмент влияния на глобальные процессы в высшем образовании // Вестник МИРБИС. 2019. № 2(18). С. 160–165. DOI: 10.25634/MIRBIS.2019.2.21.
2. Мохначева Ю. В. Динамика развития российского сегмента научных публикаций (по данным Web of Science Core Collection и Scopus) // Научные и технические библиотеки. 2021. № 6. С. 15–28. DOI: 10.33186/1027-3689-2021-6-15-28.
3. Буюров Д. В. Государственная политика в сфере образования и повышение его конкурентоспособности в мире: цели и перспективы // Управление образованием: теория и практика. 2022. № 4(50). С. 148–157. DOI: 10.25726/f0232-6779-3513-0.
4. Сулейманкадиева А. Э., Петров М. А., Александров И. Н. Цифровая образовательная экосистема: генезис и перспективы развития онлайн-образования // Вопросы инновационной экономики. 2021. Т. 11. № 3. С. 1273–1288. DOI: 10.18334/vinec.11.3.113470.
5. Федеральный проект «Цифровая образовательная среда» [Электронный ресурс] / URL: <https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/> (дата обращения: 25.04.22).
6. Шацкая И. В., Архипов А. И. Цифровизация экономики и новейшие тенденции в системе образования // Горизонты экономики. 2019. № 2(48). С. 53–57.
7. Пугач В. Ф. Возраст преподавателей в российских вузах: в чем проблема? // Высшее образование в России. 2017. № 1. С. 47–55.

REFERENCES

1. Shirokova Ya. S. International ranking of universities as a tool to influence global processes in higher education. *Vestnik MIRBIS*. 2019. No. 2(18). Pp. 160–165. DOI: 10.25634/MIRBIS.2019.2.21. (In Russian)
2. Mohnacheva Yu. V. Dynamics of the Russian segment of science publications (based on Web of Science Core Collection and Scopus data). *Scientific and technical libraries*. 2021. No. 6. Pp. 15–28. DOI: 10.33186/1027-3689-2021-6-15-28. (In Russian)
3. Buyarov D. V. State policy in the field of education and increasing its competitiveness in the world: goals and prospects. *Management of education: theory and practice*. 2022. No. 4(50). Pp. 148–157. DOI: 10.25726/f0232-6779-3513-0. (In Russian)
4. Sulejmankadiyeva A.E., Petrov M.A., Aleksandrov I.N. Digital educational ecosystem: the genesis and prospects for the development of online education. *Russian journal of innovation economics*. 2021. Vol. 11. No. 3. Pp. 1273–1288. DOI: 10.18334/vinec.11.3.113470. (In Russian)

5. *Federal'nyj proekt «Cifrovaya obrazovatel'naya sreda»* [Elektronnyj resurs] / URL: <https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/> (data obrashcheniya: 25.04.22). (In Russian)

6. *Shatskaya I.V., Arkhipov A.I.* Digitalization of the economy and the latest trends in the education system. *Horizonts of economics*. 2019. No. 2(48). Pp. 53–57. (In Russian)

7. *Pugach V.F.* The age of teachers in Russian universities: what is the problem? *Higher education in Russia*. 2017. No. 1. Pp. 47–55. (In Russian)

Информация об авторе

Тищенко Софья Владимировна, студент, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова;

119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1;

31ssofikoo@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2456-2645>;

Information about the author

Tishchenko Sofya Vladimirovna, graduate student, Lomonosov Moscow State University;

119991, Russian, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory

31ssofikoo@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2456-2645>;

УДК 902/904

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-121-131

EDN: ZEJSTI

Научная статья

Петроглифы Хагондоково

Ж. В. Кагазежев

Научно-инновационный центр
«Естественно-научные методы в археологии, антропологии и археографии»
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360002, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Исследование посвящено открытию и введению в научный оборот наскальных изображений, найденных в апреле 2023 г. и получивших название «петроглифы Хагондоково». Уникальные по богатству изображений наскальные надписи Хагондоково расположены в двух исторических местах недалеко друг от друга. Для удобства обозначения наскальных надписей они названы Хагондоково I и Хагондоково II. Петроглифы представляют собой вырезанные и нанесенные темно-красной охрой на скальных породах знаки различной геометрической формы. Исследование петроглифов Хагондоково является новой страницей в историографии по изучению древнейшего наскального искусства. Оно позволяет сделать выводы о распространении и внешних связях доисторических символов на территории Северного Кавказа. Указанные факты обуславливают актуальность настоящей темы исследования. Находки подобных петроглифов в средневековых городищах говорят о длительном их использовании местным населением. Вполне вероятно, что они со временем трансформировались в систему фамильных знаков кавказских народов. Исследование наскальных изображений Хагондоково позволяет сделать вывод об их схожести с другими петроглифами, нанесенными на скалах, камнях и мегалитах Северного Кавказа, Крыма и бассейна Средиземноморья. Данный аспект требует более детального исследования в будущем. Целью настоящей статьи является внедрение в научный оборот недавно открытых петроглифов Хагондоково, которые по богатству изображений носят достаточно ценный характер для изучения истории и археологии Северного Кавказа.

Ключевые слова: Хагондоково, петроглифы, вырезы, темно-красная охра, зооморфные фигуры, аналогии петроглифов, древнейшая культура, распространение

Поступила 31.07.2023, одобрена после рецензирования 07.08.2023, принята к публикации 10.08.2023

Для цитирования. Кагазежев Ж. В. Петроглифы Хагондоково // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 121–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-121-131

Original article

Petroglyphs of Khagondokovo

Zh.V. Kagazezhev

Scientific-Innovation Center
"Natural Scientific Methods in Archaeology, Anthropology, and Archaeography"
Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Abstract. The research is devoted to the discovery and introduction into the scientific use of rock carvings found in April 2023 and named – Khagondokovo petroglyphs. Unique in the richness of images, the rock inscriptions of Khagondokovo are located in two historical places, not far from each other. For the convenience of labeling the rock inscriptions, they were named Khagondokovo I and Khagondokovo II. The petroglyphs are signs of various geometric shapes carved and painted with dark red ochre on the rock. The study of Khagondokovo petroglyphs is a new stage in the historiography to study the most ancient rock art. It allows to draw conclusions about the distribution and external relations of prehistoric symbols in the North Caucasus. These facts determine the relevance of the present research. Finds of such petroglyphs in medieval settlements indicate their long-term use by the local population. It is quite likely that they were transformed over time into a system of family signs of Caucasians. The study of Khagondokovo rock carvings allows us to conclude that they are similar to other petroglyphs on rocks, stones and megaliths of the North Caucasus, Crimea and the Mediterranean basin. This aspect requires more detailed research in the future. The purpose of this article is to introduce into scientific use the recently discovered petroglyphs of Khagondokovo which, according to the richness of images, are quite valuable for the study of the history and archeology of the North Caucasus.

Keywords: Khagondokovo, petroglyphs, carvings, dark red ochre, zoomorphic figures, analogies of petroglyphs, ancient culture, distribution

Submitted 31.07.2023,

approved after reviewing 07.08.2023,

accepted for publication 10.08.2023

For citation. Kagazezhev Zh.V. Petroglyphs of Khagondokovo. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 121–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-121-131

В апреле 2023 г. состоялась научная экспедиция сотрудников Научно-исследовательского центра «Естественно-научные методы в археологии, антропологии и археографии» (НИЦ ЕМААА) КБНЦ РАН в окраины с. Али-Бердуковский, где, по сведениям местного жителя – краеведа Оли Джааудовича Жужуева (31.10.1988 г.р.), имелись наскальные надписи. В экспедиции приняли участие научный сотрудник лаборатории «Цифровая археология» Т. Р. Загазежев, житель с. Али-Бердуковский О. Д. Жужуев, житель с. Кош-Хабль А. Р. Карданов. Руководство осуществлял заведующий НИЦ ЕМААА КБНЦ РАН Ж. В. Кагазежев. В ходе экспедиции на расстоянии 1 км восточнее северной окраины с. Али-Бердуковский (*черкес. – Хьэгъундыкъуей, перевод с черкес. Хагондоково*), на вершине хребта, возвышающегося над р. Малый Зеленчук (*черкес. – Инджыдж цыкуГ*), были впервые зафиксированы петроглифы. Изображения нанесены на скале обрыва, называемого черкесами Хьэгъундыкъуейхэплъэ (*перевод с черкес. Смотровая вершина Хагондоково*), над хребтом р. Малый Зеленчук, расположенным между балками Бжьахъуэжьыкъуэ (*перевод с черкес. Старая балка пасеки*) и Жьэкуэкъуэ (*перевод с черкес. Балка с Жако*). Древние знаки вырезаны на скале известняковой породы. Они представляют собой в основном начерченные на стене прямые линии, которые, пересекаясь, образуют различные рисунки в виде решеткообразных / квадратообразных, треугольных, ромбических, крестообразных и др. фигур, штрихов в виде «счетных знаков». Их дополняют изображения кругов с пересеченными с разных сторон и внутри линиями (соляные знаки), а также лункообразные углубления/купулы (рис. 1).

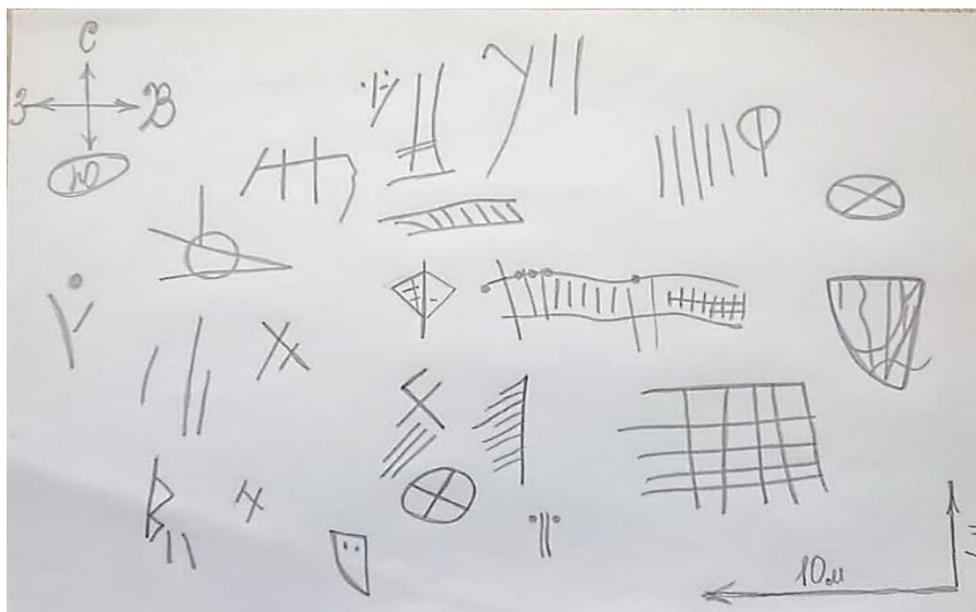


Рис. 1. Схема расположения петроглифов Хагондоково I (автор О. Д. Жужуев)

Fig. 1. Scheme of the location of the petroglyphs of Khagondokovo I (Author O. D. Zhuzhuev)

В верхней части стены встречается множество параллельных линий, перечерченных под разными углами менее глубокими, иногда менее заметными черточками. Чуть ниже находится два лункообразных углубления, расположенные рядом. Еще ниже идут ряды редких перпендикулярных коротких линий, больше напоминающих штрихи. Особое внимание на себя обращают шрихообразные линии, расположенные между двумя более глубокими вырезами, которые с правой стороны перечерчены такими же одинаково глубоко вырезанными линиями, образуя решетки с увеличивающимся количеством более мелких делений. С крайней левой стороны над указанными штрихами расположены четыре купулы/лункообразных углубления, три из которых, находящиеся с правой стороны, соединены друг с другом внутренними черточками (желобками) и, увеличиваясь в длину, соединяются слева после более глубокой пересекающей ее линии с четвертым лункообразным углублением. Два лункообразных углубления разделены параллельными глубокими вырезами, спускающимися с верхней части между лунок. Купулы/лунообразные углубления являются одним из древнейших петроглифов человечества. Обычно их ассоциируют с символом плодородия. На стене имеется несколько видов солярных знаков. Кроме более выразительного – с перекрестием внутри – встречаются менее заметные, с большим количеством хаотично пересеченных внутри круга линий. Композицию дополняют несколько выразительных крестообразных фигур с разным количеством пересекающихся линий. Считается, что крест стали заключать в круг – символ Солнца, так как в эпоху бронзы и меди культ «земного» огня был тесно связан с культом огня «небесного», который восходит к каменному веку. Крест внутри круга может также являться символом деления года на четыре части, которые соответствуют временам года, и т.д. Также встречаются треугольные вырезы. Обращает на себя внимание треугольная фигура более «расплывчатой», округлой формы, внутри которой неровные пересекающиеся линии, похожие на решетку. На стене находится и ярко выраженная ромбическая фигура, разделенная вертикальным, более глубоким вырезом.

Внутри указанной фигуры также находятся пересекающиеся линии, образуя подобие решетки. В нескольких местах стены встречаются решеткообразные знаки с большим количеством вырезов разной глубины. Выделяется знак, который составлен из круга, напоминающий голову, соединен посередине с вертикальной линией, спускающейся вниз, и напоминает антропоморфную фигуру.

В целом стена насыщена разными по форме вышеупомянутыми фигурами и знаками. Изображения растянулись на участке в длину около 10 метров на высоте 1 метра от поверхности. Для удобства их дальнейшего обозначения считаем возможным применить к ним название «петроглифы Хагондоково I» (приложение 1).

На расстоянии 2,5 км напротив указанного исторического места, западнее с. Али-Бердуковской около балки Бэчби зафиксирована другая группа наскальных надписей. В отличие от предыдущих петроглифов часть из них нанесена темно-красной охрой и находится в верхней половине скалы. Петроглифы распложены на южной стороне овальной части скалы и разделены на две группы, расстояние между которыми составляет 25 метров. Они представляют собой, как и на предыдущей, перечерченные линии, решеткообразные и солярные знаки и т. д.

Первая группа надписей растянулась в длину на 2 м (рис. 2, сторона А).

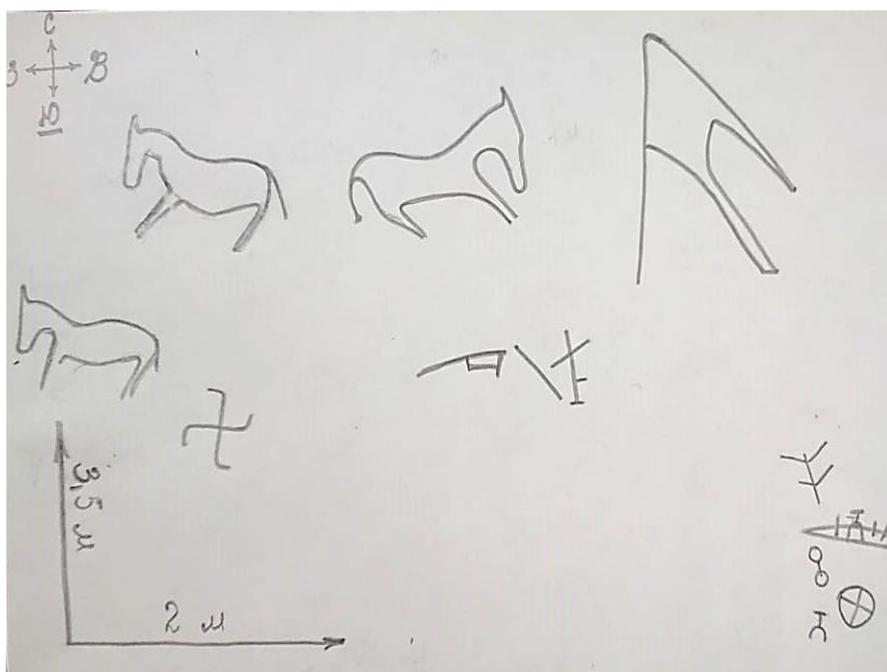


Рис. 2. Схема расположения петроглифов Хагондоково II. Сторона А (автор О.Д. Жужуев)

Fig. 2. Scheme of the location of the petroglyphs of Khagondokovo II. Side A (Author O.D. Zhuzhnev)

Надписи темно-красной охрой начинаются на высоте 2,5 м от поверхности земли. Вырезанные на скале линии, образующие решетки и другие геометрические формы, сливаются с протертыми рисунками из охры. На самом верху находится изображение лошади, ноги которой немного стерлись. Параллельно указанному изображению, слева, на расстоянии 25 см – другая зарисовка лошади со стертыми нижними конечностями. Она повернута к первой тыловой стороной. Чуть ниже и левее от нее находится третья лошадь. Лошади как древнейшие изображения олицетворяют мудрость, благородство, свет, динамичную силу,

являются типичным символом плодородия, мужества и мощной власти. Ниже третьей лошади, правее находится изображение свастики. Свастика является одним из доисторических символов, распространение которого носит глобальный характер. Особенно часто встречается в доиндоевропейском древнейшем мире – бассейне Средиземноморья и Северной Европе, на Ближнем Востоке, в цивилизации долины р. Инда, Южной и Восточной Азии и т. д. Свастика, связывается с текущей водой, воздухом, пламенем, огнем, женским полом, соединением двух полов, луной, сторонами света, различными богами и т. д. Наиболее признанной является версия, что свастика – это солнце в круговом движении, т.е. солнечный символ.

Справа от первой лошади на расстоянии 1 м от него находится самая большая зарисовка фигуры на скале. Она представляет собой ромбовидное изображение, пик которой с наклоном обращен вверх, а от нижних углов отходят длинные хвосты (линии) разной толщины. Чуть ниже идут перечерченные линии и дугообразные зарисовки, из которых выделяются пересекающиеся линии, образующие крест. Снизу от него отходит еще одна ветка. Справа от него, чуть ниже находится подобие дерева с четырьмя стволами, нарисованное охрой. Снизу от указанной фигуры две пересекающиеся линии, образующие острый угол, которые перечерчены перпендикулярными штрихами. Еще ниже расположены вырезы на скальной породе, представляющие пересекающиеся линии различной глубины. Наиболее отчетливо видна группа изображений, расположившихся снизу от ромбовидной фигуры: дерево с четырьмя стволами, нарисованное охрой; два кружочка, соединенных черточкой; круг с перекрестием; дуга с т-образным навершием.

Вторая часть петроглифов растянулась в длину на 2,8 м, выполнена темно-красной охрой, находится на высоте 5 м (рис. 3, сторона В).

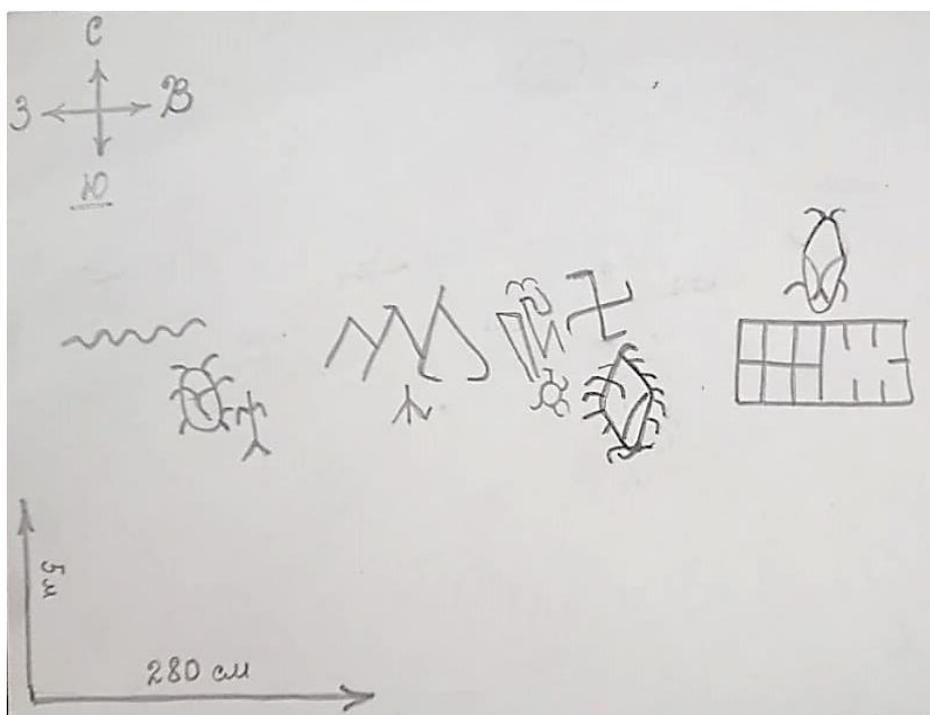


Рис. 3. Схема расположения петроглифов Хагондоково II. Сторона В (автор О.Д. Жужуев)

Fig. 3. Scheme of the location of the petroglyphs of Khagondokovo II. Side B (Author O.D. Zhuzhnev)

Среди них выделяется прямоугольник с параллельными черточками, которые пересекаются посередине единой линией, образуя шесть квадратов внутри, стертой во второй половине прямоугольника. Наверху находится знак, напоминающий существо с четырьмя ногами. В 50 см от прямоугольника изображение свастики. Под свастикой располагается ромбовидная фигура с хвостиками округлой формы, концы которых опущены вниз. Часть хвостиков, вероятно, стерта. Внизу ромбовидной фигуры хвостики еще больше загибаются, направляясь окончаниями друг к другу. Нижняя часть фигуры справа пересекается дугообразной линией, направленной к ее левой нижней стороне. Слева и выше ромбовидной фигуры изображен круг с пятью загибающимися хвостиками. Над ней, рядом со свастикой, сохранились нарисованные линии, которые сверху соединяются. Правее находятся такие же линии, образуя непонятные фигуры. Сверху и левее от изображения свастики идут три полутреугольные соединенные фигуры с острыми вершинами, напоминающие горы. Еще левее от них – непрерывающееся волнообразное изображение с пятью вершинами. Под последним, самым длинным изображением, находится знак – круг с семью хвостиками и тремя сливающимися дугообразными, частично стертыми линиями внутри. Рядом с ним, правее находится фигура, напоминающая антропоморфное существо с двумя руками и ногами. Рассмотренные группы надписей около балки Бэчби назвали Хагондово II (приложение 2).

Указанные петроглифы уникальны, в них наскальные вырезы, скорее всего, более древние, сочетаются с надписями темно-красной охрой. Все рассмотренные петроглифы Хагондово нанесены с южной отвесной стороны скал.

Изображения Хагондово имеют сходство с петроглифами, обнаруженными на территории Северного Кавказа российскими исследователями В. М. Сыроевым [10, с. 115, 142, 163], А. А. Формозовым [13, с. 126–128], Е. Д. Фелицыным [11, с. 38], А. Миллером [7, с. 100, 101], К. М. Петрелевичем [8], П. У. Аутлевым [1, с. 8], В. И. Марковиным [6, с. 146–153], С. Я. Байчоровым [2, с. 65–81] и др. Наибольшая плотность концентрации петроглифов наблюдается в предгорьях Западного и Центрального Кавказа. Известный исследователь А. А. Формозов датировал подобные петроглифы периодом, охватывающим мезолит, – неолит и энеолит [13, с. 126]. Нахождение схожих с Хагондово петроглифов в Нижне-Архызском и Кяфарском [2, с. 116–118; 3, с. 104–106] раннесредневековых городищах свидетельствует о длительном хронологическом периоде их использования. Вполне вероятно, что они существовали вплоть до Нового времени и эволюционировали в систему фамильных знаков кавказских народов. Многие петроглифы Хагондово имеют аналоги и среди изображений, найденных на каменных поверхностях в Крыму [12, с. 13; 15; 16], Западном Причерноморье [9; 12] и бассейне Средиземноморья, относимых к доиндоевропейской эпохе [3, с. 335–352]. В последующих исследованиях будет проведен подробный анализ рассмотренных петроглифов, их значение и аналогии.

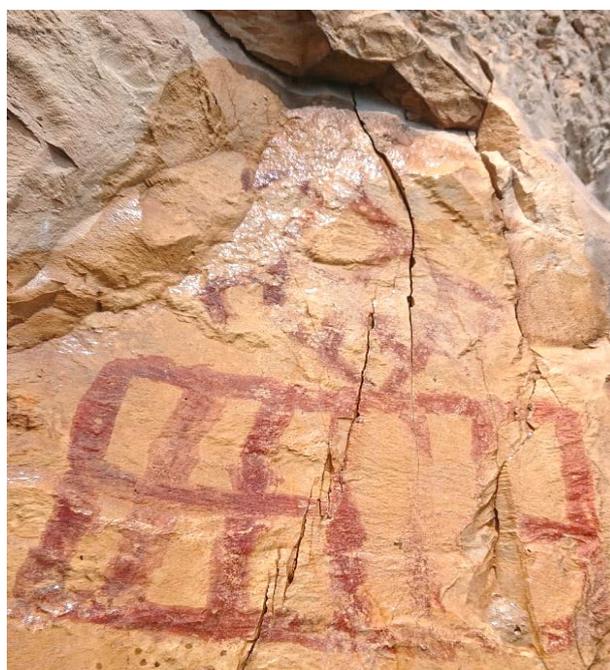
Фрагменты скалы с изображением петроглифов Хагондоково I



Приложение 2

Фрагменты скалы с изображением петроглифов Хагондоково II





СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аутлев П. У., Дитлер П. А. «Камни-писаницы» Уруштена. Пленум ИА АН СССР: тез. докл. секции археологии Кавказа. Москва, 1966.
2. Байчоров С. Я. Памятники изобразительного искусства древних Бийчесынцев // В кн. Вопросы археологии и средневековой истории Карачаево-Черкесии. Черкесск: КЧНИИИФИЭ, 1989. С. 65–81.
3. Гимбутас М. Цивилизация Великой Богини. Гл. 8. «Священные знаки-письмена». Москва: РОССПЕН, 2006. 573 с.
4. Кузнецов В. А. В верховьях Большого Зеленчука. Москва: Искусство, 1977.
5. Кузнецов В. А. Нижний Архыз в X–XII веках. Ставрополь: Кавказская библиотека, 1993. 464 с.
6. Марковин В. И. Памятники искусства и культуры Северного Кавказа // СЭ. 1970. № 3. С. 125–131.
7. Миллер А. А. Разведки на Черноморском побережье Кавказа в 1907 г. ИАК. СПб, 1909. Вып. 33. С. 71–102.
8. Петрелевич К. М. Отчет. Архив ИИМК РАН. Д. № 7. Москва, 1940.
9. Субботин Л. В. Петренко В.Г. Об архитектуре усатовских курганных сооружений // Памятники древнего искусства Северо-Западного Причерноморья. Киев, 1986. С. 26–43.
10. Сысоев В. М. Археологическая экскурсия по Закубанью в 1892 году. МАК. Москва: Товарищество тип. А.И. Мамонтова, 1904. Вып. IX. С. 89–143.
11. Фелицын Е. Д. Западно-кавказские дольмены // МАК. Москва, 1904. Вып. IX. С. 1–116.
12. Формозов А. А. Материалы к изучению искусства эпохи бронзы юга СССР // СА., 1958. № 2. С. 137–142.
13. Формозов А. А. Каменный век и энеолит Прикубанья. Москва: Наука, 1965. 160 с.
14. Щепинский А. А. Соляные изображения эпохи бронзы из Крыма // СА. 1961. № 2. С. 227–231.
15. Щепинский А. А. Памятники искусства эпохи раннего металла в Крыму // СА. 1963. № 3. С. 38–47.

REFERENCES

1. Autlev P.U. Ditlev P.A. «*Kamni-pisanicy*» *Urushtena* ["Stones-writings" of Urushten] Plenum IA of the USSR Academy of Sciences: lectures notes of the section of archeology of the Caucasus. Moscow, 1966. (In Russian)
2. Bajchorov S.Ya. *Pamyatniki izobrazitel'nogo iskusstva drevnih Bijchesyncevev* [Monuments of fine art of ancient Biychesynians]. Questions of archeology and medieval history of Karachay-Cherkesia. Cherkessk: KCHNIIFIE, 1989. Pp. 65–81. (In Russian)
3. Gimbutas M. *Civilizaciya Velikoj Bogini. Gl. 8 «Svyashchennye znaki-pis'mena»* [Civilization of the Great Goddess. Chapter 8 "Sacred signs-writings"]. Moscow: ROSSPEN, 2006. 573 p. (In Russian)
4. Kuznecov V.A. *V verhov'yah Bol'shogo Zelenchuka* [In the upper reaches of Bolshoy Zelenchuk]. Moscow: Art, 1977. (In Russian)
5. Kuznecov V.A. *Nizhnij Arhyz v X–XII vekah* [Nizhny Arkhyz in the X– XII centuries]. Stavropol: Kavkazskaya biblioteka, 1993. 464 p. (In Russian)
6. Markovin V.I. *Pamyatniki iskusstva i kul'ty Severnogo Kavkaza* [Monuments of art and cults of the North Caucasus]. SE. 1970. No. 3. Pp. 125–131. (In Russian)

7. Miller A.A. *Razvedki na Chernomorskom poberezh'e Kavkaza v 1907 g.* [Exploration on the Black Sea coast of the Caucasus in 1907]. IAK. St. Petersburg, 1909. No. 33. Pp. 71–102. (In Russian)
8. Petrelevich K.M. Otchet. Archive of the IIMK RAS. No. 7. Moscow, 1940. (In Russian)
9. Subbotin L.V. Petrenko V.G. *Ob arhitekture usatovskih kurgannyh sooruzhenij* [On the architecture of the Usatov kurgan structures]. Monuments of ancient art of the North-Western Black Sea region. Kiev, 1986. Pp. 26–43. (In Russian)
10. Sysoev V.M. *Arheologicheskaya ekskursiya po Zakuban'yu v 1892 godu* [Archaeological excursion to Zakuban in 1892]. MAK. Moscow: Partnership type. A.I. Mamontov, 1904. No. IX. Pp. 89–143. (In Russian)
11. Felicyn E.D. *Zapadno-kavkazskie dol'meny* [West Caucasian dolmens] MAK. Moscow: 1904. Issue IX. Pp. 1–116. (In Russian)
12. Formozov A.A. *Materialy k izucheniyu iskusstva epohi bronzy yuga SSSR* [Materials for the study of the art of the Bronze Age of the South of the USSR]. SA., 1958. No. 2. Pp. 137–142. (In Russian)
13. Formozov A.A. *Kamennyy vek i eneolit Prikubania* [Stone Age and Eneolithic of the Kuban region]. Moscow: Nauka, 1965. 160 p. (In Russian)
14. Shchepinskij A.A. *Solyarnye izobrazheniya epohi bronzy iz Kryma* [Solar images of the Bronze Age from the Crimea]. SA. 1961. No. 2. Pp. 227–231. (In Russian)
15. Shchepinskij A.A. *Pamyatniki iskusstva epohi rannego metalla v Krymu* [Monuments of art of the Early Metal era in the Crimea]. SA. 1963. No. 3. Pp. 38–47. (In Russian)

Информация об авторе

Кагазежев Жираслан Валерьевич, канд. ист. наук, зав. научно-инновационным центром «Естественно-научные методы в археологии, антропологии и археографии», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

jiraslan@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0508-3493>

Information about the author

Kagazezhev Zhiraslan Valerievich, Candidate of Historical Sciences, Head of Science and Innovation Center "Natural Scientific Methods in Archaeology, Anthropology and Archaeography" of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

jiraslan@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0508-3493>

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ АВТОРАМИ В ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН»

1. Журнал «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» публикует оригинальные научные, обзорные, аналитические статьи отечественных и зарубежных авторов, рецензии на книги и статьи, персоналии по следующим группам специальностей:

1.1. Математика и механика; 1.2. Компьютерные науки и информатика; 1.3. Физические науки; 1.6. Науки о Земле и окружающей среде; 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации; 4.1. Агронимия, лесное и водное хозяйство; 4.2. Зоотехния и ветеринария; 5.2. Экономика; 5.4. Социология; 5.5. Политические науки; 5.6. Исторические науки; 5.9. Филология.

Журнал предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов. Периодичность – шесть выпусков в год. Журнал публикует статьи на русском и английском языках объемом не менее 8 и не более 20 страниц макетного формата (не менее 16 000 символов). Работы, превышающие объем, принимаются к публикации по специальному решению главного редактора журнала.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки (по состоянию на 15.02.2023, п. 1163):

группа специальностей 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации:

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки),

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки),

2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования (физико-математические науки),

2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки);

группа специальностей 4.1. Агронимия, лесное и водное хозяйство:

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки),

4.1.3. Агротехника, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки);

группа специальностей 5.2. Экономика:

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (экономические науки),

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки),

5.2.6. Менеджмент (экономические науки).

2. К публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» принимаются статьи, содержащие новые результаты. Статьи должны быть посвящены актуальным проблемам науки, содержать четкую постановку цели и задач исследования, строгую научную аргументацию, обобщения и выводы, представляющие интерес своей новизной, научной и практической значимостью. Журнал также публикует специальные выпуски, посвященные конференциям разного уровня по тематике журнала, обзорные статьи. Не допускается направление в редакцию статей, уже опубликованных или посланных на публикацию в другие журналы. Результаты иных авторов, использованные в статье, следует должным образом отразить в ссылках. Представляя статью в журнал, авторы обязаны выполнять все требования по оформлению.

3. Направляя статью в журнал, каждый из авторов подтверждает, что она соответствует наивысшим стандартам публикационной этики для авторов и соавторов, разработанным COPE (Committee on Publication Ethics), см. <http://publicationethics.org/about>. Всем статьям,

опубликованным в журнале, присваиваются идентификаторы цифрового объекта (DOI) для лучшего поиска и идентификации. Поступающие в редакцию статьи проходят проверку на плагиат через систему *Антиплагиат* (<https://www.antiplagiat.ru>), для принятия они должны иметь не менее 75 % уникальности текста.

4. Принятые к публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» статьи проходят двойное слепое рецензирование, редакционную подготовку, после чего окончательный макет направляется на корректуру. Окончательный вариант предоставляется автору на вычитку.

5. Полнотекстовые версии статей, публикуемых в журнале, размещаются в Интернете в свободном доступе на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, Киберленинка. Статьи по математике, физике, информатике, математическому моделированию в экономике и по наукам о земле размещаются на сайте www.mathnet.ru (<http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=izkab&optionlang=rus>). Срок размещения редакцией очередного номера журнала – в течение 3 месяцев с даты выхода в свет номера.

6. Публикации в журнале для сотрудников КБНЦ РАН бесплатные, для сторонних авторов – 500 руб. за страницу. Для рецензентов (не членов редколлегии) предусмотрены льготы для опубликования.

7. Требования к рукописи статьи. Материалы предоставляются в редакционно-издательский отдел. Все страницы, включая рисунки, таблицы и список литературы, следует пронумеровать. В тексте статьи **обязательно** указывается:

- УДК <https://teacode.com/online/udc/>; ORCID; тип статьи (научная, обзорная, аналитическая,...); коды JEL (специальность 5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике); MSC2020 (по специальностям в области математики, информатики, физики);

- название статьи на русском и английском языках;

- фамилия и инициалы автора (авторов) на русском и английском языках; электронная почта авторов (если несколько авторов, то указать * автора, ответственного за переписку);

- полное официальное название учреждения с указанием полного почтового адреса на русском и английском языках, адрес электронной почты (E-mail) **организации**;

- аннотация на русском и английском языках – не более 150–250 слов, в ней четко должны отражаться новизна, актуальность и методика научного исследования;

- ключевые слова на русском и английском языках – не более 10–15 слов;

- основной текст статьи (примерная схема): введение, цели и задачи исследования, методы исследования, результаты исследования, выводы (заключение).

В аннотации и заключении не допускается использование громоздких формул, ссылок на текст работы или список литературы.

Сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, название подразделения, полное название места работы (может быть более одного), рабочий адрес, контактный телефон.

8. Список литературы должен содержать только те источники, на которые имеются ссылки в тексте работы, расположенные в порядке цитирования, и не более 20. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются. Недопустимо использование ссылок на авторефераты, диссертации, газеты, интернет-сайты журналов, электронные газеты. Список литературы печатается в конце статьи, оформляется в соответствии с правилами, предусмотренными журналом. Все остальные источники, использованные при написании статьи, выносятся в сноски в конце каждой страницы (при необходимости). В списке литературы необходимо указывать не менее 25 % от общего количества источников за последние 5 лет (как самого автора, так и сторонних авторов, работающих в данном направлении). Исключение составляют статьи, которые посвящены исследованиям конкретных документов.

В списке литературы должны быть указаны источники по образцу:

• статья – Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. Год. Том. Номер. С. ...-... DOI...

- книга – Фамилия И.О. Название книги: монография. том *. Город: Издательство, Год. ... с.
- коллективная монография – Название книги / Фамилия И.О. автора; под ред. Фамилия И.О. Город: Издательство, Год. ... с.
- статья в сборнике конференций – Фамилия И.О. Название статьи // Название конференции: материалы конференции * / Название организации. Город, Год. С. ...-... DOI...
- статья в электронном издании – Фамилия И.О. Название статьи [Электронный ресурс] // Название журнала, Год. Том. Номер. С. ...-... URL:... (дата обращения: число, месяц, год).

9. Список литературы **полностью** дублируется на **английском языке** независимо от того, имеются в нем иностранные источники или нет.

Пояснения по формированию списка литературы и References.

Если статья, на которую указывает ссылка, была переведена на английский язык и опубликована в английской версии журнала, необходимо указывать ссылку из переводного источника! Указания (учебное пособие, монография, перевод, количество томов и т.д.) в References можно опускать. При цитировании оригинального источника на английском языке в названии с прописной буквы пишется первое слово. В названии журнала пишется каждое полнозначное слово с прописной буквы.

Библиографические описания публикаций в References составляют в следующей последовательности:

журнальная статья

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie stat'i [Title of article]. Zaglavie jurnala [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ...iss. ... Pp. ...-... (In Russian);

монография, книга, глава из книги, препринт

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of book]. Gorod, Izdanie. Year. Pages p. (In Russian);

статья в материалах конференции

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie konferensii. Gorod, Organizacia. Year. Pages p. (In Russian);

статья в электронном издании

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie zhurnala, Year, Pages p, available at: <http://...> (accessed Data Year).

Журнал «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» при оформлении руководствуется ГОСТ 7.0.7 – 2021, ГОСТ Р 7.0.12.

На сайте <http://www.translit.ru/> можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации русского текста в латиницу. Для этого, выбрав вариант системы **Board of Geographic Names (BGN)**, получаем изображение всех буквенных соответствий.

10. Требования к электронному носителю:

- к статье прилагается электронный вариант в формате Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10;
- статья должна быть набрана в формате А4 с полями: верхнее и нижнее – 2,0 см; левое – 2,5 см; правое – 2 см;
- статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 14, полуторный интервал;
- таблицы, алгоритмы, рисунки, схемы и т.п. должны быть выполнены в формате А4 книжной ориентации.

11. Решение о публикации или отклонении авторских материалов принимается редколлегией в соответствии с правилами рецензирования статей. Для экспертной оценки статей привлекаются ведущие специалисты по основным научным направлениям (рубрикам) выпуска журнала.

12. Редакция не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов.

13. В каждом выпуске публикуется, как правило, не более одной статьи одного и того же автора.

14. Статьи, оформленные без соблюдения указанных правил, не рассматриваются.

FORMATTING RULES FOR ARTICLES TO BE SUBMITTED BY AUTHORS TO THE JOURNAL "NEWS OF THE KABARDINO-BALKARIAN SCIENTIFIC CENTER OF RAS"

1. The journal "News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS" publishes original scientific, review, analytical articles by domestic and foreign authors, reviews of books and articles, personalities in the following groups of specialties:

1.1. Mathematics and Mechanics; 1.2. Computer Science and Informatics; 1.3. Physical Sciences; 1.6. Earth and Environmental Sciences; 2.3. Information Technologies and Telecommunications; 4.1. Agronomy, Forestry and Water management; 4.2. Zootechnics and Veterinary Medicine; 5.2. Economics; 5.4. Sociology; 5.5. Political Sciences; 5.6. Historical Sciences; 5.9. Philology.

The journal is intended for researchers, teachers, postgraduate students, undergraduates, students. Frequency – six issues per year. The journal publishes articles in Russian and English with a volume of no less than 8 and no more than 20 pages of the layout format (at least 16000 characters).

Papers exceeding that volume may be accepted for publication by special decision of the Editor-in-chief of the journal.

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Science, for the degree of Doctor of Science in scientific specialties and their respective branches of science should be published (as of February 15, 2023, p. 1163) :

group of specialties 2.3. Information technology and telecommunications:

- 2.3.1. System analysis, management and information processing (technical sciences),
- 2.3.3. Automation and control of technological processes and productions (technical sciences),
- 2.3.7. Computer modeling and design automation (physical and mathematical sciences),
- 2.3.8. Informatics and information processes (technical sciences);

group of specialties 4.1. Agronomy, forestry and water management:

- 4.1.1. General farming and crop production (agricultural sciences),
- 4.1.2. Breeding, seed production and plant biotechnology (agricultural sciences),
- 4.1.3. Agrochemistry, agrosil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences);

group of specialties 5.2. Economy:

- 5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics (economic sciences),
- 5.2.3. Regional and sectoral economics (economic sciences),
- 5.2.6. Management (economic sciences).

2. Articles are accepted for publication in the journal "News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS" if they contain new results. Articles should be devoted to topical problems of science, contain a clear statement of the goal and objectives of the study, rigorous scientific argumentation, generalizations and conclusions that are of interest for their novelty, scientific and practical significance. The journal also publishes special issues devoted to conferences of various levels on the subjects of the journal, review articles. It is not allowed to send to the editorial office articles that have already been published or sent for publication to other journals. The results of other authors used in the article should be duly reflected in the references. Submitting an article to the journal, authors are obliged to fulfill all the requirements for their formatting.

3. By submitting an article to the journal, each author confirms that it meets the highest standards of publication ethics for authors and co-authors, developed by COPE (Committee on Publication Ethics), see <http://publicationethics.org/about>. All articles published in the journal are assigned digital

object identifiers (DOIs) for better search and identification. Articles submitted to the editorial office are checked for plagiarism through the *Antiplagiat* system (<https://www.antiplagiat.ru>); for acceptance they must have at least 75 % of the uniqueness of the text.

4. Articles accepted for publication in the journal "News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS" undergo double blind peer review, editorial preparation, after which the final layout is sent for correction. The final version is provided to the author for proofreading.

5. Full-text versions of articles published in the journal are posted on the Internet in free access on the website of the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. Articles on mathematics, physics, computer science, mathematical modeling in economics and geosciences are posted on the website www.mathnet.ru (https://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=izkab&option_lang=eng). The time for posting of the journal in the web must be within 3 months from the date of issue.

6. Publications in the journal for KBSC RAS employees are free, for outside authors – 500 rubles per page. For reviewers (not members of the editorial board) privileges for publication are provided.

7. Requirements for the manuscript of the article. Materials are submitted to the Editorial and Publishing Department. All pages, including figures, tables and references, should be numbered. The following indications in the text of the article are **mandatory**:

- UDC <https://teacode.com/online/udc/>; ORCID; type of article (scientific, review, analytical, ...); JEL codes (specialty 5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in Economics); MSC2020 (for specialties in Mathematics, Computer Science, Physics);

- the title of the article in Russian and English;

- surname and initials of the author(s) in Russian and English; e-mail of authors (if there are several authors, then indicate * the author responsible for the contact correspondence);

- the full official name of the institution, indicating the full postal address in Russian and English, the electronic mail address (E-mail) of the **organization**;

- annotation in Russian and English – no more than 150–250 words; it should clearly reflect the novelty, relevance and methodology of scientific research;

- keywords in Russian and English – no more than 10–15 words;

- main text of the article (approximate scheme): introduction, goals and objectives of the research, research methods, research results, conclusions.

The annotation and conclusion should not contain cumbersome formulas, references to the text of the work or the list of references.

Information about the authors: last name, first name, patronymic, academic degree, academic title, position, department name, full name of the place of work (there may be more than one), work address, contact phone number.

8. The list of references should contain only those sources to which there are references in the text of the work, arranged in the order of citation, no more than 20 altogether. References to unpublished works, the results of which are used in the proofs, are not allowed. It is unacceptable to use links to abstracts, dissertations, newspapers, websites of journals, electronic newspapers. The list of references is printed at the end of the article, drawn up in accordance with the rules provided by the journal. All other sources used in the article are placed in footnotes at the end of each page (if necessary). At least 25% of the total number of sources in the list of references should be of the last 5 years (both the author's himself and other authors working in this direction). The exception is made for articles that are devoted to the study of specific documents.

In the list of references, sources should be indicated according to the sample:

- article – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the journal. Year. Volume. Number. Pp. ... - ... DOI ...

- book – Surname and initials of the name and patronymic. Book title: monograph. volume *. City: Publisher, Year. ... p.

- collective monograph – Title of the book / Surname and initials of the name and patronymic of the author; editor - Surname and initials of the name and patronymic. City: Publisher, Year. ... p.

- article in the collection of conference materials – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the conference: materials of the conference * / Name of the organization. City, Year. Pp. ... - ... DOI

- article in the electronic edition – Surname and initials of the name and patronymic, The title of the article [Electronic source] // Journal name, Year. Volume. Number. Pp.... -... URL:... (date of access: date, month, year).

9. The list of references is **fully** duplicated in **English**, regardless of whether it contains foreign sources or not.

Explanations on the formation of the list of literature and References.

If the article to which the reference points was translated into English and published in the English version of the journal, you must provide the link from the translated source! Descriptions (tutorial, monograph, translation, number of volumes, etc.) in References may be omitted. When citing an original source in English, the first word is capitalized in the title. Each full-valued word is capitalized in the title of the journal.

Bibliographic descriptions of publications in References are in the following sequence:

magazine article

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie stat'i [Title of article]. Zaglavie jurnala [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ... issue. ... Pp. ...-... (In Russian);

monograph, book, chapter from a book, preprint

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of book]. Gorod [City], Izdanie [Publisher]. Year. Pages p. (In Russian);

article in conference materials

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie konferensii [Title of the conference]. Gorod [City], Organizacia [Organization]. Year. Pages p. (In Russian);

article in electronic edition

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie zhurnala [Title of journal], Year, Pages p, available at: [http....](http://...) (accessed Data Year).

The journal «News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS» is formatted according to State Standard GOST 7.0.7 - 2021, GOST R 7.0.12.

On the site <http://www.translit.ru/> you can use the program of transliteration of the Russian text into the Latin alphabet for free. For this, choosing the option of the **Board of Geographic Names (BGN)** system, one can get an image of all letter matches.

10. Requirements for electronic media:

- an electronic version in the format of Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10 is attached to the article;

- the article should be typed in A4 format with margins: top and bottom – 2.0 cm; left – 2.5 cm; right – 2 cm;

- the article should be typed in Times New Roman, size 14, one and a half spacing;

- tables, algorithms, figures, diagrams, etc. must be in A4 format, portrait orientation.

11. The decision to publish or reject author(s) materials is made by the editorial board in accordance with the rules for reviewing articles. Leading experts in the main scientific directions (headings) of the journal are involved in the expert assessment of the articles.

12. The editorial office does not enter into discussions with the authors of the rejected materials.

13. As a rule, no more than one article by the same author is published in each issue.

14. Articles violating these formatting rules are not considered.

Научный журнал

**ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

№ 4(114) 2023

Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук»

Зав. редакционно-издательским отделом КБНЦ РАН – *А. М. Бейтуганова*

Компьютерная верстка – *А. И. Токова*

Техническое редактирование – *А. И. Токова*

Корректор – *Л. Б. Канукова*

Перевод – *Д. Г. Макоева*

ISSN 1991-6639



Подписано в печать 21.08.2023 г. Дата выхода в свет: 31.08.2023 г.

Формат бумаги 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16.04. Тираж 300 экз.

Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-14936 от 20.03.2003 г. в Министерстве Российской Федерации
по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Учредитель: Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Адрес редакции и издателя: 360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Отпечатано в редакционно-издательском отделе КБНЦ РАН по адресу:
360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2



DOI: 10.35330/1991-6639
Подписной индекс 20145