

ISSN 2949-6241
e-ISSN 2949-6233

Инженерные Технологии



№ 1 (5) 2024

16+

ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (5), 2024

16+

ENGINEERING TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

№ 1 (5), 2024

Главный редактор

Битюков Виталий Ксенофонтович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Информационные и управляющие системы» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), bitukovWK1941@yandex.ru

Заместители главного редактора

Карманова Ольга Викторовна – главный редактор рубрики «Химические технологии, науки о материалах», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии органических соединений и переработки полимеров» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), karolga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2226-6582>

Тихомиров Сергей Германович – главный редактор рубрики «Информационные технологии и телекоммуникации», доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и управляющие системы» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), tikhomirov_57@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8192-0049>

Научно-редакционный совет:

Гусев Борис Владимирович – председатель научно-редакционного совета, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент Российской академии наук, президент Российской инженерной академии (г. Москва, Россия), info-rae@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2718-9539>

Алтайлы Сагымбек, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств» Казахского Агротехнического университета им. Сакена Сейфуллина, академик Академии сельскохозяйственных наук Республики Казахстан (г. Астана, Казахстан)

Борейко Наталья Павловна, доктор технических наук, советник директора ФГУП «Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. С.В. Лебедева» (г. Санкт-Петербург, Россия), boreicko.natalya@yandex.ru

Люсова Людмила Ромуальдовна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Химия и технология переработки эластомеров имени Ф.Ф. Кошелева» Российского технологического университета МИРЭА (г. Москва, Россия), lyusova@mirea.ru

Матвейкин Валерий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационные процессы и управление» Тамбовского государственного технического университета (г. Тамбов, Россия), ipu_tstu@mail.ru

Мешалкин Валерий Павлович, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Логистика и экономическая информатика» Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева (г. Москва, Россия), meshalkin.v.p@muctr.ru

Прокопчук Николай Романович, доктор химических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры «Полимерные композиционные материалы», Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь), nrprok@gmail.com

Редакционная коллегия:

Рубрика «Информационные технологии и телекоммуникации»

Битюков Владимир Ксенофонтович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоволновые процессы в технологии» Российского технологического университета МИРЭА, (г. Москва, Россия)

Благовещенская Маргарита Михайловна, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки, зав. кафедрой «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» Московского государственного университета пищевых производств (г. Москва, Россия), mmb@mgupr.ru

Бурлуцкая Мария Шаукатовна, доктор физико-математических наук, доцент, декан математического факультета, зав. кафедрой «Математического моделирования» Воронежского государственного университета (г. Воронеж, Россия), deanery@math.vsu.ru

Василенко Виталий Николаевич, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), ucheba@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Дворецкий Станислав Иванович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки, профессор кафедры «Технология и оборудование пищевых и химических производств» Тамбовского государственного технического университета (г. Тамбов, Россия), bio-topt@yandex.ru

Зиятдинов Надир Низамович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системотехника» Казанского национального исследовательского технологического университета (г. Казань, Россия), ZiyatdinovNN@corp.knrtu.ru

Карпович Дмитрий Семенович, кандидат технических наук, доцент зав. кафедрой «Автоматизация производственных процессов и электротехника» Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь)

Колодежнов Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Общепрофессиональных дисциплин» Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж, Россия)

Колыбанов Кирилл Юрьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационные технологии» Российского технологического университета МИРЭА, (г. Москва, Россия)

Куцев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, полковник, начальник кафедры «Автоматизация систем управления и информационная безопасность» Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж, Россия)

Лабутин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техническая кибернетика и автоматика» Ивановского химико-технологического университета (г. Иваново, Россия), lan@isuct.ru

Левданский Александр Эдуардович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Процессы и аппараты химических производств» Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь), alex_levdanskyy@mail.ru

Ли Юээн, доктор технических наук, доцент Шаньдунского университета архитектуры и технологии (г. Цзинань, Китай)

Матвеев Михаил Григорьевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационных технологий управления» Воронежского государственного университета (г. Воронеж, Россия), mgmatveev@yandex.ru

Мищенко Сергей Владимирович, заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения» Тамбовского государственного технического университета (г. Тамбов, Россия), msv@tstu.ru

Муромцев Дмитрий Юрьевич, проректор по научной работе, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» Тамбовского государственного технического университета (г. Тамбов, Россия), nauka@tstu.ru

Остриков Александр Николаевич, заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), kaf-pahpp@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2335-0017>

Подвальный Семен Леонидович, заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированные и вычислительные системы» Воронежского государственного технического университета (г. Воронеж, Россия), spodvalny@yandex.ru

Провоторов Вячеслав Васильевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Уравнения в частных производных и теория вероятности» Воронежского государственного университета (г. Воронеж, Россия)

Семенов Михаил Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил "Военно-воздушной академии им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж, Россия), mkl150@mail.ru

Скрыпников Алексей Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), dekuits@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>

Тростянский Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Физика и химия» Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж, Россия)

Урбанович Павел Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационные системы и технологии» Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь), p.urbanovich@belstu.by

Хаустов Игорь Анатольевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационные и управляющие системы» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), kaf-ius@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8897-5763>

Хвостов Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная математика и механика» Воронежского государственного технического университета (г. Воронеж, Россия), khvtol1974@yandex.ru

Чертов Евгений Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, советник при ректорате, заведующий кафедрой «Техническая механика» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), post@vsuet.ru

Рубрика «Химические технологии, науки о материалах»

Ваниев Марат Абдурахманович, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Химия и технология переработки эластомеров» Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, Россия), vaniev@vstu.ru

Дворецкий Дмитрий Станиславович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология и оборудование пищевых и химических производств» Тамбовского государственного технического университета (г. Тамбов, Россия), bio-topt@yandex.ru

Дормекшин Олег Борисович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой «Технология неорганических веществ и общая химическая технология» Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь), dormeshkin@yandex.ru

Иванов Леонид Алексеевич, кандидат технических наук, первый вице-президент, ученый секретарь Российской инженерной академии (г. Москва, Россия), L.a.ivanov@mail.ru

Кучменко Татьяна Анатольевна, доктор химических наук, профессор, профессор РАН, зав. кафедрой «Физическая и аналитическая химия» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), tak1907@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Меньшутина Наталья Васильевна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Химический и фармацевтический инжиниринг» Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева (г. Москва, Россия), menshutina.n.v@muctr.ru

Мокшина Надежда Яковлевна, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры «Физика и химия» Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж, Россия), moksnad@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8409-024X>

Пугачева Инна Николаевна, доктор технических наук доцент, профессор, и.о. заведующего кафедрой «Промышленной экологии и техносферной безопасности», декан факультета экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), fak-eh@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Рудаков Олег Борисович, доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой «Химия и химическая технология материалов» Воронежского государственного технического университета (г. Воронеж, Россия), rudakov@vgtasu.vrn.ru

Соколова Марина Дмитриевна, доктор технических наук, директор Института проблем нефти и газа СО РАН (ИПНГ СО РАН), обособленного подразделения ФГБУН Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН» (Республика Саха (Якутия), Россия), marsokol@mail.ru

Суханов Павел Тихонович, доктор химических наук, профессор, советник при ректоре по научно-методической деятельности, профессор кафедры «Физическая и аналитическая химия» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия), pts@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2588-9286>

Цзяньцян Юй, доктор технических наук, профессор лаборатории химии и материалов чистой энергии Университета Циндао (г. Циндао, Китай)

Челноков Виталий Вячеславович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Логистика и экономическая информатика» Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, (г. Москва, Россия), chelnokov.v.v@muctr.ru

Официальный сайт журнала «Инженерные технологии»: <https://vsuet.ru/science/journal-engtech>

Ответственный секретарь: Носова Е. А. (эл. почта: engtech@vsuet.ru)

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: Регистрационный номер ПИ № ФС77-83079 от 07 апреля 2022 г.

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

394036, Воронеж, пр-кт Революции, д.19 ауд.445

Контактный тел.+7 (920) 228-20-11

E-mail: engtech@vsuet.ru

Подписано в печать 29.03.2024.

Выход в свет: 09.04.2024.

Формат 70x100 1/8

Усл. печ. л. 10. Тираж 100 экз. Заказ №

Цена - свободная

© ФГБОУ ВО

«Воронеж. гос. ун-т инж.
технол.», 2024

Editor-in-Chief

Bitukov Vitaly Ksenofontovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of Information and Control Systems of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), bitukovWK1941@yandex.ru

Deputy Editors-in-Chief

Karmanova Olga Viktorovna – Editor-in-chief of the heading "Chemical Technologies, Materials Sciences", Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Technologies of Organic Compounds and Polymer Processing" Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), karolga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2226-6582>

Tikhomirov Sergey Germanovich – Editor-in-chief of the section "Information Technologies and Telecommunications", Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Information and Control Systems" of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), tikhomirov_57@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8192-0049>

Scientific and Editorial Board:

Gusev Boris Vladimirovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, President of the Russian Academy of Engineering (Moscow, Russia), info-rae@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2718-9539>

Altayuly Sagymbek, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "Technology of food and processing industries" of the Kazakh Agrotechnical University. Sakena Seifullina, Academician of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan (Astana, Kazakhstan)

Boreyko Natalia Pavlovna, Doctor of Technical Sciences, Advisor to the Director of the S.V. Lebedev Scientific Research Institute of Synthetic Rubber (St. Petersburg, Russia), boreyko.natalya@yandex.ru

Lyusova Lyudmila Romualdovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry and Technology processing of elastomers named after F.F. Koshelev" Russian Technological University MIREA (Moscow, Russia), lyusova@mirea.ru

Matveikin Valery Grigorievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Processes and Management, Tambov State Technical University (Tambov, Russia), ipu_tstu@mail.ru

Meshalkin Valery Pavlovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Logistics and Economic Informatics of the D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology (Moscow, Russia), meshalkin.v.p@muctr.ru

Prokopchuk Nikolay Romanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor of the Department of Polymer Composite Materials, Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus), nrprok@gmail.com

Editorial Board:

Heading "Information technology and telecommunications"

Bitukov Vladimir Ksenofontovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Radio Wave Processes in Technology" of the Russian Technological University MIREA, (Moscow, Russia)

Blagoveshchenskaya Margarita Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist, Head of the Department "Automated Control Systems for Biotechnological Processes" of the Moscow State University of Food Production (Moscow, Russia), mmb@mgupp.ru

Burlutskaya Maria Shaukatovna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Mathematics, Head of the Department of Mathematical Modeling at Voronezh State University (Voronezh, Russia), deanery@math.vsu.ru

Vasilenko Vitaliy Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Head of the Department "Machines and Devices of Food Production" of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), ucheba@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Dvoretzky Stanislav Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist, Professor of the Department of Technology and Equipment of Food and Chemical Industries of Tambov State Technical University (Tambov, Russia), bio-topt@yandex.ru

Ziyatdinov Nadir Nizamovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "System Engineering" Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia), ZiyatdinovNN@corp.knrtu.ru

Karpovich Dmitry Semenovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation of Industrial Processes and Electrical Engineering of the Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus)

Kolodezhnov Vladimir Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "General Professional Disciplines" of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

Kolybanov Kirill Yuryevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Technology of the Russian Technological University MIREA, (Moscow, Russia)

Kushchev Sergey Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Colonel, Head of the Department "Automation of Systems management and Information Security" of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

Labutin Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Cybernetics and Automation" of Ivanovo University of Chemical Technology (Ivanovo, Russia), lan@isuct.ru

Levdansky Alexander Eduardovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Processes and Devices of Chemical Production" of the Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus), alex_levdansky@mail.ru

Li Yueyen, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Shandong University of Architecture and Technology (Jinan, China)

Matveev Mikhail Grigoryevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Management Information Technologies at Voronezh State University (Voronezh, Russia), mgmatveev@yandex.ru

Mishchenko Sergey Vladimirovich, Honored Scientist, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechatronics and Technological Measurements of Tambov State Technical University (Tambov, Russia), msv@tstu.ru

Muromtsev Dmitry Yuryevich, Vice-Rector for Scientific Work, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Design of Radioelectronic and Microprocessor Systems" of Tambov State Technical University (Tambov, Russia), nauka@tstu.ru

Ostrikov Alexander Nikolaevich, Honored Scientist, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Technology of Fats, Processes and Devices of Chemical and Food Production" of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), kaf-pahpp@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2335-0017>

Podvalny Semyon Leonidovich, Honored Scientist, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated and Computing Systems at Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia), spodvalny@yandex.ru

Provotorov Vyacheslav Vasilyevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Partial Differential Equations and Probability Theory at Voronezh State University (Voronezh, Russia)

Semenov Mikhail Evgenievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Military Air Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin" (Voronezh, Russia), mkl150@mail.ru

Skrypnikov Alexey Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security at Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), dekuits@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>

Trostyansky Sergey Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Physics and Chemistry of the Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy (Voronezh, Russia)

Urbanovich Pavel Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Technologies of the Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus), p.urbanovich@belstu.by

Khaustov Igor Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), kaf-ius@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8897-5763>

Khvostov Anatoly Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Mathematics and Mechanics of Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia), khvtol1974@yandex.ru

Chertov Evgeny Dmitrievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Advisor to the Rector, Head of the Department of Technical Mechanics of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), post@vsuet.ru

Heading "Chemical technologies, materials sciences"

Vaniev Marat Abdurakhmanovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing at Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia), vaniev@vstu.ru

Dvoretzky Dmitry Stanislavovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Technology and Equipment of Food and Chemical Industries" of Tambov State Technical University (Tambov, Russia), bio-topt@yandex.ru

Dormekshin Oleg Borisovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Head of the Department "Technology of Inorganic Substances and General Chemical Technology" of the Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus), dormeshkin@yandex.ru

Ivanov Leonid Alexeyevich, Candidate of Technical Sciences, First Vice President, Scientific Secretary of the Russian Academy of Engineering (Moscow, Russia), L.a.ivanov@mail.ru

Kuchmenko Tatyana Anatolyevna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Physical and Analytical Chemistry of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), tak1907@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Menshutina Natalia Vasilyevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemical and Pharmaceutical Engineering of the D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology (Moscow, Russia), menshutina.n.v@muctr.ru

Mokshina Nadezhda Yakovlevna, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physics and Chemistry of the Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy (Voronezh, Russia), moksnad@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8409-024X>

Pugacheva Inna Nikolaevna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Dean of the Faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technology (Voronezh, Russia), fak-eh@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Rudakov Oleg Borisovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology materials of the Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia), rudakov@vgasu.vrn.ru

Sokolova Marina Dmitrievna, Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Oil and Gas Problems SB RAS (IPNG SB RAS), a separate division of the Federal State Budgetary Educational Institution of the Federal Research Center "Yakut Scientific Center SB RAS" (Republic of Sakha (Yakutia), Russia), marsokol@mail.ru

Sukhanov Pavel Tikhonovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Advisor to the Rector for Scientific and Methodological Activities, Professor of the Department of Physical and Analytical Chemistry of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia), pts@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2588-9286>

Jianqiang Yu, Doctor of Technical Sciences, Professor, Laboratory of Chemistry and Clean Energy Materials, Qingdao University (Qingdao, China)

Chelnokov Vitaly Vyacheslavovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Logistics and Economic Informatics, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, (Moscow, Russia), chelnokov.v.v@muctr.ru

The official website of the Engineering Technologies magazine: <https://vsuet.ru/science/journal-engtech>
Executive Secretary: Nosova E. A. (e-mail: engtech@vsuet.ru)

Founder: Voronezh State University of Engineering Technologies

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies and Mass Communications: Registration number PI No. FS77-83079 dated April 07, 2022.

The address of the University, the editorial office, the publishing house and the printing department of VSUIT:

394036, Voronezh, Revolution Ave., 19, room 445

Contact tel.+7 (920) 228-20-11

E-mail: engtech@vsuet.ru

Signed to the press on 29.03.2024.

The publication: 05.04.2024.

Format 70 x 100 1/8

Usl. pech. l. 10. Edition of 100 copies. Order No.

Price - free

© FSBEI HE

«Voronezh State University of
Engineering and Technology»,
2024

СОДЕРЖАНИЕ

Информационные технологии и телекоммуникации

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ГЕОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ <i>Черняева С. Н., Пршлепин В. С., Науменко В. С.</i>	15
АЛГОРИТМ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЫБОРА НА НЕОБОЗРИМОМ ДЛЯ ЛИЦА ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЯ МНОЖЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВ <i>Черняева С. Н., Коробова Л. А., Бугаев Ю. В.</i>	22
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ОТ КАМЕРЫ ДО ОБЪЕКТОВ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБУЕНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ <i>Лендель Е. В.</i>	28
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПРЕИМУЩЕСТВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ <i>Майка А. Н., Коробова Л. А.</i>	34
АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ <i>Кошелев Е. В.</i>	41

Химические технологии, науки о материалах

ПАТЕНТЫ АЗИАТСКИХ СТРАН ПО НЕИЗОЦИАНАТНЫМ ПОЛИУРЕТАНАМ <i>Фиговский О. Л.</i>	47
УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ НАРУШЕНИИ КАЧЕСТВА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА <i>Плотникова Р. Н.</i>	53
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ КИСЛОТ В РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЦАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ ПОЛИМЕРАМИ НА ОСНОВЕ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА <i>Саввина А. Г., Кушниц А. А., Суханов П. Т.</i>	64
ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНОДИСПЕРСИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Домниченко Р. Г.</i>	73

CONTENTS

Information technology and telecommunications

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR FILTERING GEOLOCATION DATA <i>Chernyaeva S. N., Prilepin V.S., Naumenko V. S.</i>	15
THE ALGORITHM OF COLLECTIVE CHOICE BASED ON AN INFINITE NUMBER OF ALTERNATIVES FOR THE DECISION MAKER <i>Chernyaeva S. N., Korobova L. A., Bugayev Yu. V.</i>	22
FEATURES OF DETERMINING THE DISTANCE FROM THE CAMERA TO OBJECTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIRED SPATIAL RESOLUTION FOR SOLVING DETECTION, RECOGNITION AND IDENTIFICATION TASKS <i>Lendel E. V.</i>	28
EXPLORING THE POSSIBILITIES AND BENEFITS OF DEVELOPMENT SOFTWARE FOR INTELLECTUAL ANALYSIS PROCESSES IN THE RUSSIAN FEDERATION <i>Mayka A. N., Korobova L. A.</i>	34
THE ALGORITHM FOR FORMING AN OBJECTIVE FUNCTION THAT TAKES INTO AC- COUNT LIMITATIONS IN OPTIMIZING THE INFORMATION SYSTEM <i>Koshelev E. V.</i>	41

Chemical technologies, materials sciences

ASIAN PATENTS ON NONISOCYANATE POLYURETHANES <i>Figovsky O.</i>	47
CONTROL ACTIONS IN CASE OF ANTHROPOGENIC DISTURBANCE OF SOIL COVER QUALITY <i>Plotnikova R. N.</i>	53
DETERMINATION OF AROMATIC ACIDS IN VARIOUS MATRICES WITH PRE- CONCENTRATION OF POLYMERS BASED ON N-VINYLPYRROLIDONE <i>Savvina A. G., Kushnir A. A., Sukhanov P. T.</i>	64
INFLUENCE OF FILLERS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER- DISPERSIVE PAINT MATERIALS <i>Domnichenko R.G.</i>	73

Научная статья

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ГЕОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Светлана Николаевна Черняева✉	1	chern_sv@mail.ru
Владислав Сергеевич Прилепин	1	vlad.prlepin2020@yandex.ru
Владимир Сергеевич Науменко	1	nauvlas@mail.ru

¹Воронежский филиал «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова имени адмирала С.О. Макарова», Ленинский проспект, 174л, Воронеж, 394033, Россия

Аннотация: в статье рассматривается применение фильтра Калмана для геолокационных данных, который позволяет устранить шум и улучшить точность оценки параметров системы, комбинируя предыдущие измерения и текущие данные для получения наиболее вероятного значения параметров. Обсуждает вопрос эффективного использования алгоритма фильтрации Калмана с растущей памятью и растущим количеством измерений, указывается на необходимость учета влияния измерений на сглаживающие свойства фильтра, чтобы избежать недостоверных результатов при увеличении числа измерений. Предлагается использовать режим "скользящего окна" для более точной аппроксимации траектории и получения более точных оценок, применение ковариационных матриц для оптимальной работы алгоритма фильтрации Калмана с растущей памятью и учетом режима "скользящего окна". Учитывая различные влияющие факторы, ковариационные матрицы позволяют корректировать результаты фильтрации, обеспечивая более точные оценки. Рассмотрение этих аспектов в процессе работы алгоритма позволяет достичь максимальной эффективности и получить наилучшие результаты при фильтрации данных для точности абсолютного определения геолокационных координат.

Ключевые слова: фильтрация, геоданные, фильтр Калмана, взвешенный метод наименьших квадратов, NMEA.

Для цитирования: Черняева С. Н., Прилепин В. С., Науменко В. С. Разработка алгоритма фильтрации геолокационных данных // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 15-21.

Original article

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR FILTERING GEOLOCATION DATA

Svetlana N. Chernyaeva ✉	1	chern_sv@mail.ru
Vladislav S. Prilepin	1	vlad.prlepin2020@yandex.ru
Vladimir S. Naumenko	1	nauvlas@mail.ru

¹Voronezh Branch of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, Leninsky Avenue, 174l, Voronezh, 394033, Russia

Abstract: The article discusses the application of the Kalman filter for geolocation data, which eliminates noise and improves the accuracy of estimating system parameters by combining previous measurements and current data to obtain the most likely parameter value. Discusses the issue of effective use of the Kalman filtering algorithm with growing memory and a growing number of measurements, indicates the need to take into account the influence of measurements on the smoothing properties of the filter in order to avoid unreliable results with an increase in the number of measurements. It is proposed to use the "sliding window" mode for more accurate approximation of the trajectory and obtaining more accurate estimates, the use of covariance matrices for optimal operation of the Kalman filtering algorithm with growing memory and taking into account the "sliding window" mode. Taking into account various influencing factors, covariance matrices allow you to adjust the filtering results, providing more accurate estimates. Consideration of these aspects in the process of the algorithm allows you to achieve maximum efficiency and get the best results when filtering data for the accuracy of absolute determination of geolocation coordinates.

Keywords: filtering, geodata, Kalman filter, weighted least squares method, NMEA.

For citation: Chernyaeva S. N., Prilepin V.S., Naumenko V. S. Development of an algorithm for filtering geolocation data. *Ingenerye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 15-21. (In Russ.).

Введение

В современном мире системы локации уже стали неотъемлемой частью нашей повседневности. Они проникли практически во все

сферы – от приложений-навигаторов для гражданского и военного использования до учёта перемещений сельскохозяйственной техники во время работы на полях. Однако, в эпоху стремительного развития систем машинного

обучения, сбор и анализ "больших данных" приобретают новое значение и значение. Таким образом, применение новых методов обработки больших объемов сырых данных о местонахождении и передвижениях источников сигнала становится актуальной задачей в данной области [1-3].

Материал и методы исследования

Фильтрация нужна для отсеивания «лишних» данных, которые возникают из-за несовершенства работы геолокационной системы. Этот этап нельзя пропустить, так как неотфильтрованные геоданные не позволяют эффективно использовать оптимизации на основе интегрального представления изображения. Ошибки, содержащиеся в геоданных, переходят и в интегральную форму представления, что влечет в свою очередь большое расхождение с истинными показателями.

Идея метода интегрального представления заключается в создании матрицы, размер которой соответствует исходному изображению. Каждый элемент этой матрицы содержит сумму интенсивностей всех пикселей, которые находятся слева и выше данного элемента. Таким образом, каждый элемент матрицы несет информацию о степени связи его пикселя с остальными пикселями изображения. Это позволяет сократить объем представления исходного изображения, сохраняя при этом его структурную информацию.

Преимущество метода интегрального представления заключается в его уникальности. Полученная матрица является уникальным представлением структуры изображения, которое не повторяется в других методах. Это позволяет использовать метод для различных задач обработки и анализа изображений, таких как распознавание образов, выделение контуров и многие другие.

Таким образом, метод интегрального представления представляет собой инновационный подход к представлению изображения, который можно использовать для эффективной обработки и анализа изображений.

Фильтрация Калмана, также известная как линейная квадратичная оценка (LQE), это интеллектуальный алгоритм, использующий последовательность измерений, наблюдаемых в течение времени, и учитывающий статистический шум и другие возможные неточности. Этот алгоритм выполняет оценку неизвестных переменных путем анализа совместного распределения вероятности для каждого временного интервала, что делает его эффективным

инструментом для точного прогнозирования и оценки переменных в динамических системах.

Этот фильтр имеет многочисленные применения в технике. Например, для наведения, навигации и контроля транспортных средств [4-6]. Кроме того, фильтр Калмана широко применяется в анализе временных рядов, в области беспилотного планирования и управления движением, а также могут применяться в оптимизации траектории движения. Фильтр также работает для моделирования контроля центральной системы управления движением автомобиля.

Фильтр Калмана использует модель динамики системы, в которой, основываясь на известных управляющих воздействиях и последовательных измерениях, формируется более точная оценка переменных системы (ее состояния). Эта оценка превосходит результат, полученный при использовании только одного измерения [7, 8]. Алгоритм Калмановской фильтрации проводит оценку состояния системы, объединяя предсказанное состояние с новым измерением с использованием взвешенного среднего. Этот метод эффективно справляется с неопределенностью, вызванной шумными данными датчика, а также в некоторой степени учитывает случайные внешние факторы. Результатом вычислений является новая оценка состояния, которая находится между предсказанным и измеренным состоянием, обладая более точной оценкой неопределенности по сравнению с каждой из них в отдельности.

Результаты исследования и их обсуждение

На каждом временном шаге вычислений происходит последовательный цикл, где новая оценка и ее ковариация формируют прогноз, служащий основой для последующего шага. Фильтр Калмана, как рекурсивный алгоритм, работает исключительно с последним наилучшим предположением о состоянии, обходя необходимость хранить всю историю системы для вычисления нового состояния. Этот подход оперирует матрицами, содержащими оценки состояний и ковариации, обрабатывая несколько измерений в рамках единого набора вычислений. Такой подход эффективно выделяет линейные взаимосвязи между переменными состояниями в любой модели перехода или ковариации.

Оценка положения транспортного средства при использовании блока GPS обеспечивает точность в пределах нескольких метров, но показания быстро изменяются и остаются близкими к реальному положению. Также можно

определить положение ТС, интегрируя его скорость с течением времени, используя данные об оборотах колес или угле поворота рулевого колеса. Этот метод, называемый мертвым расчетом, позволяет плавно оценить положение ТС, но со временем он начинает дрейфовать из-за накопления небольших ошибок.

Фильтр Калмана применяется в двух разных фазах для данного случая: обновление и прогнозирование. Во время прогнозирования, физические законы движения приводят к изменению предыдущего положения ТС, что позволяет вычислить новую оценку позиции и ковариацию. В следующей фазе, при обновлении, используется измерение положения грузозавика, полученное от GPS блока.

Алгоритм фильтра Калмана обладает встроенной рекурсивностью, что позволяет ему оперировать в режиме реального времени, используя исключительно текущие входные измерения и предыдущее вычисленное состояние, а также его матрицу неопределенности. Без необходимости в дополнительной информации относительно предшествующих значений, этот алгоритм обеспечивает точную оценку условной вероятности в случае, когда все ошибки имеют гауссовское распределение.

Для оценки параметров динамической системы, представленной различными транспортными средствами, используется дискретный нелинейный фильтр Калмана с растущей памятью. В качестве общего решения взвешенного метода наименьших квадратов (ВМНК), этот фильтр Калмана позволяет устранить общие ошибки транспортного сред-

ства и базы путем мгновенного позиционирования по ВМНК в дифференциальном режиме на основе вторых кодовых разностей. Тем не менее, наличие немоделируемых факторов, которые не были учтены в алгоритме, может приводить к случайным "вылетам" координат на отдельных этапах измерений. Чтобы сгладить результаты, применяется фильтр Калмана. Этот фильтр помогает устранить шум и улучшить точность оценки параметров системы. Он основан на комбинировании предыдущих измерений и текущих данных, чтобы получить наиболее вероятное значение параметров. Для оценки координаты применяется следующий алгоритм [9, 10]. По апостериорной оценке на предыдущем шаге X_{n-1} прогнозируется априорная оценка X'_{n-1} на текущем шаге (1):

$$X'_{n-1} = F_1 X_{n-1}. \quad (1)$$

По результатам текущего наблюдения Q_n априорная оценка на текущем шаге X'_n преобразуется в апостериорную (2):

$$X_n = X'_n + (H_n^T \cdot H_n)^{-1} \cdot h_0^T \cdot (Q_n - h_0 \cdot X'_n). \quad (2)$$

При условии, что Q представляет собой порядок фильтра, данная процедура будет выполняться $Q+1$ раз. В случае, если исходная траектория модели неизвестна, рекомендуется применить параметрическую модель с разложением в ряд Тейлора до второго члена ряда. В результате этого преобразования матрица H и матрица перехода модели из состояния $n-1$ в состояние n будут представлены следующим образом (3):

$$H = \begin{pmatrix} 1 & -k & k^2/2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, h_0 = \{1, 0, 0\}, h_n = \{1, -n, n^2/2\}, H_n = \begin{pmatrix} h_n \\ H_{n-1} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

Для достижения максимальной эффективности при использовании алгоритма фильтрации Калмана с растущей памятью, необходимо учитывать растущее количество измерений и их влияние на сглаживающие свойства фильтра. В противном случае, с увеличением числа измерений, фильтр может начать давать сглаженные результаты, которые не соответствуют реальности.

Чтобы преодолеть эту проблему, можно использовать режим "скользящего окна" для памяти фильтра начиная с определенного измерения n . В этом режиме, фильтр более точно приближает вычисленную траекторию к реальной на отдельных участках, что позволяет получить более точные оценки.

Расчет ковариационных матриц также играет важную роль в достижении максимальной эффективности алгоритма. Они позволяют учесть различные факторы, влияющие на точность оценок, и корректировать результаты фильтрации соответствующим образом.

Таким образом, использование алгоритма фильтрации Калмана с растущей памятью и учетом режима "скользящего окна" и расчета ковариационных матриц позволяет достичь наилучших результатов и получить более точные оценки в процессе фильтрации.

Фильтр Калмана можно использовать для сглаживания траектории движения. Можно предложить следующие алгоритмы, реализующие процесс, представленный на диаграмме

(рисунок 1). Формат файла NMEA (National Marine Electronics Association) хранит текстовые предложения ASCII, состоящие из значений широты, долготы и времени. Файл NMEA,

в принципе, представляет собой файл GPS, который содержит относительные и полезные данные при обработке координат.

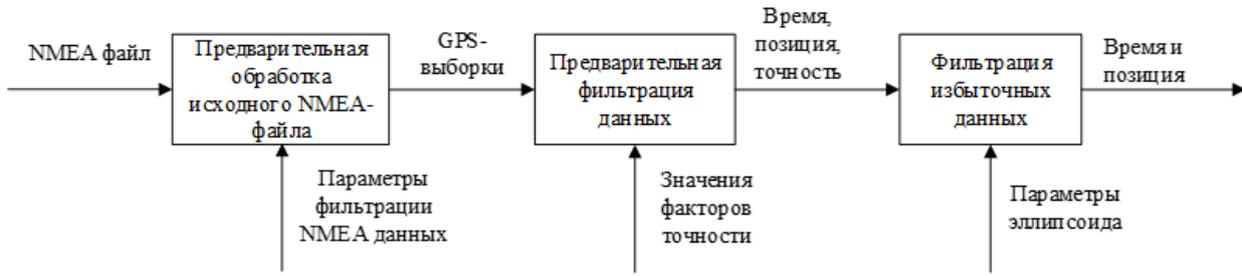


Рисунок 1. Диаграмма фильтрации данных

Figure 1. Data filtering diagram

Прежде всего, при получении данных необходимо выделить переменные: заголовок сообщения, длину сообщения, серийный номер, тип сообщения и порядковый номер. Длина пакета, объявленная в самом сообщении, сравнивается с общей длиной сообщения в

байтах (рисунок 2). Если результат сравнения равен «ложь», то такой пакет будет проигнорирован. Кроме того, общая длина используется для вычисления количества блоков данных, и каждый блок декодируется.

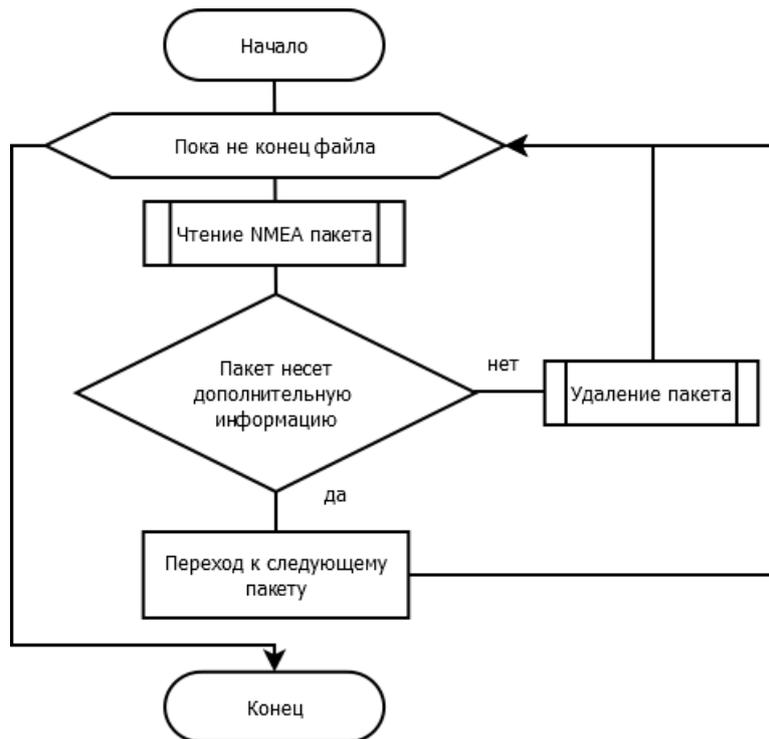


Рисунок 2. Алгоритмы фильтрации NMEA-данных

Figure 2. NMEA data filtering algorithms

Переменные времени выделяются из каждого блока данных, а именно: секунды, минуты, часы, дни, месяцы и годы. Далее, в зависимости от расположения и порядка битов, код

выделяет либо координаты, либо показания датчика.

Блочная схема алгоритма декодирования данных показана на рисунке 3.



Рисунок 3. Алгоритмы получения NMEA-данных интегрального представления изображения

Figure 3. Algorithms for obtaining NMEA data for integrated image representation

В процессе выполнения алгоритма достигаются результаты, характеризующиеся значительной степенью сглаживания при оценке местоположения движущегося транспортного средства. Полученный результат представляет собой весьма выразительный образец: среднее значение исходных и отфильтрованных координат с дециметровой точностью практически совпадают. Тем не менее, наблюдается высокий уровень шума для исходных точек, и траектория почти не различима.

Для достижения оптимального результата необходимо тщательно настраивать параметры фильтра, учитывая область применения и базу, основанную на множестве наблюдений в различных сценариях.

Заключение

В результате применения фильтра Калмана удалось достичь субдециметровой точности абсолютного определения координат. Это позволило значительно повысить качество позиционирования подвижных объектов и исключить случайные "вылеты" координат. Кроме того, использование алгоритмов и специального программного обеспечения позволяет достичь точности определения местоположения до одного или трех квадратных метров. Это является достаточным для большинства задач в промышленных системах. Таким образом, фильтр Калмана и соответствующие алгоритмы играют важную роль в обеспечении точного позиционирования и определения местоположения.

Литература

1. Проблемы обеспечения точности координатно-временных определений на основе применения ГЛОНАСС технологий / А. С. Толстикова, В. А. Ащеулова, К. М. Антонович, Ю. В. Сурнин // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2012. – № 2(18). – С. 3-11.
2. Антонович, К. М. Сравнение результатов линейных измерений, выполненных спутниковыми и традиционными методами геодезии / К. М. Антонович, А. А. Струков // Гео-Сибирь. – 2010. – Т. 1, № 3. – С. 38-42.

3. Open-Source Big Data Platform for Real-Time Geolocation in Smart Cities / P. Moreno-Bernal, C. A. Cervantes-Salazar, J. A. Hernández-Aguilar [et al.] // *Communications in Computer and Information Science*. – 2022. – Vol. 1555. – P. 207-222. – DOI 10.1007/978-3-030-96753-6_15.
4. Антонович, К. М. Мониторинг объектов с применением GPS-технологий и других методов определения положения / К. М. Антонович, А. П. Карпик // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2003. – № 6. – С. 123-135.
5. Kosarev, N. S. The method of cycle-slip detection and repair GNSS measurements by using receiver with high stability frequency oscillator / N. S. Kosarev, K. M. Antonovich, L. A. Lipatnikov // *Contributions to Geophysics and Geodesy*. – 2019. – Vol. 49, No. 3. – P. 283-301. – DOI 10.2478/congeo-2019-0015.
6. Kinakh, V. Algorithms for Analysis of Geolocation Error of Nightlight Satellite Data and Greenhouse Gas Data Calculated on Their Basis / V. Kinakh, R. Bun, T. Oda // *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies : 15, Lviv-Zbarazh, 23–26 сентября 2020 года*. – Lviv-Zbarazh, 2020. – P. 84-87. – DOI 10.1109/CSIT49958.2020.9322037.
7. Пестова, А. В. Многопараметрическое оценивание сигнала на базе алгоритма нелинейной фильтрации Калмана / А. В. Пестова // *Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов*. – 2014. – Т. 5, № 4. – С. 137-140.
8. Долганюк, С. И. Автоматизированное управление транспортом на основе системы спутниковой навигации ГЛОНАСС / С. И. Долганюк // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2010. – № 55. – С. 105-111.
9. Долганюк, С. И. Методы и алгоритмы обработки информации для позиционирования мобильных промышленных объектов на базе ГЛОНАСС/GPS : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Долганюк Сергей Иванович. – Москва, 2010. – 150 с.
10. Долганюк, С. И. Методы и алгоритмы обработки информации для позиционирования мобильных промышленных объектов на базе ГЛОНАСС/GPS / С. И. Долганюк // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2010. – № 8. – С. 406-407.

References

1. Problems of ensuring the accuracy of coordinate-time definitions based on the use of GLONASS technologies / A. S. Tolstikov, V. A. Ascheulov, K. M. Antonovich, Yu. V. Surnin // *Bulletin of the Siberian State Geodetic Academy*. – 2012. – № 2(18). – Pp. 3-11.
2. Antonovich, K. M. Comparison of the results of linear measurements performed by satellite and traditional methods of geodesy / K. M. Antonovich, A. A. Strukov // *Geo-Siberia*. – 2010. – Vol. 1, No. 3. – pp. 38-42.
3. Open-Source Big Data Platform for Real-Time Geolocation in Smart Cities / P. Moreno-Bernal, C. A. Cervantes-Salazar, J. A. Hernández-Aguilar [et al.] // *Communications in Computer and Information Science*. – 2022. – Vol. 1555. – P. 207-222. – DOI 10.1007/978-3-030-96753-6_15.
4. Antonovich, K. M. Monitoring of objects using GPS technologies and other methods of determining the position / K. M. Antonovich, A. P. Karpik // *Izvestia of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography*. – 2003. – No. 6. – pp. 123-135.
5. Kosarev, N. S. The method of cycle-slip detection and repair GNSS measurements by using receiver with high stability frequency oscillator / N. S. Kosarev, K. M. Antonovich, L. A. Lipatnikov // *Contributions to Geophysics and Geodesy*. – 2019. – Vol. 49, No. 3. – P. 283-301. – DOI 10.2478/congeo-2019-0015.
6. Kinakh, V. Algorithms for Analysis of Geolocation Error of Nightlight Satellite Data and Greenhouse Gas Data Calculated on Their Basis / V. Kinakh, R. Bun, T. Oda // *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies : 15, Lviv-Zbarazh, September 23-26, 2020*. – Lviv-Zbarazh, 2020. – P. 84-87. – DOI 10.1109/CSIT49958.2020.9322037.
7. Pestova, A.V. Multiparametric signal estimation based on the Kalman nonlinear filtering algorithm / A.V. Pestova // *Synchronization systems, signal generation and processing*. – 2014. – Vol. 5, No. 4. – pp. 137-140.
8. Dolganyuk, S. I. Automated transport management based on the GLONASS satellite navigation system / S. I. Dolganyuk // *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. – 2010. – No. C5. – pp. 105-111.
9. Dolganyuk, S.I. Methods and algorithms for information processing for positioning mobile industrial facilities based on GLONASS/GPS: specialty 05.13.01 "System analysis, management and information

processing (by industry)”: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Dolganyuk Sergey Ivanovich. – Moscow, 2010. – 150 P.

10. Dolganyuk, S.I. Methods and algorithms for information processing for positioning mobile industrial objects based on Glonass/gps / S.I. Dolganyuk // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2010. – No. 8. – P. 406-407.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Черняева Светлана Николаевна	кандидат физико- математических наук, доцент, Воронежский филиал ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», доцент кафедры «Математики, информационных систем и технологий», chern_sv@mail.ru SPIN-код 4250-0945 ORCID 0000-0002-5564-9806 Scopus Author ID 55649774400
Прилепин Владислав Сергеевич	обучающийся, Воронежский филиал ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», обучающийся кафедры «Математики, информационных систем и технологий», vlad.prlepin2020@yandex.ru
Науменко Владимир Сергеевич	обучающийся, Воронежский филиал ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», обучающийся кафедры «Математики, информационных систем и технологий», nauvlas@mail.ru

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Chernyaeva Svetlana Nikolaevna	PhD, Associate Professor, Voronezh Branch of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, Associate Professor of the Department of mathematics, information systems and technologies, chern_sv@mail.ru SPIN-код 4250-0945 ORCID 0000-0002-5564-9806 Scopus Author ID 55649774400
Prilepin Vladislav Sergeevich	student, Voronezh Branch of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, a student of the Department of mathematics, information systems and technologies, vlad.prlepin2020@yandex.ru
Naumenko Vladimir Sergeevich	student, Voronezh Branch of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, a student of the Department of mathematics, information systems and technologies, nauvlas@mail.ru

статья поступила в редакцию 28.01.2024	одобрена после рецензирования 30.01.2024	принята к публикации 12.02.2024
the article was submitted 28.01.2024	approved after reviewing 30.01.2024	accepted for publication 12.02.2024

АЛГОРИТМ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЫБОРА НА НЕОБОЗРИМОМ ДЛЯ ЛИЦА ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЯ МНОЖЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВ

Светлана Николаевна Черняева ¹ chern_sv@mail.ru
Людмила Анатольевна Коробова ² Lyudmila_korobova@mail.ru
Юрий Владимирович Бугаев ³ y_bugaev52@mail.ru

¹Воронежский филиал Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Ленинский проспект, д. 174л, г. Воронеж, 394033, Россия

²Воронежский государственный университет инженерных технологий, проспект Революции, д. 19, 394036, г. Воронеж, Россия

³Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, д. 54а, 394064, г. Воронеж, Россия

Аннотация. Вычислительные эксперименты показали, что для задач с небольшим количеством альтернатив и критериев хорошая точность может быть достигнута при использовании точечной формулы. С возрастанием количества альтернатив и критериев использование точечных формул не является целесообразным. В статье описывается алгоритм процедуры коллективного выбора, основанной на принципе максимального правдоподобия и применяемой в методах экстраполяции экспертных оценок. Эта процедура позволяет осуществлять выбор на необозримом множестве альтернатив и порождает функцию коллективного выбора на основе предпочтений экспертов, выраженных на порядковых или лингвистических шкалах. Используя метод максимального правдоподобия, учитываются разногласия во мнениях экспертов и находятся точечные оценки коэффициентов функции полезности, достигающие максимум функции правдоподобия. Восстановленная функция полезности распространяется на все рассматриваемое множество альтернатив, на котором производится линейное упорядочение относительно найденной функции полезности.

Ключевые слова: коллективный выбор, функция полезности, ранжирование, избыточность.

Для цитирования: Черняева С. Н., Коробова Л. А., Бугаев Ю. В. Алгоритм коллективного выбора на необозримом для лица принимающего решения множестве альтернатив // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 22-27.

Original article

THE ALGORITHM OF COLLECTIVE CHOICE BASED ON AN INFINITE NUMBER OF ALTERNATIVES FOR THE DECISION MAKER

Svetlana N. Chernyaeva ¹ chern_sv@mail.ru
Ludmila A. Korobova ² Lyudmila_korobova@mail.ru
Yuri V. Bugaev ³ y_bugaev52@mail.ru

¹Voronezh Branch of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, Leninsky Avenue, 174l, Voronezh, 394033, Russia

²Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Avenue, 19, Voronezh, 394036, Russia

³Air Force Academy named after prof. N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin, Starikh Bolshevikov st., 54a, Voronezh, 394064, Russia

Abstract. Computational experiments have shown that for problems with a small number of alternatives and criteria, good accuracy can be achieved using a point formula. With the increasing number of alternatives and criteria, the use of point formulas is not advisable. The article describes the algorithm of the collective selection procedure based on the principle of maximum likelihood and used in the methods of extrapolation of expert estimates. This procedure allows you to make a choice on an infinite variety of alternatives and generates a collective choice function based on the preferences of experts expressed on ordinal or linguistic scales. Using the maximum likelihood method, differences in expert opinions are taken into account and point estimates of the coefficients of the utility function are found, reaching the maximum of the likelihood function. The restored utility function extends to the entire set of alternatives under consideration, on which a linear ordering is performed relative to the found utility function.

Keywords: collective choice, utility function, ranking, redundancy.

For citation: Chernyaeva S. N., Korobova L. A., Bugaev Yu. V. The algorithm of collective choice based on an infinite number of alternatives for the decision maker. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 22-27. (In Russ.).

Введение

Сложные задачи выбора, как правило, содержат большое число альтернатив и критериев, лицо, принимающее решение (ЛПР) в таких ситуациях просто не в состоянии сравнить и выбрать лучший вариант. Поэтому чтобы исключить субъективизм полученного решения необходимо привлечь коллектив ЛПР, который в силу различных индивидуальных предпочтений зачастую не может выработать единого мнения. Решением данной проблемы должна послужить разрабатываемая процедура голосования. Однако для достаточно оперативного получения результата необходимо определиться с подходящей квадратурой при вычислении кратных интегралов.

Материал и методы исследования

Вычислительные эксперименты показали, что для задач с небольшим количеством альтернатив и критериев – хорошая точность может быть достигнута при использовании точечной формулы.

С возрастанием количества альтернатив и критериев использование точечных формул не является целесообразным, в таких случаях следует воспользоваться точечной формулой.

Таким образом, проведенные исследования позволяют представить структурную модель информационной технологии выбора на необозримом для ЛПР множестве альтернатив в следующем виде (рисунок 1):

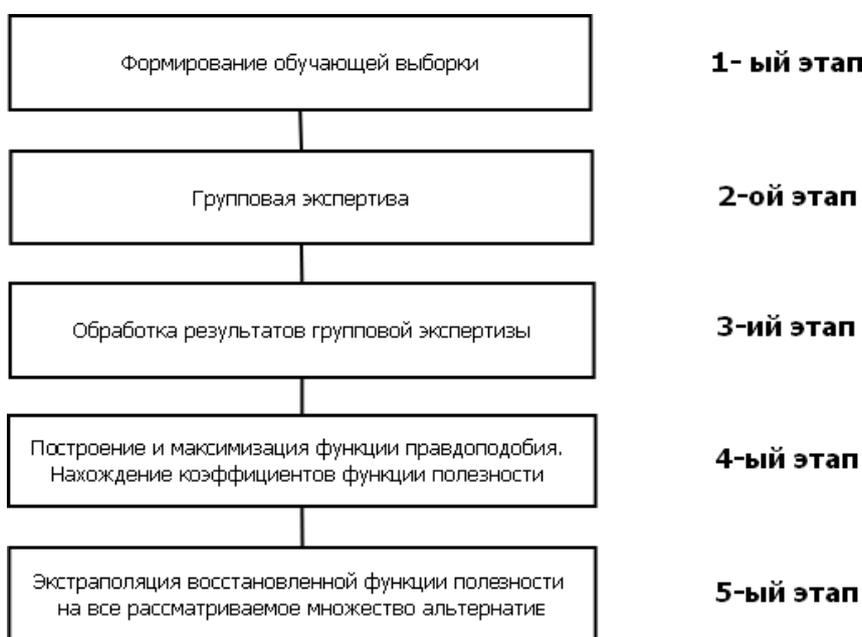


Рисунок 1. Структурная модель выбора

Figure 1. Structural selection model

На первом этапе производится формирование обучающей выборки. В общем случае, если не требовать большой точности, то, достаточно хороший результат получается при использовании случайного механизма генерирования выборки альтернатив.

Полученная на предыдущем этапе выборка предъявляется на групповую экспертизу. В зависимости от своих предпочтений эксперты должны произвести либо упорядочение предложенного набора альтернатив, либо на парных предъявлениях осуществить свой выбор. При этом оценки могут быть указаны на порядковой или лингвистической шкале.

Информация, полученная от экспертов в результате групповой экспертизы, является входной для третьего этапа. Обработка результатов групповой экспертизы включает в себя

ряд вычислительных задач, обеспечивающих построение функции максимального правдоподобия.

На четвертом этапе согласно методу максимального правдоподобия (ММП) ищется максимум функции максимального правдоподобия, в результате чего находятся коэффициенты искомой функции полезности [1, 2].

На последнем этапе восстановленная функция полезности экстраполируется на все рассматриваемое множество альтернатив.

Таким образом, получаем процедуру коллективного выбора, основанную на принципе максимального правдоподобия и применяемую в методах экстраполяции экспертных оценок [3, 4]. Данная процедура позволяет осуществлять выбор на необозримом для ЛПР множестве альтернатив и порождает функцию

коллективного выбора, когда эксперты высказывают свои предпочтения на порядковой или лингвистической шкалах. Другими словами, в результате экспертного опроса на обучающей выборке альтернатив могут наводиться полные и неполные строгие и нестрогие порядки, которые подаются на вход разработанной процедуры коллективного выбора [5]. Затем, используя метод максимального правдоподобия, учитываются разногласия во мнениях экспертов и находятся точечные оценки коэффициентов

функции полезности, при которых достигается максимум функции правдоподобия. Восстановленная функция полезности распространяется на все рассматриваемое множество альтернатив, на котором наводится линейный порядок относительно найденной функции полезности [6]. На рисунке приведена укрупненная блок-схема алгоритма работы процедуры голосования, применяемой в методах экстраполяции экспертных оценок. Алгоритм состоит из следующих шагов (рисунок 2):

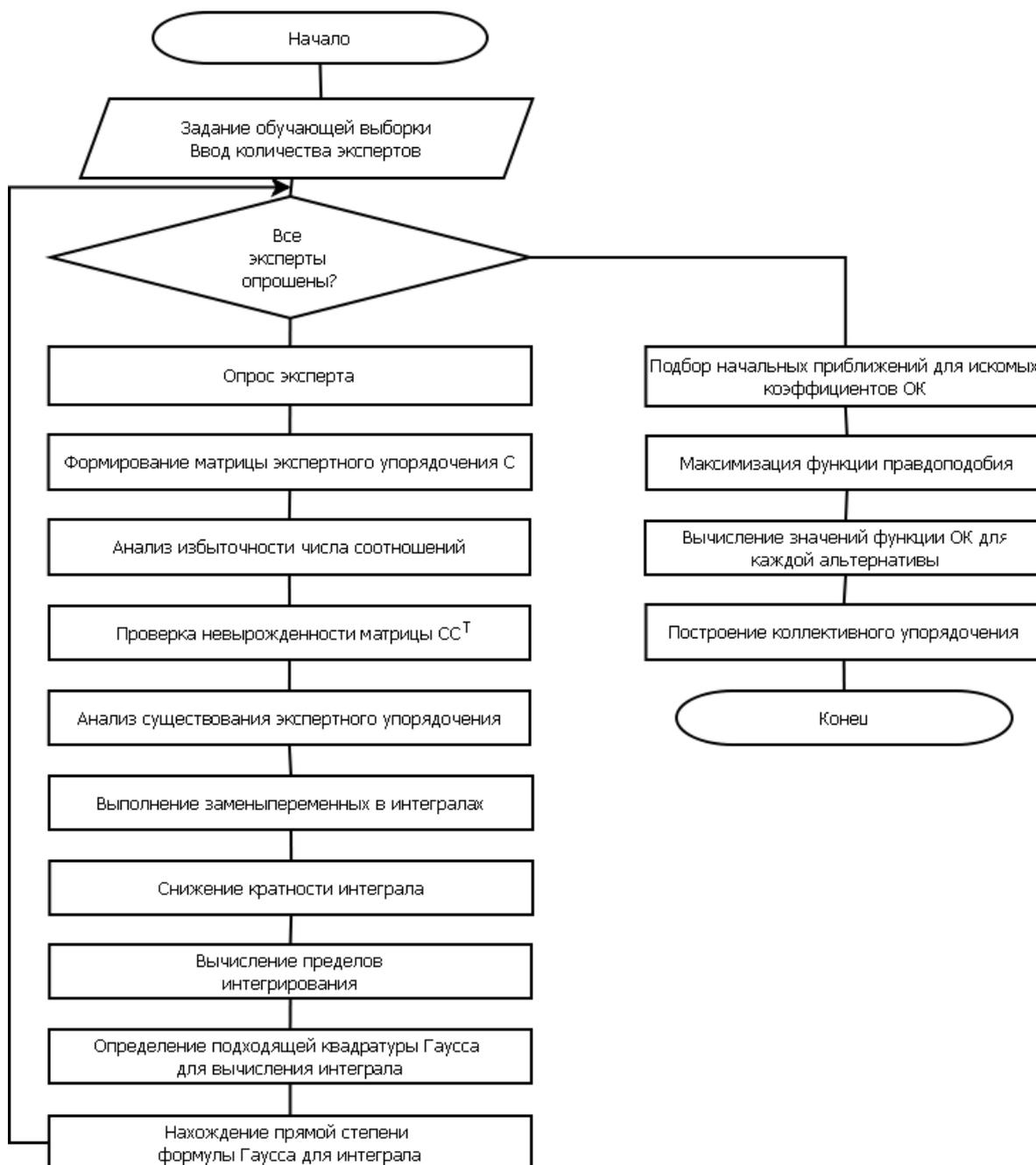


Рисунок 2. Алгоритм работы процедуры голосования, применяемой в методах экстраполяции экспертных оценок

Figure 2. The algorithm of the voting procedure used in the methods of extrapolation of expert assessments

Шаг 1. Задание обучающей выборки альтернатив. На первой итерации решения задачи необходимо ввести соответствующие значения критериев для набора рассматриваемого альтернатив и количество экспертов [1, 7, 8]. В случае же, если необходима вторая итерация решения задачи, то необходимо указать имя файла, данные из которого необходимо загрузить.

Шаг 2. Производится опрос каждого эксперта. Эксперту предлагается на выбор несколько шкал, что позволяет получить более полную информацию.

Шаг 3. Формируется матрица экспертного упорядочения C^r .

Шаг 4. Осуществляется приведение матриц упорядочения к компактному виду, т. е. исключение лишних строк. Решается система неравенств [9]

$$c_{i1} \cdot x_1 + c_{i2} \cdot x_2 + \dots + c_{im} \cdot x_m \geq 0, i = 1, \dots, n.$$

Шаг 5. Проверка невырожденности ковариационной матрицы $C^r(C^r)^T$ [10].

Шаг 6. Анализ на реализуемость экспертных упорядочений. Данная задача сводится к решению задачи линейного программирования вида $C^r Zb \geq \varepsilon$, где ε достаточно малая величина порядка 10^{-3} .

Шаг 7. Выполнение замены переменных в интегралах.

Шаг 8. Снижение кратности интеграла.

Шаг 9. Вычисление пределов интегрирования. Декомпозиция данного блока представлена на рисунке 3.

Шаг 10. Определение подходящих квадратур Гаусса для вычисления интегралов.

Шаг 11. Нахождение прямой степени формулы Гаусса для каждого интеграла.

Шаг 12. Подбор начальных приближений для коэффициентов искомой функции полезности.

Шаг 13. Максимизация функции правдоподобия [3, 9, 10]

Шаг 14. Вычисление значений функции полезности для каждой альтернативы и построение коллективного упорядочения на всем рассматриваемом множестве альтернатив [10].



Рисунок 3. Декомпозиция блока «Вычисление пределов интегрирования»

Figure 3. Decomposition of the block "Calculation of integration limits"

Заключение

Разработанный алгоритм коллективного выбора основан на принципе максимального правдоподобия и применяемой в методах экстраполяции экспертных оценок. Данный алгоритм позволяет осуществлять выбор на необходимом для ЛПР множестве альтернатив и порождает функцию коллективного выбора, когда эксперты высказывают свои предпочтения на порядковой или лингвистической шкалах.

Литература

1. Implementation of the extrapolation method of expert assessments in selection problems / Chernyaeva S., Korobova L., Ivliev M., Tolstova I., Nikitin B., Matytsina I. // *High-Performance Computing Systems and Technologies in Scientific Research, Automation of Control and Production*. Vladimir Jordan Nikolay Filimonov Ilya Tarasov Vladimir Faerman (Eds.). 2020. P. 147-161.
2. Пустыльник Е.И., Сысов В.В., Чирко М.С. Об одном методе экстраполяции экспертных оценок // *Экономика и математические методы*. 1983. Вып. 4. С. 716–717.
3. Bugaev Y.V., Nikitin B.E., Chernyaeva S.N. Processing the pairwise comparison matrix by the maximum likelihood method // *Automation and Remote Control*. 2013. Т. 74. № 3. P. 537-542.
4. Десятов Д.Б., Сысов В.В., Чирко М.С. Принятие решений на основе экспертных оценок с использованием метода максимального правдоподобия // *Автоматизация проектирования производственных систем*. Воронеж: ВПИ, 1984. С. 32–36.
5. Sen A. K. Choice functions and revealed preference // *Rev. econ. studies*.- 1971. V. 38. P. 307 – 317.
6. Zions S. Multiple Criteris Decision Making for Discrete Alternatives with Ordinal Criteria // *Working Paper № 299, School of Manadgment*. New York: State University of New York. Buffalo, 1977.
7. Бугаев Ю.В., Рязанов А.Н., Черняева С.Н. Применение матриц парных сравнений в методе экстраполяции экспертных оценок // *Вестник Воронежской государственной технологической академии*. 2010. № 2 (44). С. 90-96.
8. Бугаев Ю.В. Экстраполяция экспертных оценок в оптимизации технологических систем // *Изв. АН. Теория и системы управления*. – 2003. – № 3. – С. 90–96.
9. Бугаев Ю.В., Никитин Б.Е., Чайковский А.С. Вычислительные задачи синтеза модели выбора методом максимального правдоподобия // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2010. Т. 6. № 2. С. 71-74.
10. Черняева, С. Н. Анализ избыточности соотношений в задачах коллективного выбора / С. Н. Черняева, Л. А. Коробова // *Инженерные технологии*. – 2023. – № 4(4). – С. 29-35.

References

1. Implementation of the extrapolation method of expert assessments in selection problems / Chernyaeva S., Korobova L., Ivliev M., Tolstova I., Nikitin B., Matytsina I. // *High-Performance Computing Systems and Technologies in Scientific Research, Automation of Control and Production*. Vladimir Jordan Nikolay Filimonov Ilya Tarasov Vladimir Faerman (Eds.). 2020. P. 147-161.
2. Pustyl'nik E.I., Sysoev V.V., Chirko M.S. On one method of extrapolation of expert assessments // *Economics and mathematical methods*. 1983. Issue 4. pp. 716-717.
3. Bugaev Y.V., Nikitin B.E., Chernyaeva S.N. «Processing the pairwise comparison matrix by the maximum likelihood method» // *Automation and Remote Control*. 2013. Т. 74. № 3. P. 537-542.
4. Desyatov D.B., Sysoev V.V., Chirko M.S. Decision-making based on expert assessments using the maximum likelihood method // *Automation of design of production systems*. Voronezh: VPI, 1984. pp. 32-36.
5. Sen A. K. Choice functions and revealed preference // *Rev. econ. studies*.- 1971. V. 38. P. 307 – 317.
6. Zions S. Multiple Criteris Decision Making for Discrete Alternatives with Ordinal Criteria // *Working Paper № 299, School of Manadgment*. New York: State University of New York. Buffalo, 1977.
7. Bugaev Yu.V., Ryazanov A.N., Chernyaeva S.N. Application of matrices of paired comparisons in the method of extrapolation of expert assessments // *Bulletin of the Voronezh State Technological Academy*. 2010. No. 2 (44). pp. 90-96.
8. Bugaev Yu.V. Extrapolation of expert assessments in optimization of technological systems // *Izv. AN. Theory and control systems*. - 2003. – No. 3. – pp. 90-96.
9. Bugaev Yu.V., Nikitin B.E., Tchaikovsky A.S. Computational problems of synthesis of the selection model by the maximum likelihood method // *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2010. Vol. 6. No. 2. pp. 71-74.
10. Chernyaeva, S. N. Analysis of redundancy of ratios in collective choice problems / S. N. Chernyaeva, L. A. Korobova // *Engineering technologies*. – 2023. – № 4(4). – Pp. 29-35.

Сведения об авторах

ФИО	<i>Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)</i>
Черняева Светлана Николаевна	кандидат физико-математических наук, доцент, Воронежский филиал ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», доцент кафедры «Математики, информационных систем и технологий», chern_sv@mail.ru SPIN-код 4250-0945 ORCID 0000-0002-5564-9806 Scopus Author ID 55649774400
Коробова Людмила Анатольевна	кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", доцент кафедры «Информационных технологий, моделирования и управления», Lyudmila_korobova@mail.ru SPIN-код 1098-6488 ORCID 0000-0003-1349-732X Scopus Author ID: 57202287474
Бугаев Юрий Владимирович	доктор физико-математических наук, профессор, Военный образовательно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», профессор кафедры Математики, y_bugaev52@mail.ru SPIN-код 7102-4616 ORCID 0000-0002-1043-7682

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Chernyaeva Svetlana Nikolaevna	PhD, Associate Professor, Voronezh Branch of the Admiral S.O. Makarov GUMRF, Associate Professor of the Department of mathematics, information systems and technologies, chern_sv@mail.ru SPIN-код 4250-0945 ORCID 0000-0002-5564-9806 Scopus Author ID 55649774400
Korobova Ludmila Anatolievna	PhD, Associate Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Associate Professor of the Department of Information Technology, Modeling and Management, Lyudmila_korobova@mail.ru SPIN-код 1098-6488 ORCID 0000-0003-1349-732X Scopus Author ID: 57202287474
Bugaev Yuri Vladimirovich	DSc, Professor, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Professor of the Department of Mathematics, y_bugaev52@mail.ru SPIN-код 7102-4616 ORCID 0000-0002-1043-7682

статья поступила в редакцию 03.02.2024	одобрена после рецензирования 12.02.2024	принята к публикации 20.02.2024
the article was submitted 03.02.2024	approved after reviewing 12.02.2024	accepted for publication 20.02.2024

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ОТ КАМЕРЫ ДО ОБЪЕКТОВ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБУЕМЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ

Екатерина Вячеславовна Лендель lendekat@yandex.ru

ЗАО НВП «Болид», ул. Пионерская, 4, г. Королев, 141068, Московская область, Россия

Аннотация: В статье рассмотрен стандартный подход к определению наибольшего расстояния от камеры до объектов видеонаблюдения с учетом заявленных в технической спецификации значений разрешения фокусного расстояния, однако отсутствие точных сведений о фокусном расстоянии объектива приводит к значительным трудностям при определении дистанции от камеры до объекта с заданным пространственным разрешением. Для расчета максимальной дистанции от камеры до наблюдаемых объектов предлагается использовать значения фокусного расстояния объектива, полученные при проведении лабораторных испытаний.

Ключевые слова: система видеонаблюдения, пространственное разрешение, фокусное расстояние, угол обзора, плотность пикселей.

Для цитирования: Лендель Е. В. Особенности определения расстояния от камеры до объектов в соответствии с требуемым пространственным разрешением для решения задач обнаружения, распознавания и идентификации // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 28-33.

Original article

FEATURES OF DETERMINING THE DISTANCE FROM THE CAMERA TO OBJECTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIRED SPATIAL RESOLUTION FOR SOLVING DETECTION, RECOGNITION AND IDENTIFICATION TASKS

Ekaterina V. Lendel lendekat@yandex.ru

ZAO NVP "Bolid", Pionerskaya str., 4, Korolev, Moscow region, 141068, Russia

Abstract: The article discusses a standard approach to determining the greatest distance from a camera to video surveillance objects, taking into account the focal length resolution values stated in the technical specification, however, the lack of accurate information about the focal length of the lens leads to significant difficulties in determining the distance from the camera to an object with a given spatial resolution. To calculate the maximum distance from the camera to the observed objects, it is proposed to use the lens focal length values obtained during laboratory tests.

Keywords: video surveillance system, spatial resolution, focal length, viewing angle, pixel density.

For citation: Lendel E. V. Features of determining the distance from the camera to objects in accordance with the required spatial resolution for solving detection, recognition and identification tasks. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 28-33. (In Russ.).

Введение

При проектировании системы видеонаблюдения особое значение имеет обоснованное определение необходимых технических характеристик камер, параметры формируемого изображения с которых зачастую и определяют эффективность системы безопасности в целом. Стремительное развитие технологий производства оптики и микроэлектроники, а также прогресс в сфере IT, развитие нейросетевых алгоритмов обуславливает непрерывное совершенствование технических характеристик камер видеонаблюдения и появление новых функций устройств, которые нередко производители предоставляют в виде маркетинго-

вых или рекламных функций, упуская из виду точные значения основных параметров, определяющих границы обзора и пространственное разрешение формируемого изображения.

Материал и методы исследования

В настоящее время в целях обеспечения эффективности решения задач обнаружения, распознавания и идентификации объектов видеонаблюдения при проектировании системы безопасности ориентируются на соответствие размера объекта в кадре (в пикселях) специальным требованиям. Требования, определяющие наименьшее количество пикселей по высоте объекта в формируемом изображении

видеопотока, зависят от типа решаемой системой видеонаблюдения задачи: обнаружение, распознавание и идентификация, определяются, в первую очередь, тем, что решение этих задач требует различной детализации изображения объекта. Актуальные нормативные требования содержит стандарт BS EN 62676-4 2014 (таблица 1), устанавливающий мини-

мальный размер цели в кадре для успешного выполнения задач видеонаблюдения [1]. Различия в детализации изображения лица человека с камеры видеонаблюдения при неодинаковом пространственном разрешении в соответствии с требованиями стандарта BS EN 62676-4 продемонстрированы на рисунок 1.

Таблица 1. Нормативные требования стандарта BS EN 62676-4, определяющие минимальный размер объекта в кадре для успешного выполнения задач видеонаблюдения

Table 1. Regulatory requirements of the BS EN 62676-4 standard defining the minimum size of the object in the frame for the successful performance of video surveillance tasks

Задача видеонаблюдения / The task of video surveillance	Плотность пикселей / Pixel density
Обнаружение / Detection	25 пиксел/м
Распознавание / Recognition	125 пиксел/м
Идентификация / Identification	250 пиксел/м



Рисунок 1. Изображение лица человека с камеры видеонаблюдения при различном пространственном разрешении

Figure 1. Image of a person's face from a surveillance camera at different spatial resolution

На любую устанавливаемую систему безопасности возлагаются определенные задачи обнаружения, распознавания и идентификации объектов, которые, на этапе проектирования, и определяют набор характеристик и пространственное расположение камер относительно наблюдаемого объекта [2].

При разработке системы видеонаблюдения важен обоснованный выбор параметров и характеристик камер, а также их количества, мест расположения и высоты установки с учетом углов обзора и разрешающей способности. Кроме того, для обеспечения необходимого обзора в зоне наблюдения при проектировании системы видеонаблюдения также должны учитываться условия освещенности (источники естественного и искусственного света, их расположение и направленность светового потока, изменение их положения во времени, возможное появление сторонних источников света), активность сцены и потенциальные помехи наблюдению, препятствующими получению видеоизображений или снижающими на неко-

торое время качество изображения (появление временных или новых объектов в зоне обзора, возможное изменение листвы на деревьях при смене сезона, засветка светом фар автомобилей, блокировка части зоны обзора проезжающим транспортом), возможность возникновения экстремальных условий эксплуатации (конденсат, наледь или иней на объективах) [5,6].

Определение требуемых параметров и характеристик камеры, места расположения и высоты установки с учетом углов обзора и разрешающей способности может быть реализовано с помощью подхода к проектированию, основанном на определении пространственного разрешения объекта в зоне наблюдения. Такой подход включает поиск расстояния от камеры до объекта, на котором количество пикселей на единицу измерения пространства составляет необходимое значение, соответствующее нормативным или иным требованиям для решаемых задач [2].

Для обеспечения выполнения таких требований необходимо точно определить

расстояние от камеры до объекта видеонаблюдения, при котором будет выполняться условие обеспечения необходимой плотности пикселей с учетом технических параметров камеры видеонаблюдения. С учетом физики процесса формирования изображения на размер объекта в кадре видеопотока оказывают влияние параметры оптической части системы, в частности, фокусное расстояние объектива, размер и количество дискретных элементов светочувствительной матрицы, участвующих в формировании изображения.

В камерах видеонаблюдения фокусное расстояние объектива является одним из основных параметров, определяющих ширину зоны обзора формируемого изображения. Соответственно, фокусное расстояние непосредственно взаимосвязано с углом обзора камеры. Чем меньше значение фокусного расстояния объектива, тем шире угол наблюдения, и наоборот, большие значения фокусного расстояния позволяют создать изображение с узким углом обзора. На практике в видеонаблюдении объективы по фокусному расстоянию условно делят на три вида: короткофокусный (угол обзора более 60 градусов), нормальный (угол обзора от 30 до 60 градусов) и длиннофокусный (угол обзора менее 30 градусов [4]).

Возможности любой системы видеонаблюдения во многом определяются не только свойствами применяемой оптической системы, но и характеристиками матрицы видеокамеры - фоточувствительного устройства, преобразующего входной оптический сигнал в электрический видеосигнал. Зачастую совершенствование камер видеонаблюдения в области повышения детализации формируемого изображения во многом определяется именно прогрессом в области создания новых усовершенствованных сенсоров для формирования сигнала, содержащем информацию об изображении [8].

Появление широко применяемой в настоящее время технологии КМОП (комплементарные структуры металл оксид полупроводник) является важным достижением в развитии матричных фоточувствительных приборов, основным отличием которых является использование координатной адресации к каждому элементу зарядового импульса, полученного в процессе генерации сигнала на фоточувствительном элементе. В альтернативной технологии ПЗС (прибор с зарядовой связью) осуществляется перенос зарядовых пакетов по цепочке от места их формирования до выход-

ного устройства), что обуславливает существенные задержки при формировании видеоизображения [8].

Усовершенствованные технологии изготовления твердотельных матричных формирователей изображения позволяют повысить скорость считывания видеосигнала, что в свою очередь ведет к увеличению количества дискретных элементов (пикселей), т.е. увеличению разрешения матрицы [8]. Количество пикселей матрицы определяет формат видеоизображения и соотношение сторон кадра [9].

Физический размер матричного приемника описывается размером диагонали матрицы, приблизительно равный диаметру мишени соответствующего видикона, и измеряется в видиконовых дюймах. В современных устройствах зачастую применяются матрицы следующих форматов: 1", 2/3", 1/2", 1/3", 1/4". Физический размер матрицы наряду с фокусным расстоянием объектива определяет угол обзора формируемого изображения: с большим размером матрицы формируется более широкий угол обзора [10].

Для определения физического размера диагонали матрицы, выражаемого в миллиметрах, необходимо произвести перевод единиц измерения, с учетом того, что один видиконовый дюйм по своей размерности составляет 2/3 дюйма (в его общепринятом понимании), равного 25,4 мм [7].

Зная соотношение сторон кадра в соответствии с форматом видеоизображения возможно определить ширину и высоту матрицы согласно следующим формулам:

$$v = s_v \times \sqrt{\frac{d^2}{s_v^2 + s_h^2}} \quad (1)$$

$$h = s_h \times \sqrt{\frac{d^2}{s_v^2 + s_h^2}} \quad (2)$$

где v – размер горизонтальной стороны светочувствительной матрицы,
 h - размер вертикальной стороны светочувствительной матрицы
 $s_v:s_h$ – соотношение сторон кадра по ширине и высоте.

Угол обзора, формируемого камерой изображения, непосредственно зависит от фокусного расстояния объектива, а также от размера и формата (соотношения сторон) фоточувствительного матричного приемника, что и определяет размер области формируемого видеоизображения (рисунок 2).

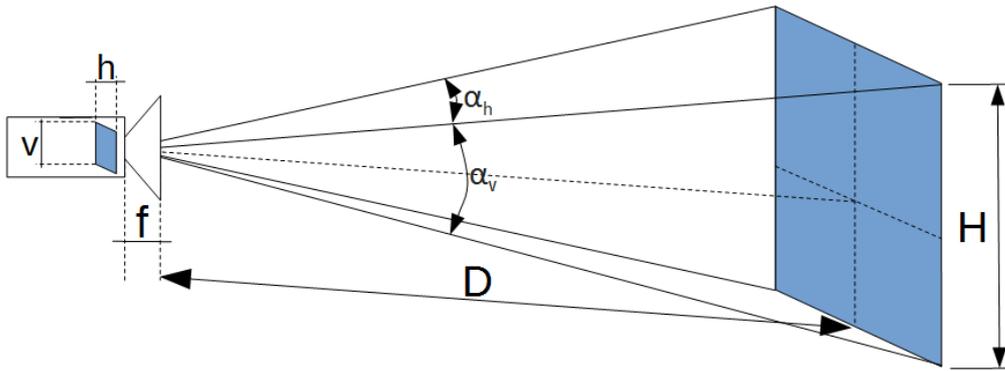


Рисунок 2. Размер области формируемого видеоизображения
 Figure 2. The size of the area of the generated video image

Расчет горизонтального и вертикального углов обзора камеры осуществляется по следующим известным формулам [7]:

$$a_h = 2 \arctg \frac{v}{2f} \quad (3)$$

$$a_v = 2 \arctg \frac{h}{2f} \quad (4)$$

где a_h – горизонтальный угол обзора камеры (градусы),
 a_v – вертикальный угол обзора камеры (градусы),
 f – фокусное расстояние объектива (мм).

Таким образом, при наличии информации из технической спецификации к камере видеонаблюдения, зная диагональ матрицы, соотношение сторон кадра и фокусное расстояние объектива возможно расчетным методом определить расстояние до объекта наблюдения с учетом заданной высоты кадра.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что на практике распространены случаи предоставления производителями оборудования неполной или неточной информации о фокусном расстоянии объектива каме-

ры, а также отсутствие некоторых сведений или несоответствие заявленных характеристик [11].

Безусловно, используемые в расчете неточные данные о фокусном расстоянии объектива приводят к отклонениям в получаемых данных о дистанции от камеры до объекта с заданным пространственным разрешением. Для решения указанной проблемы предлагается использовать алгоритм обработки информации на основе экспериментальных данных для уточненные значения фокусного расстояния объектива, определяемые экспериментально, согласно следующему алгоритму:

1. С помощью камеры осуществляется съёмка тестовой таблицы, включающей горизонтальные и вертикальные измерительные элементы, по размерам области формируемого изображения определяют вертикальный и горизонтальный угол обзора камеры (рисунок 3):

$$a_h = 90^\circ - \arctg \frac{2c}{a} \quad (5)$$

$$a_v = 90^\circ - \arctg \frac{2c}{b} \quad (6)$$

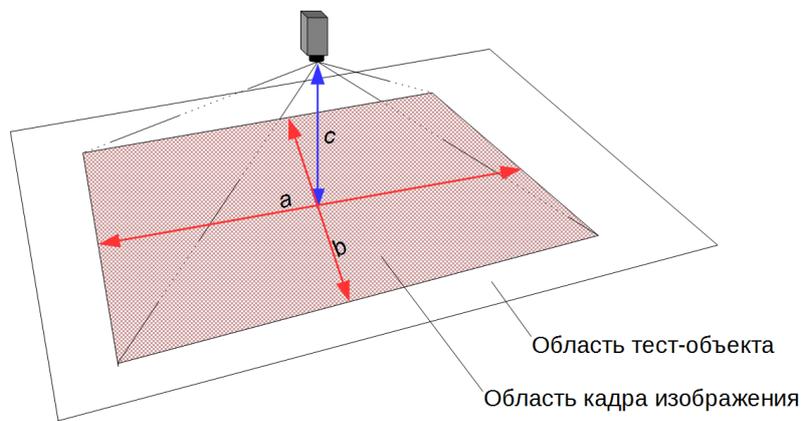


Рисунок 3. Определение углов обзора камера по размерам области формируемого изображения
 Figure 3. Determination of camera viewing angles by the size of the area of the generated image

- Расчет среднего значения фокусного расстояния объектива на основе значений горизонтального и вертикального углов обзора:

$$f = \frac{\frac{v}{2 \times \operatorname{tg} \frac{\alpha_h}{2}} + \frac{h}{2 \times \operatorname{tg} \frac{\alpha_v}{2}}}{2} \quad (7)$$

- Определяют значение расстояния от камеры до объекта с пространственным разрешением заданной плотности пикселей (рисунок 4).

$$D = \frac{f \times r_v}{x} \quad (8)$$

где r_v - разрешение матричного приемника по вертикали (пиксели),
 x - пространственное разрешение (пиксели/м)

Соответственно, формулы для определения расстояния от камеры до объектов в соответствии с требуемым пространственным разрешением для решения задач обнаружения (25 пикселей/м), распознавания (125 пикселей/м) и идентификации (250 пикселей/м), согласно требованиям европейского стандарта могут быть записаны в следующем виде:

$$D_{\text{обнаружения}} = \frac{f \times r_v}{25} \quad (9)$$

$$D_{\text{распознавания}} = \frac{f \times r_v}{125} \quad (10)$$

$$D_{\text{идентификации}} = \frac{f \times r_v}{250} \quad (11)$$

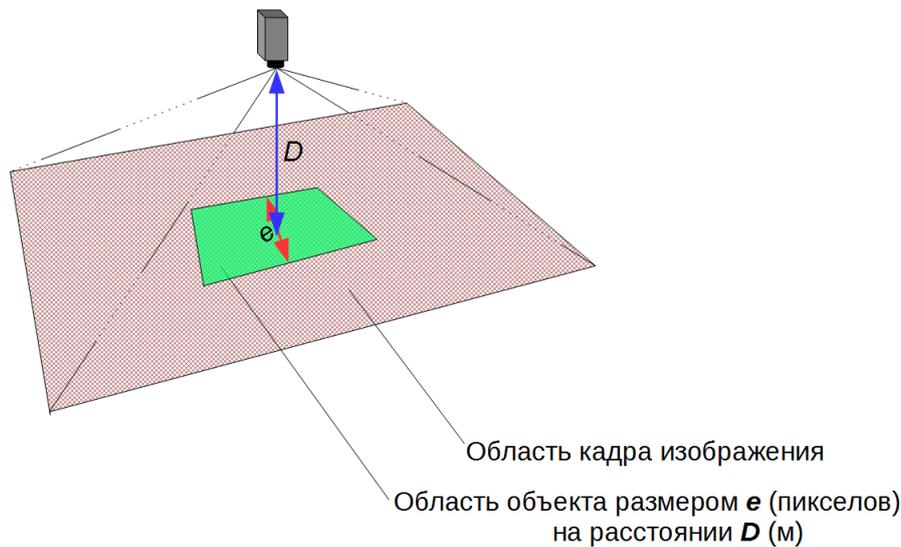


Рисунок 4. Определение значения расстояния от камеры до объекта
 Figure 4. Determining the value of the distance from the camera to the object

Заключение

Расстояние от камеры до объекта наблюдения для решения задач обнаружения, распознавания и идентификации в соответствии с заданным пространственным разрешением может быть определено с помощью известных формул, однако используемые в расчете неточные данные о фокусном расстоянии объектива, предоставляемые производителем, не позволяют получить достоверные результаты расче-

та. Отсюда следует вывод о предпочтительности применения подхода к заблаговременному определению фокусного расстояния объектива при проведении лабораторных испытаний, и далее к определению расстояния от камеры до объекта наблюдения для решения задач обнаружения, распознавания и идентификации известным способом.

Литература

- International standard IEC 62676-4 Video surveillance systems for use in security applications – Part 4: Application guidelines // IEC, Geneva, Switzerland. – 2014. – № 1. –143 p.
- Гонта А.С. «Практическое пособие по видеонаблюдению», Гонта А.С. – Москва: 2017. – 188 с.
- Рекомендации Р 78.36.002-2010 "Выбор и применение систем охранных телевизионных".
- Системы охранного телевидения. Методическое пособие. –М.: НИЦ «Охрана», 2008. – 222 с.

5. Алексеев С.А. Телевизионные системы наблюдения. Основы проектирования. Алексеев С.А., Волхонский В.В., Суханов А.В. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 126 с.
6. Идентификация, распознавание и детектирование людей по европейскому стандарту EN 50 132-7 [Electronic resource] – Access mode: <http://lib.secuteck.ru/articles2/videonabl/identifikatsiya--raspoznavanie-i-detektirovanie-lyudey-po-evropeyskomu-standartu-en-50-132-7> (Access date: 10.02.2023)
7. Владо Дамьяновски CCTV. Библия видеонаблюдения. Цифровые и сетевые технологии/Пер, с англ. - М.: ООО «Ай-Эс-Эс Пресс», 2006, – 480 с.
8. Горбачёв А.А. Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе. Горбачёв А.А., Коротаев В.В., Ярышев С.Н.- Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. - 98 с.
9. Какие бывают видео разрешения? [Electronic resource] – Access mode: <http://concept-labinsk.ru/stati/kakie-byvayut-video-razresheniya> (Access date: 10.02.2023)
10. Какие параметры видеокамер необходимо учитывать, чтобы сделать правильный выбор? [Electronic resource] – Access mode: <https://www.cctvlab.ru/articles/4/> (Access date: 10.02.2023)
11. Методика измерения угла обзора камер переднего, заднего и бокового вида [Electronic resource] – Access mode: <https://avtogsm.ru/izmerenie-ugla-kameri-p9548.html> (Access date: 10.02.2023)

References

1. International standard IEC 62676-4 Video surveillance systems for use in security applications – Part 4: Application guidelines // IEC, Geneva, Switzerland. – 2014. – № 1. –143 p.
2. Gonta A.S. "Practical guide to video surveillance", Gonta A.S. – Moscow: 2017. – 188 p.
3. Recommendations P 78.36.002-2010 "Selection and application of security television systems"
4. Security television systems. Methodical manual. –М.: SIC "Protection", 2008. – 222 p.
5. Alekseev S.A. Television surveillance systems. Fundamentals of design. Alekseev S.A., Volkhon-sky V.V., Sukhanov A.V. – St. Petersburg: ITMO University, 2015. – 126 p.
6. Identification, recognition and detection of people according to the European standard EN 50 132-7 [Electronic resource] – Access mode: <http://lib.secuteck.ru/articles2/videonabl/identifikatsiya--raspoznavanie-i-detektirovanie-lyudey-po-evropeyskomu-standartu-en-50-132-7> (Access date: 10.02.2023)
7. Vlado Damjanovski CCTV. The Bible of video surveillance. Digital and network technologies/Per, from English. - М.: LLC "AI-ES-Es Press", 2006. – 480 p.
8. Gorbachev A.A. Solid-state matrix photo converters and cameras based on them. Gorbachev A.A., Korotaev V.V., Yaryshev S.N. - St. Petersburg: ITMO Research Institute, 2013. - 98 p
9. What are the video resolutions? [Electronic resource] – Access mode: <http://concept-labinsk.ru/stati/kakie-byvayut-video-razresheniya> (Access date: 10.02.2023)
10. What parameters of video cameras should be taken into account in order to make the right choice? [Electronic resource] – Access mode: <https://www.cctvlab.ru/articles/4/> (Access date: 10.02.2023)
11. Methodology for measuring the viewing angle of front, rear and side view cameras [Electronic resource] - Access mode: <https://avtogsm.ru/izmerenie-ugla-kameri-p9548.html> (Access date: 02/10/2023)

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID (при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Лендель Екатерина Вячеславовна	ЗАО Научно-внедренческое предприятие «Болид», инженер сектора технических средств видеонаблюдения, lendekat@yandex.ru

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Lendel Ekaterina Vyacheslavovna	Scientific and innovation enterprise "Bolid", Video surveillance technical sector engineer, lendekat@yandex.ru

статья поступила в редакцию 05.03.2024	одобрена после рецензирования 11.03.2024	принята к публикации 20.03.2024
the article was submitted 05.03.2024	approved after reviewing 11.03.2024	accepted for publication 20.03.2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПРЕИМУЩЕСТВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Алексей Николаевич Майка¹ alex.mayka20@yandex.ru
Людмила Анатольевна Коробова¹ lyudmila_korobova@mail.ru

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, проспект Революции, д. 19, 394036, г. Воронеж, Россия

Аннотация. В статье приведено обоснование необходимости разработки программного инструмента, который позволит автоматически анализировать данные о реальных процессах, извлекать из них знания и предлагать улучшения для повышения производительности и эффективности. Приведены результаты анализа и описание существующих разработок для интеллектуального анализа процессов, представлены их достоинства и недостатки. Обозначены цели разработки: автоматизация анализа бизнес-процессов; выявление узких мест и проблем в бизнес-процессах, что поможет организациям устранить их и улучшить производительность; предложение оптимизированных вариантов процессов для повышения эффективности и конкурентоспособности; отслеживание изменений в бизнес-процессах и анализ их влияния на производительность. Разработанный программный продукт позволит улучшить управление бизнес-процессами, повысит конкурентоспособность и экономить ресурсы компаний.

Ключевые слова: анализ данных, программное обеспечение, бизнес-процесс, интеллектуального анализа процессов, алгоритмы обнаружения процессов.

Для цитирования: Майка А. Н., Коробова Л. А. Исследование возможностей и преимуществ разработки программного обеспечения для интеллектуального анализа процессов в российской федерации // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 34-40.

Review article

EXPLORING THE POSSIBILITIES AND BENEFITS OF DEVELOPMENT SOFTWARE FOR INTELLECTUAL ANALYSIS PROCESSES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Alexey N. Mayka¹ alex.mayka20@yandex.ru
Lyudmila A. Korobova¹ lyudmila_korobova@mail.ru

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Avenue, 19, Voronezh, 394036, Russia

Abstract: The article provides a justification for the need to develop a software tool that will automatically analyze data about real processes, extract knowledge from them and propose improvements to increase productivity and efficiency. The results of the analysis and a description of existing developments for the intelligent analysis of processes are presented, their advantages and disadvantages are presented. The objectives of the development are outlined: automation of business process analysis; identification of bottlenecks and problems in business processes, which will help organizations eliminate them and improve productivity; offering optimized process options to increase efficiency and competitiveness; tracking changes in business processes and analyzing their impact on productivity. The developed software product will improve business process management, increase competitiveness and save companies' resources.

Keywords: data analysis, software, business process, intelligent process analysis, process detection algorithms.

For citation: Mayka A. N., Korobova L. A. Exploring the possibilities and benefits of development software for intellectual analysis processes in the russian federation. *Ingenerynye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 34-40. (In Russ.).

Введение

Современный мир характеризуется динамизмом и высокой конкуренцией во всех сферах деятельности. В таких условиях предприятиям жизненно необходимо постоянно совершенствовать свою деятельность, оптимизировать бизнес-процессы и повышать эффективность работы.

Важную роль в этом играет анализ бизнес-процессов – комплексная оценка их текущего состояния с целью выявления проблемных зон и определения путей оптимизации. Традиционные методы анализа, основанные на ручном сборе и обработке данных, становятся все менее эффективными по мере того, как

информационные системы (IT-системы) предприятий разрастаются и усложняются [1].

В этой связи все более актуальным становится применение интеллектуального анализа процессов (ИАП), или Process Mining (PM). ИАП – это технология, позволяющая автоматически извлекать информацию о процессах в компании, а также повысить уровень контроля и оптимизации бизнес-процессов [2, 3].

Интеллектуальный анализ процессов представляет собой процесс анализа данных журналов событий с целью выявления, мониторинга и улучшения бизнес-процессов. Система позволяет компаниям не только описывать процессы, но и анализировать их в реальном времени, что способствует выявлению потенциальных проблем и улучшению процессов в целом. Благодаря Process Mining бизнес может улучшить свою оперативную эффективность, сократить издержки и повысить уровень обслуживания клиентов.

Актуальность разработки программного обеспечения для интеллектуального анализа процессов в России обусловлена несколькими факторами. Во-первых, это стремительное развитие цифровой экономики и необходимость оптимизации бизнес-процессов в условиях растущей конкуренции. Во-вторых, это недостаточное количество отечественных решений в области Process Mining, что затрудняет их внедрение в российских компаниях. В-третьих, это высокий уровень квалификации российских специалистов в области информационных технологий и математического моделирования, что позволяет создавать конкурентоспособные решения на внутреннем и внешнем рынке.

Основной идеей статьи является обоснование возможностей и преимуществ разработки программного обеспечения для интеллектуального анализа процессов в Российской Федерации. В рамках приведенного обзора рассмотрены существующие разработки для ИАП, их достоинства и недостатки. Обозначены цели и задачи таких разработок: автоматизация анализа бизнес-процессов; выявление узких мест и проблем в бизнес-процессах с предложениями последующего устранения их и увеличение производительности; предложение оптимизированных вариантов процессов для повышения эффективности и конкурентоспособности; отслеживание изменений в бизнес-процессах и анализ их влияния на производительность.

Методология

Методология проведения анализа включает в себя несколько этапов, направленных на

выявление целей и преимуществ программного обеспечения для интеллектуального анализа процессов, а также анализ существующих разработок и определение перспектив разработки собственного программного обеспечения для ИАП в Российской Федерации. Условно методологию анализа можно разделить на шесть этапов, каждый из которых связан с определенными целями и задачами:

1. Выявление целей и преимуществ, которые дает программное обеспечение для интеллектуального анализа процессов.

2. Обзор методов и алгоритмов, используемых в ИАП.

3. Поиск и отбор информации о существующих разработках для интеллектуального анализа процессов. Анализ преимуществ и недостатков существующих разработок.

4. Определение целей и направлений разработки инновационного программного обеспечения для ИАП в Российской Федерации, с учётом мирового опыта и анализа существующих решений.

5. Анализ факторов, влияющих на актуальность разработки программного обеспечения для ИАП в России.

6. Рассмотрение примеров успешного применения ИАП в различных отраслях.

Результаты обзора

В рамках статьи был проведен анализ методологии и технологии интеллектуального анализа процесса и возможностей его реализации в виде программного продукта на территории Российской Федерации.

На первом этапе проводился анализ литературы и других источников информации, направленный на выявление целей и преимуществ, которые может предоставить программное обеспечение для ИАП. Были изучены различные подходы и методы, используемые в ИАП, а также определены ключевые направления развития данной области.

Благодаря проведенному анализу выявлено, что программное обеспечение для ИАП предоставляет ряд преимуществ предприятиям, которые стремятся оптимизировать свои бизнес-процессы. Одной из основных целей разработки такого программного обеспечения является автоматизация сбора и анализа данных о бизнес-процессах, что позволяет значительно сократить время на эти процессы и увеличить их эффективность. ИАП позволяет выявлять слабые и узкие места в бизнес-процессах, которые невидимы при ручном анализе. Это, в свою очередь, позволяет

компаниям устранить эти проблемы и улучшить производительность.

ИАП предоставляет возможность отслеживать изменения в бизнес-процессах и анализировать их влияние на производительность. Это позволяет компаниям быстро реагировать на изменения и принимать своевременные решения.

Таким образом, цели и преимущества, которые дает программное обеспечение для интеллектуального анализа процессов, заключаются в автоматизации сбора и анализа данных о бизнес-процессах, выявлении слабых мест и узких мест в бизнес-процессах, отслеживании изменений в бизнес-процессах и анализе их влияния на производительность. Это позволяет компаниям устранить проблемы и улучшить производительность, а также принимать своевременные решения в условиях быстрого изменения бизнес-среды.

На втором этапе выявлены методы и алгоритмы, используемые в ИАП для анализа данных, моделирования и оптимизации бизнес-процессов. Изучены применяемые подходы к решению таких задач, что позволило сделать вывод о наиболее эффективных методах и алгоритмах, используемых в практике ИАП. Основные методы можно выделить в три класса:

1. *Методы сбора данных*: для сбора данных о процессах используются различные методы, такие как журналы событий, интервью с сотрудниками, анализ документации и т.д.

2. *Методы анализа данных*: для анализа данных о процессах используются различные алгоритмы и техники, такие как статистический анализ, семантический анализ и т.д.

3. *Методы визуализации данных*: для визуализации данных о процессах используются различные инструменты и техники, такие как графики, диаграммы, карты процессов и т.д.

В частности, для повышения качества конечного продукта для интеллектуального анализа и прогнозирования процессов, так же используют технологии машинного обучения [4].

Алгоритмы обнаружения процессов

- *Alpha*-алгоритм - алгоритм используется для обнаружения процессов в журналах событий. Он основан на анализе последовательностей событий и может выявлять различные варианты процессов, которые затем могут быть использованы для моделирования и анализа.

- Индуктивный майнер (*Inductive Miner*) - позволяет извлекать процессные модели из данных журналов событий. Он основан на об-

наружении общих шаблонов в последовательностях событий и представлении этих шаблонов в виде процессной модели [5].

Алгоритмы временной аналитики

- Функция плотности времени - алгоритм используется для анализа временных характеристик процессов. Он позволяет выявлять узкие места и задержки в процессах, что помогает оптимизировать их выполнение.

- Временные ряды - методы временных рядов могут быть использованы для анализа изменений во времени, что позволяет выявлять сезонность, цикличность и тренды в процессах.

Алгоритмы классификации и кластеризации

- Метод *k*-средних (*k-means*) - используется для группировки событий в кластеры на основе их характеристик. Он может быть применен для идентификации различных типов процессов и выявления паттернов в данных журналов событий.

- Метод опорных векторов (*SVM*) - метод может быть использован для классификации процессов и прогнозирования их характеристик на основе обучающих данных.

На третьем этапе проведен поиск и отбор информации о существующих разработках для ИАП. Были изучены как отечественные, так и зарубежные решения, используемые в различных отраслях для оптимизации бизнес-процессов. Выявлено, что одними из наиболее популярных и эффективных решений для ИАП признаны следующие:

- *Celonis* предлагает комплексную платформу *Process Mining*, которая позволяет не только визуализировать процессы, но и автоматически моделировать их на основе данных журналов событий. *Celonis* интегрируется с различными системами управления предприятием (*ERP*) и системами управления процессами (*BPM*), что обеспечивает анализ больших объемов данных и возможность проведения корреляционного анализа между процессами [6].

- *Disco* фокусируется на анализе временных характеристик процессов. *Disco* помогает выявлять узкие места и задержки, оптимизируя тем самым их выполнение. Программа обладает интуитивно понятным интерфейсом, позволяет проводить анализ в реальном времени и поддерживает широкий спектр форматов данных [7].

- *UiPath Process Mining* - это решение предлагает высокую степень автоматизации и возможность интеграции с платформой *RPA* (*Robotic Process Automation*). *UiPath Process*

Mining интегрируется с системами управления предприятием и автоматически моделирует

процессы, что значительно упрощает их анализ и оптимизацию [8].

Таблица 1. Назначение и преимущества существующих решений для ИАП

Table 1. Purpose and advantages of existing IAP solutions

Приложение / Application	Назначение / Assignment	Преимущества / Benefits
<i>Celonis</i> [6]	Визуализация процессов, автоматическое моделирование	Интеграция с <i>ERP</i> и <i>BPM</i> системами, анализ больших данных
<i>Disco</i> [7]	Анализ временных характеристик процессов	Интуитивный интерфейс, анализ в реальном времени
<i>UiPath Process Mining</i> [8]	Интеграция с системами управления предприятием	Автоматизация, интеграция с <i>RPA</i> платформой

Четвертый этап методологии разработки инновационного программного обеспечения для ИАП в России посвящен формированию цели и направлений в соответствии мировым трендам и требованиям российского рынка.

Ключевым направлением разработки является создание гибкой и настраиваемой платформы для анализа и оптимизации бизнес-процессов, которая будет учитывать специфику российских предприятий и особенности российского законодательства. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность интеграции с существующими системами управления предприятием и базами данных.

В связи с изучением данных программ, их возможностей и рынка, программную разработку предлагается следующими идеями и технологиями:

- **Разработка модулей искусственного интеллекта и машинного обучения.** Добавление возможностей машинного обучения для автоматического обнаружения аномалий в процессах и предсказания возможных улучшений [4].

- **Гибкий и настраиваемый интерфейс.** Предоставление пользователям возможности настройки интерфейса и отчетов в соответствии с их уникальными потребностями и бизнес-процессами.

- **Создание интерфейсов для интеграции с внешними системами и сервисами, такими как ERP, CRM, SCM и другими.** Добавление интеграции с различными системы на территории Российской Федерации для беспрепятственного обмена данными между системами.

- **Внедрение механизмов безопасности и защиты данных, соответствующих российскому законодательству.** Обеспечивание обмена и хранения данных согласно законом РФ для повышения защиты конфиденциальной информации и предотвращения несанкционированного доступа к данным.

- **Интеграция с блокчейном.** Реализация механизмов блокчейна для обеспечения

безопасности, целостности и прозрачности данных, особенно в областях, где важна аудитоприводность и недопустимость фальсификаций [5].

- **Расширенная аналитика.** Добавление продвинутых аналитических инструментов, таких как прогнозирование времени выполнения процессов, оптимизация маршрутов и динамическое рекомендательное моделирование.

- **Интеграция с Интернетом вещей (IoT).** Предоставление возможности анализа данных, собираемых устройствами Интернета вещей, для более полного понимания и оптимизации бизнес-процессов.

- **Поддержка мультиоблаковых сред.** Разработка возможности работы с данными из различных облаков, что позволит пользователям интегрировать данные из различных источников.

Актуальность разработки программного обеспечения для ИАП в России определяется в рамках пятого этапа. Актуальность обосновывается рядом факторов, которые необходимо учесть при планировании и реализации такого проекта. Ниже приведено описание установленных факторов, влияющих на актуальность разработки программного обеспечения для ИАП в России.

- **Рост объема данных.** В условиях растущего объема данных, генерируемых предприятиями, возрастает потребность в эффективных инструментах для их анализа и оптимизации. Программное обеспечение для ИАП позволяет обрабатывать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и оптимизировать бизнес-процессы.

- **Увеличение сложности бизнес-процессов.** Современные бизнес-процессы становятся все более сложными, что затрудняет их анализ и оптимизацию. Программное обеспечение для ИАП позволяет визуализировать бизнес-процессы, выявлять узкие места и оптимизировать их выполнение.

- **Необходимость повышения эффективности.** Предприятия стремятся повысить эффективность своих бизнес-процессов для достижения конкурентных преимуществ. Программное обеспечение для ИАП позволяет автоматизировать сбор и анализ данных, что повышает эффективность бизнес-процессов.

- **Развитие технологий.** Развитие технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение, блокчейн и Интернет вещей, создает новые возможности для анализа и оптимизации бизнес-процессов. Программное обеспечение для ИАП может интегрироваться с этими технологиями, что позволяет предприятиям использовать их преимущества.

- **Требования законодательства.** В России действуют требования законодательства в области защиты данных и безопасности, которые необходимо учитывать при разработке программного обеспечения для ИАП. Соответствие программного обеспечения требованиям законодательства является важным фактором его актуальности.

- **Потребность в оперативном управлении.** Предприятиям необходимо оперативно реагировать на изменения в бизнес-среде, что затрудняется при ручном анализе данных. Программное обеспечение для ИАП позволяет автоматизировать сбор и анализ данных, что обеспечивает оперативное управление бизнес-процессами.

Подтверждение необходимости разработки ИАП на конкретных примерах в методологии выделено как шестой этап. Несмотря на сложность разработки и большие затраты ресурсов, использование ИАП только набирает обороты. Исследование "*The Impact of Process Mining on Business Process Improvement*" [9] ("Влияние *Process Mining* на улучшение бизнес-процессов") обнаружило, что использование таких инструментов является крайне эффективными методами анализа и оптимизации процессов. Применение ИАП в компаниях *Adidas*, *ING Bank* и *Lufthansa* демонстрирует преимущества его использования.

Adidas использовал технологию ИАП для сокращения времени обработки заказов. Благодаря анализу своего процесса обработки заказов, компания выявила узкие места, такие как повторяющиеся действия и ненужные проверки. После анализа и оптимизации процесса, компания смогла сократить время обработки заказов на 25%. [10].

ING Bank стремился повысить эффективность работы *back-office*. Компания ис-

пользовала *Process Mining* для анализа своих операций. Были выявлены неэффективные процессы, такие как рутинные задачи. Благодаря автоматизации этих задач, *ING Bank* смог повысить эффективность работы *back-office* на 15% [11].

Deutsche Lufthansa AG стремилась сократить расходы на содержание ИТ-инфраструктуры. Компания использовала ИАП для анализа своего ИТ-ландшафта. Были выявлены неиспользуемые ресурсы и дублирование функций. По окончании анализа, отключения неиспользуемых ресурсов и устранения дублирования функций, *Lufthansa* сократила свои расходы на 10% [12].

Обсуждение результатов

В ходе исследования проанализированы существующие разработки для интеллектуального анализа процессов, их достоинства и недостатки. Установлено, что наиболее популярными и эффективными решениями для интеллектуального анализа процессов являются *Celonis*, *Disco* и *UiPath Process Mining*. Эти программы предоставляют широкие возможности для визуализации, моделирования и оптимизации бизнес-процессов, а также интеграции с различными системами управления предприятием. Все представленные программные решения являются зарубежными разработками. В связи с этим существуют пробелы в области интеграции с внешними системами и российскими сервисами, такими как *ERP*, *CRM*, *SCM* и другими, а также в области безопасности и защиты данных, соответствующих российскому законодательству.

Определены цели разработки инновационного программного обеспечения для ИАП в Российской Федерации, с учётом мирового опыта и анализа существующих решений. Ключевым направлением разработки является создание гибкой и настраиваемой платформы для анализа и оптимизации бизнес-процессов, которая будет учитывать специфику российских предприятий и особенности российского законодательства. Необходимо предусмотреть возможность интеграции с существующими системами управления предприятием и базами данных, а также разработать модули искусственного интеллекта и машинного обучения для автоматического обнаружения аномалий в процессах и прогнозирования возможных улучшений.

Заключение

В результате проведенного анализа, стало очевидно, что разработка инновационного программного обеспечения для интеллектуального анализа процессов в Российской Федерации является важной и актуальной задачей. Существующие решения, предоставляют широкие возможности для визуализации, моделирования и оптимизации бизнес-процессов, однако имеют определенные ограничения в отношении интеграции с внешними системами и российскими сервисами, а также в области безопасности и защиты данных.

Для успешной разработки программного обеспечения для ИАП в России необходимо не только ограничиваться опытом и возможностями аналогов, но и расширять саму технологию ИАП, дополняя её сторонними технологиями. Например, использование искусственного интеллекта и машинного обучения для автоматического обнаружения аномалий в процессах

и прогнозирование возможных улучшений, интеграция с системами управления предприятием и базами данных, а также обеспечение безопасности и защиты данных, соответствующих российскому законодательству.

Разработка инновационного программного обеспечения для ИАП позволит российским предприятиям оптимизировать бизнес-процессы компаний, увеличить эффективность и конкурентоспособность на рынке. Это также способствует развитию экономики страны и создает новые возможности для роста и инноваций.

В связи с этим, необходимо продолжать исследования и разработки в области ИАП, направленные на создание гибкой и настраиваемой платформы для анализа и оптимизации бизнес-процессов, которая будет учитывать специфику российских экономики и особенности российского правового пространства.

Литература

1. Афанасьев, В. Г. Процессный подход к управлению: учеб. пособие / В. Г. Афанасьев. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 224 с.
2. Иванов, И. И. Интеллектуальный анализ бизнес-процессов / И. И. Иванов // Бизнес-информ. – 2023. – № 4. – С. 12-17.
3. Николенко, Г. Р. Разработка программного модуля для управления проектом на платформе ELMA / Г. Р. Николенко, Л. А. Коробова // Наука сегодня: глобальные вызовы, пути развития : материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 22 июня 2023 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Манускрипт", 2023. – С. 68-73. – EDN JHVHYU.
4. Петрова, П. П. Интеграция Process Mining с машинным обучением [Электронный ресурс] / П. П. Петрова. – URL: <https://research.aimultiple.com/machine-learning-process-mining/> (дата обращения: 16.11.2023).
5. Коробова, Л. А. Принцип работы децентрализованной информационной системы денежных переводов / Л. А. Коробова, С. С. Бондаренко, Д. П. Мухин // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2022. – Т. 84, № 3(93). – С. 337-344. – EDN OIOYIZ.
6. Платформа Celonis: <https://www.celonis.com/>
7. Платформа Disco: <https://en.wikipedia.org/wiki/Disco>
8. Платформа UiPath Process Mining: <https://www.uipath.com/product/process-mining>
9. The Impact of Process Mining on Business Process Improvement: <https://roboyo.global/blog/process-mining-the-secret-weapon-for-business-process-improvement/>
10. Adidas: <https://www.gameplan-a.com/2022/05/how-process-automation-can-make-us-more-creative-podcast/>
11. ING Bank: <https://www.ing.com/Newsroom/News/ING-invests-in-cloud-banking.htm>
12. Lufthansa: <https://www.celonis.com/customer-success-stories/lufthansa-celosphere-session-process-mining/>

References

1. Afanasyev, V. G. Process approach to management: studies. the manual / V. G. Afanasyev. – M.: INFRA-M, 2017. – 224 p.
2. Ivanov, I. I. Intellectual analysis of business processes / I. I. Ivanov // Business inform. - 2023. - No. 4. – pp. 12-17.

3. Nikolenko, G. R. Development of a software module for project management on the ELMA board / G. R. Nikolenko, L. A. Korobova // *Science Today: global challenges, ways of development : proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, June 22, 2023.* – Rostov-on-Don: Limited Liability Company "Publishing House "Manuscript", 2023. – pp. 68-73. – EDN JHVHYU.
4. Petrova, P. P. Integration of Process Mining with machine learning [Electronic resource] / P. P. Petrova. – URL: <https://research.aimultiple.com/machine-learning-process-mining> / (date of address: 11/16/2023).
5. Korobova, L. A. The principle of operation of a decentralized information system of money transfers / L. A. Korobova, S. S. Bondarenko, D. P. Mukhin // *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies.* - 2022. – Vol. 84, No. 3(93). – pp. 337-344. – EDN OIOYIZ.
6. Celonis Platform: <https://www.celonis.com/>
7. The Disco Platform: <https://en.wikipedia.org/wiki/Disco>
8. UiPath Process Mining Platform: <https://www.uipath.com/product/process-mining>
9. The Impact of Process Mining on Business Process Improvement: <https://roboyo.global/blog/process-mining-the-secret-weapon-for-business-process-improvement/>
10. Adidas: <https://www.gameplan-a.com/2022/05/how-process-automation-can-make-us-more-creative-podcast/>
11. ING Bank: <https://www.ing.com/Newsroom/News/ING-invests-in-cloud-banking.htm>
12. Lufthansa: <https://www.celonis.com/customer-success-stories/lufthansa-celosphere-session-process-mining/>

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID (при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Майка Алексей Николаевич	магистрант ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", кафедры «Информационных технологий, моделирования и управления», alex.mayka20@yandex.ru
Коробова Людмила Анатольевна	кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", доцент кафедры «Информационных технологий, моделирования и управления», Ljudmila_korobova@mail.ru SPIN-код 1098-6488 ORCID 0000-0003-1349-732X Scopus Author ID: 57202287474

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Mayka Alexey Nikolaevich	undergraduate student Voronezh State University of Engineering Technologies, Department of Information Technology, Modeling and Management, alex.mayka20@yandex.ru
Korobova Ludmila Anatolievna	PhD, Associate Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Associate Professor of the Department of Information Technology, Modeling and Management, Ljudmila_korobova@mail.ru SPIN-код 1098-6488 ORCID 0000-0003-1349-732X Scopus Author ID: 57202287474

статья поступила в редакцию 05.03.2024	одобрена после рецензирования 13.03.2024	принята к публикации 21.03.2024
the article was submitted 05.03.2024	approved after reviewing 13.03.2024	accepted for publication 21.03.2024

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Евгений Васильевич Кошелев

lyutsian-zzz@yandex.ru

Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 116, г. Тамбов, 392000, Россия

Аннотация. Статья посвящена решению задачи формирования целевой функции с ограничениями, применяемых при оптимизации конкретных параметров информационных систем. Обоснована необходимость контроля учета ограничений при решении задачи оптимизации на этапах проектирования информационных систем, а так же обоснована важность выбора целесообразного ограничения для функции оптимизации. Предложен алгоритм формирования целевой функции, учитывающий ограничения при оптимизации параметров информационных систем. Приведён пример формирования функции оптимизации и ограничений по предложенному алгоритму.

Ключевые слова: целевая функция, оптимизация, ограничения, проектирование, информационные системы

Для цитирования: Кошелев Е. В. Алгоритм формирования целевой функции, учитывающей ограничения при оптимизации информационной системы // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 41-46.

Original article

THE ALGORITHM FOR FORMING AN OBJECTIVE FUNCTION THAT TAKES INTO ACCOUNT LIMITATIONS IN OPTIMIZING THE INFORMATION SYSTEM

Evgeny V. Koshelev

lyutsian-zzz@yandex.ru

Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 116, Tambov, 392000, Russia

Annotation. The article is devoted to solving the problem of forming an objective function with constraints applied in optimizing specific parameters of information systems. The necessity of controlling the consideration of constraints in solving the optimization problem at the design stages of information systems is substantiated, as well as the importance of choosing an appropriate constraint for the optimization function is justified. An algorithm for the formation of the objective function is proposed, taking into account the limitations in optimizing the parameters of information systems. An example of the formation of an optimization function and constraints according to the proposed algorithm is given.

Keywords: objective function, optimization, constraints, design, information systems

For citation: Koshelev E. V. The algorithm for forming an objective function that takes into account limitations in optimizing the information system. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 41-46. (In Russ.).

Введение

При проектировании информационных систем (ИС) обычно возникает необходимость укладываться в определенные рамки и критерии – по затратам на создание ИС, сложности структуры проектируемой ИС, удобности и понятности интерфейса, и др. Эти ограничения и требования помогают определить общие цели и направление разработки, обеспечивая баланс между функциональностью системы и ее возможностями. Так, например, затраты являются одним из основных ограничений при проектировании информационных систем, поскольку необходимо учитывать бюджет и ресурсы, которые доступны для выделения на разработку и внедрение системы. Сложность структуры системы играет важную роль, поскольку она должна быть построена таким образом, чтобы обеспечить эффективное функционирование и управле-

ние данными. Это и многое другое создаёт границы, в которых необходимо укладываться при проектировании информационных систем. В таких ситуациях целесообразно использовать целевую функцию.

Целевая функция используется при проектировании информационных систем для определения основных целей и задач, которые должны быть достигнуты при разработке системы. Она помогает определить, какие функциональные и нефункциональные требования должны быть учтены при создании системы, и какие ограничения и ожидания заказчика должны быть учтены при ее разработке.

Целевая функция используется для оценки качества и эффективности информационной системы, а также для её оптимизации. В случае необходимости целевая функция может быть пересмотрена и доработана для улучшения производительности и функциональности ИС.

Составление целевой функции крайне важная задача при проектировании ИС. Однако нет общей теории построения целевых функций, есть только некоторые рекомендации. Целевая функция должна составляться по указаниям технического задания о критерии оптимизации путем анализа внешних параметров системы и ограничений на них.

Правильное формирование ограничений для целевой функции является критически важным аспектом при проектировании информационной системы. Ограничения определяют допустимый диапазон значений переменных, которые могут принимать параметры системы, и ограничивают пространство поиска оптимального решения. Если ограничения неверно сформулированы или пропущены, это может привести к неверным результатам оптимизации или даже к невозможности достижения желаемого результата. Например, если не учесть физические или технические ограничения системы, оптимизация может привести к нестабильной или невозможной к реализации конфигурации системы.

Правильное формирование ограничений помогает определить рациональные границы для поиска оптимального решения, исключает нецелесообразные варианты и обеспечивает сбалансированный результат, учитывающий все аспекты и ограничения проекта. Таким образом, важно тщательно анализировать и определять ограничения для целевой функции, чтобы гарантировать эффективность и успешность оптимизации системы.

Различные авторы в своих статьях [1-5], решающие задачи оптимизации с ограничениями не описывают, процесс их получения, или на основе чего было принято решение использовать именно эти. До настоящего момента не предложен, не сформулирован алгоритм последовательности выбора ограничений для целевых функций. По результатам анализа существующих подходов к оптимизации [6-8], определены основные проблемы выбора ограничений: недостаточное понимание целей и требований при проектировании ИС, отсутствие формализованных подходов и моделей, многокритериальность.

В данной статье предложена последовательность шагов для формирования целевой функции при проектировании ИС в виде схемы, представленной на рисунке 1.

С учётом этой схемы описаны принципы формирования ограничений в оптимизационных функциях.

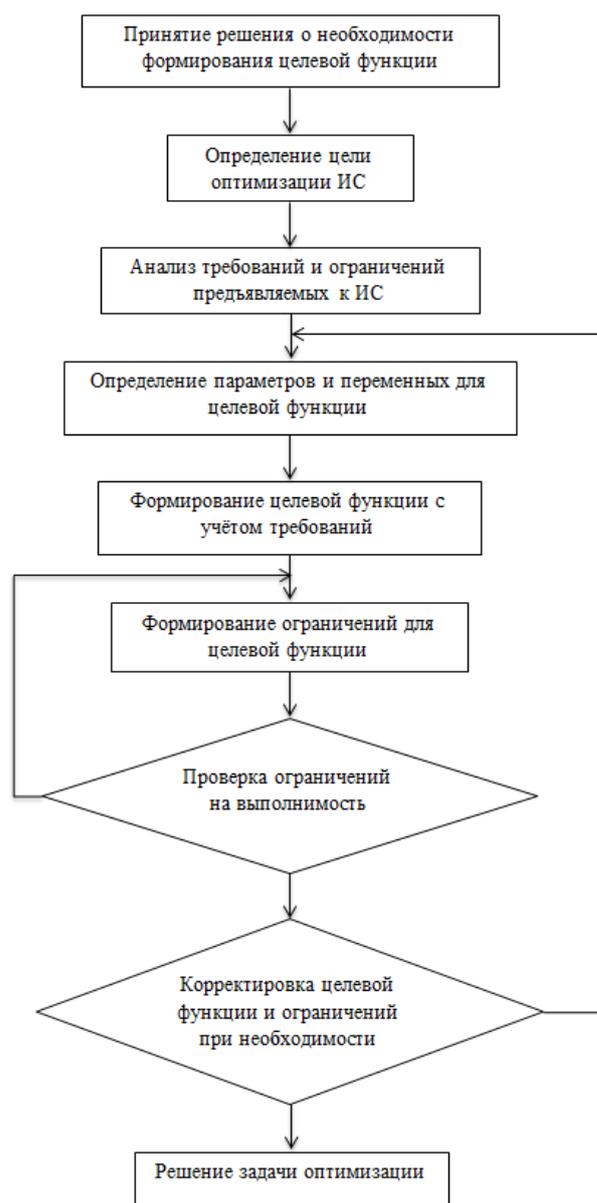


Рисунок 1. Схема алгоритма формирования целевой функции

Figure 1. Representation of objective function with constraints

Материалы и методы

В работе [9] «Ограничения объективно появляются при проектировании технических объектов и объектов управления и вытекают из конкретной физической и технологической реализуемости внутренних параметров элементов, ограниченности ресурсов и т. п.». Авторы этого труда считают, что, когда речь заходит про оптимизацию, учёт ограничений «... бывает принципиально необходим». Так, например, если имеется целевая функция вида $f(x) = a + bx$, а ограничения на параметр x не

наложены, то задача поиска экстремального значения $f(x)$ становится некорректной. Ограничения позволяют сузить область решений, и искомым экстремум становится условным.

В общем виде целевая функция имеет вид [10]:

$$f(x) \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$g_i(x) = c_i \text{ для } i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$h_j(x) \geq d_j \text{ для } j = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Ограничения $g_i(x)$ и $h_j(x)$ – это обозначение для i -ой и j -ой функции в наборе функций, то есть g_1, g_2, g_3 и так далее (h_1, h_2, h_3). x – это аргумент или входные данные для функции. А c_i и d_j – это конкретное значение, которое функция возвращает при данном аргументе x .

Функция (1) стремится к минимуму, следовательно, стоит задача минимизации, например, минимизация времени отклика элемента в системе. Следует отметить, что ограничения бывают «мягкие» и «жесткие».

В задачах оптимизации с ограничениями, «мягкие» ограничения представляют собой условия, которые могут быть нарушены в процессе оптимизации, но их нарушение обычно влечет штраф в целевой функции. Другими словами, ограничения, которые предпочтительны, но не обязательно должны выполняться. Жесткие ограничения, напротив, не могут быть нарушены при решении задачи оптимизации.

Пример мягкого ограничения в проектировании информационных систем может быть ограничение на время отклика системы. Хотя пользователи могут предпочитать быстрый отклик системы, незначительное увеличение времени отклика может быть допустимо, если это снижает затраты на разработку или оборудование.

Пример жесткого ограничения в проектировании информационных систем – ограничение на количество одновременно поддерживаемых пользователей. Если система физически не способна обслуживать большее количество пользователей, это ограничение должно быть строго соблюдено для обеспечения эффективной работы системы.

Задачу оптимизации с ограничениями решается и при помощи линейного программирования. В общем виде задача линейного программирования имеет следующую формулировку: найти значения n переменных $x_1,$

x_2, \dots, x_n , которые обращают в \min (\max) линейную функцию $F(x)$ следующего вида [11]:

$$F(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n + c_0 = \sum_{j=1}^n c_jx_j \rightarrow \min(\max), \quad (4)$$

при этом переменные должны удовлетворять ограничениям:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{cases}, \quad (5)$$

где $x_j \geq 0$ для $j = \overline{1, n}$.

Рассмотрим формирование целевой функции и ограничений в следующем разделе.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть информационная система представлена в виде кортежа:

$$M(S, I, R) = \langle HC, SC, Z \rangle, \quad (6)$$

где S – система, состоящая из набора элементов E и набора связей между ними L , $S = (E, L)$;

I – множество информационных процессов, которые включают в себя сбор, обработку, хранение, анализ и предоставление информации;

R – множество регулятивных процессов, которые обеспечивают управление информационной системой и ее взаимодействие с внешней средой;

HC – множество аппаратных компонентов ИС;

SC – множество программных компонентов ИС;

Z – совокупность критериев оценки эффективности.

Цели оптимизации информационной системы различны – повышение производительности или эффективности работы системы и т.п. Например, увеличение скорости выполнения операций, снижение времени ответа системы на запросы пользователей, повышение надежности и безопасности хранения данных, сокращение издержек на обслуживание и поддержку системы, увеличение удовлетворенности пользователей и повышение конкурентоспособности компании.

Оптимизация информационной системы сразу по нескольким параметрам может быть очень эффективной, так как позволяет улучшить работу системы в целом. Однако, при этом возникает сложность вычислений из-за

того, что ограничения по разным критериям могут взаимоисключать друг друга.

Для того чтобы оптимизировать информационную систему по нескольким параметрам, необходимо составить систему целевых функций, которые будут отражать все требования и желаемые характеристики системы. Эти целевые функции могут быть различными, например, повышение производительности, снижение издержек, увеличение качества обслуживания и другие.

При оптимизации информационной системы по нескольким параметрам необходимо учесть не только различные критерии и ограничения, но и взаимосвязи между ними. Например, повышение производительности системы может привести к увеличению издержек, или снижению качества обслуживания. Поэтому необходимо проанализировать эти взаимосвязи и найти оптимальное решение, которое удовлетворит все поставленные требования.

Для примера остановимся на снижении времени ответа системы. В общем случае, время ответа информационной системы для пользователя считается приемлемым, если не превышает нескольких секунд. Однако это может зависеть от конкретного контекста и ожиданий пользователей. Например, для интернет-магазина или онлайн-банка время ответа системы должно быть минимальным, чтобы удовлетворить пользователей, в то время как для других типов систем, таких как системы мониторинга, более длительное время ответа может быть приемлемым.

При минимизации времени ответа информационной системы нужно учитывать следующие параметры:

- среднее время обработки запросов на сервере;
- среднее время передачи данных между клиентом и сервером;
- задержка при выполнении операций на стороне сервера или клиента.

Целевая функция для минимизации времени ответа информационной системы сформулирована следующим образом:

$$Z(ART, ATT, DE) = ART + ATT + DE \rightarrow \min, \quad (7)$$

где ART – среднее время обработки запросов на сервере;

ATT – среднее время передачи данных между клиентом и сервером;

DE – задержка при выполнении операций.

Для формулирования ограничений к целевой функции минимизации времени ответа информационной системы, нужно учитывать следующие условия:

– среднее время обработки запроса на сервере не должно превышать определенное значение;

– среднее время передачи данных между клиентом и сервером должно быть не менее определенного значения;

– задержка при выполнении операций на стороне сервера или клиента должна быть ниже установленного порога.

Таким образом, выражение ограничений для оптимизационной задачи – минимизации времени ответа информационной системы записано следующим образом:

$$\begin{cases} ART \leq ART_{\max}; \\ ATT \geq ATT_{\min}; \\ DE \leq DE_{\max}; \end{cases} \quad (8)$$

где: ART_{\max} – допустимое максимальное время обработки запроса;

ATT_{\min} – минимальное допустимое время передачи данных;

DE_{\max} – максимально допустимая задержка.

Таким образом, ограничения помогут установить предельные значения для временных параметров и обеспечить оптимальную производительность информационной системы.

Вывод

В результате исследования было обосновано, что формирование целевой функции и выбор ограничений оказывает существенное влияние на качество информационных систем. Правильный выбор ограничений помогает определить рациональные границы для поиска оптимального решения, что в свою очередь способствует обеспечению эффективности информационной системы.

Литература

1. Карпушкин С. В., Обухов А. Д., Архипов А. Е. Выбор структуры и параметров систем визуализации тренажерных комплексов // Инженерные технологии. 2023. №2. С. 41-51.

2. Дворецкий С. И., Дворецкий Д. С., Акулинин Е. И., Усачёв В. Б., Беляев В. А. Постановка задачи оптимизации циклических адсорбционных процессов разделения газовых смесей в условиях неопределенности и методы ее решения // Инженерные технологии. 2023. №1. С.35-44.
3. Коковкин Д. А. Об оптимальном управлении запасами торгового предприятия // Инженерные технологии. 2023. №1. С. 45-49.
4. Боровик В. В., Смирнова П.М. Принятие решений в нечетких условиях // Инженерные технологии. 2023. №1. С. 72-76.
5. Алексеев В. В., Яковлев А. В., Мазалов А. Н., Косинов Е. С. Аналитическая модель оптимизации ресурсов сетевой информационной системы // Надежность и качество: труды международного симпозиума. 2020. Т. 1. С. 302-305.
6. Алексеев В. В., Мазалов А. Н., Яковлев А. В. Разработка аналитической модели оптимизации размещения ресурсов по узлам распределенных информационных систем : научная статья // Вестник Воронежского института МВД России. Воронеж. 2020. № 4. С. 55-62.
7. Мохов В. А. Расчёт целевой функции на основе дискретного разложения непрерывных периодических функций // Известия тульского государственного университета. технические науки. 2021. № 4. С. 368-374.
8. Плотников П. В. Подход к оптимизации структуры информационной системы // Экономика и управление. 2018. № 2 (148). С. 92-95.
9. Кашеварова Г. Г., Пермякова Т. Б., Численные методы решения задач строительства на ЭВМ [Электронный ресурс] : учебное пособие. 2-е изд. перераб. и доп. - Пермь : ПНИПУ, 2007 - 352 с.. - ISBN 978-5-88151-816-5.
10. Прокопенко Н. Ю. Методы оптимизации [Текст]: учеб. пособие /Н. Ю. Прокопенко; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018 – 118 с. ISBN 978-5-528-00287-3
11. Методы оптимизации систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Жидкова, О. Ю. Мельникова. – Электрон. дан. и прогр. (7 Мб). – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018 – 149 с.

References

1. Karpushkin S. V., Obukhov A.D., Arkhipov A. E. The choice of structure and parameters of visualization systems of training complexes // Engineering technologies. 2023. No.2. pp. 41-51.
2. Dvoretzky S. I., Dvoretzky D. S., Akulinin E. I., Usachev V. B., Belyaev V. A. Formulation of the problem of optimization of cyclic adsorption processes of separation of gas mixtures under conditions of uncertainty and methods of its solution // Engineering technologies. 2023. No. 1. pp. 35-44.
3. Kokovkin D. A. On optimal inventory management of a trading enterprise // Engineering technologies. 2023. No. 1. pp. 45-49.
4. Borovik V. V., Smirnova P.M. Decision-making in fuzzy conditions // Engineering technologies. 2023. No.1. С. 72-76.
5. Alekseev V. V., Yakovlev A.V., Mazalov A. N., Kosinov E. S. Analytical model of optimization of network information system resources // Reliability and quality: proceedings of the international Symposium. 2020. Vol. 1. pp. 302-305.
6. Alekseev V. V., Mazalov A. N., Yakovlev A.V. Development of an analytical model for optimizing resource allocation across nodes of distributed information systems : scientific article // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. Voronezh. 2020. No. 4. pp. 55-62.
7. Mokhov V. A. Calculation of the objective function based on the discrete decomposition of continuous periodic functions // Proceedings of Tula State University. technical sciences. 2021. No. 4. pp. 368-374.
8. Plotnikov P. V. An approach to optimizing the structure of an information system // Economics and management. 2018. No. 2 (148). pp. 92-95.
9. Kashevarova G. G., Permyakova T. B., Numerical methods for solving construction problems on a computer [Electronic resource] : textbook. 2nd ed. reprint. and additional - Perm : PNRPU, 2007 - 352 p.. - ISBN 978-5-88151-816-5.
10. Prokopenko N. Y. Optimization methods [Text]: textbook. the manual /N. Y. Prokopenko; Nizhegorod state architectural - builds. Univ. Novgorod: NNGASU, 2018 – 118 p. ISBN 978-5-528-00287-3
11. Methods of system optimization [Electronic resource] : textbook / N. V. Zhidkova, O. Yu. Melnikova. – Electron. dan. and the program (7 Mb). – Saratov: Ai Pi Er Media, 2018 – 149 p.

Сведения об авторах

ФИО	<i>Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)</i>
Кошелев Евгений Васильевич	аспирант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кафедра «Информационные системы и защита информации», lyutsian-zzz@yandex.ru ORCID 0009-0001-1070-7670

Authors information

Last name, first name, patronymic	<i>Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)</i>
Koshelev Evgeny Vasilyevich	Postgraduate student, Tambov State Technical University, Department of Information Systems and Information Security, lyutsian-zzz@yandex.ru ORCID 0009-0001-1070-7670

статья поступила в редакцию 14.03.2024	одобрена после рецензирования 20.03.2024	принята к публикации 29.03.2024
the article was submitted 14.03.2024	approved after reviewing 20.03.2024	accepted for publication 29.03.2024

Review article

UDC 66.014

ASIAN PATENTS ON NONISOCYANATE POLYURETHANES

Oleg Figovsky

figovsky@gmail.com

President Israel Innovation Authority, Jerusalem Technology Park, Derech Agudat Sport Ha'poel 2, Jerusalem, 9695102, Israel

Abstract: Current patents in the field on nonisocyanate polyurethanes, applied by Asian countries. Main raw materials based on vegetable oils.

Keywords: nonisocyanate polyurethanes, cyclocarbonates, patents, Asian countries.

For citation: Figovsky O. Asian patents on nonisocyanate polyurethanes. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 47-52. (In Russ.).

Обзорная статья

УДК 66.014

ПАТЕНТЫ АЗИАТСКИХ СТРАН ПО НЕИЗОЦИАНАТНЫМ ПОЛИУРЕТАНАМ

Олег Львович Фиговский

figovsky@gmail.com

Президент Израильской Ассоциации Изобретателей, Иерусалимский технологический парк, Дерех Агудат Спорт Хапоэль 2, Иерусалим, 9695102, Израиль

Аннотация: Новые патенты в области неизоцианатных полиуретанов, выданные в странах Азии. Примеры олигомерных циклокарбонатов на основе растительного сырья.

Ключевые слова: неизоцианатные полиуретаны, циклокарбонаты, патенты, страны Азии.

Для цитирования: Фиговский О. Л. Обзор патентов в области строительства // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 47-52.

Introduction

Polyurethanes (PUs) is a product of the addition polymerization reaction between diisocyanates and diols. The main environmental issue of PU materials concerns the use of isocyanate raw materials. In fact, these compounds are harmful for human and environment. MDI and TDI, the most widely used isocyanates in PU industry, are classified as CMR (Carcinogen, Mutagen and Reprotoxic) [1]. Among all methods of non-isocyanate synthesis of polyurethane, reaction of cyclic carbonate with amine is the most attractive [2].

The practical application of nonisocyanate polyurethanes (NIPU) based on primary amine s and five-membered cyclocarbonates (CCs) (1,3,3-dioxolan-2-ones) in coatings, sealants, adhesives, etc. was largely developed back in the USSR by O. Figovsky, V. Mikheev, V. Stroganov and others in the 1970s–1990s [3]. Now main developments of NIPU are carrying out prof. Vijay Manary by US Army contract [4]. For the period 2017–2022 more than 900 patents have been obtained in this direction. Major Patent Holders:

Covestro Deutschland AG, Dow Global Technologies LLC, Sika Technology AG, 3M Innovative Properties Company, Basf SE, Henkel AG & Co. KGaA. At last time a lot of new patents were applied Chinese & other Asian inventors. Below such patents are presented.

The main part

CN109796485 (A) - Organosilicon-modified bifunctional urethane acrylate monomer and preparation method and application thereof. The invention discloses an organosilicon-modified bifunctional urethane acrylate monomer and a preparation method and application thereof. The monomer has a large organosilicon hydrophobic chain segment, the flexibility, the smoothness, the hydrophobicity and the fingerprint resistance and the drying speed of a paint film can be improved, internal stress generated during cross-linking and solidification of the paint film is reduced, and therefore, the flexibility and adhesion of the paint film are improved. The nonisocyanate polyurethane structure and amido bonds contained in the monomer can improve the flexibility, the wear resistance and the handfeeling

fullness of the paint film can be improved. The monomer contains two polymerizable acrylic ester structures, therefore, the monomer can be used for polyurethane-acrylic acid emulsion polymerization, modification of acrylic resin for stoving varnish and UV light curing, the cross-linking density of the resin can be improved, and the hardness and the salt fog resistance of the paint film can be improved. The synthesis method is simple, the reaction conditions are mild, neither organic solvents nor toxic and high-corrosion substances are adopted, and the organosilicon-modified bifunctional urethane acrylate monomer is safer and more environmentally friendly.

CN109762008 (A) - Organosilicon modified single functionality urethane acrylate monomer and preparation method and application thereof. The invention discloses an organosilicon modified single functionality urethane acrylate monomer and a preparation method and application thereof. The organosilicon modified single functionality urethane acrylate monomer has two large organosilicon hydrophobic chain segments, flexibility, smoothness, water resistance and cold and hot resistance of a paint film can be improved, meanwhile internal stress generated during cross-linking curing of the paint film can be lowered, thus the flexibility of the paint film is improved, and adhesive force of the paint film is increased; the double organosilicon hydrophobic chain segments can increase the drying speed of the paint film; the organosilicon modified single functionality urethane acrylate monomer contains a nonisocyanate polyurethane structure and amide bonds, the flexibility, abrasion resistance and hand feeling fullness of the paint film can be improved; the organosilicon modified single functionality urethane acrylate monomer contains a polymerizable acrylate structure and can serve as a functional monomer to be applied to polyurethane-acrylic acid composite emulsion polymerization, modification of acrylic resin for stoving varnish and UV light curing; and a synthesizing method is simple and mild in reaction condition, organic solvents and poisonous and highly-corrosive substances are not used, and thus the more environmentally friendly and safer effects are achieved.

CN109593451 (A) - Bisphenol AF-based lyophobic and oleophobic nonisocyanate polyurethane coating, as well as preparation method and application thereof. The invention discloses bisphenol AF-based lyophobic and oleophobic nonisocyanate polyurethane coating, as well as a preparation method and application thereof. The preparation method comprises the following steps:

synthesizing bisphenol and perfluorocyclocarbonic ester in the presence of CO₂ by using bisphenol AF and perfluoro-epoxy compound as raw materials, and further preparing high-performance nonisocyanate polyurethane coating with different amine curing agents, wherein the bisphenol AF-based cyclocarbonic ester is prepared by the steps of adding a bisphenol AF-based epoxy compound into a high pressure reactor, adding two organic solvents, adding a catalyst, introducing carbon dioxide, reacting at the pressure intensity of 0.5-4.0 Mpa, controlling the reaction temperature to be 60-180 DEG C, and reacting for 2-40 hours. The nonisocyanate polyurethane coating has excellent lyophobic and oleophobic performance and corrosion resistance, has high hardness, excellent impact resistance and chemical resistance, and is expected to become a multifunctional coating replacing traditional polyurethane.

CN109232882 (A) - Organic silicon modified gallic acid-based nonisocyanate polyurethane and preparation method thereof. The invention discloses organic silicon modified gallic acid-based nonisocyanate polyurethane and a preparation method thereof. The method comprises the steps of reacting polysiloxane having a side chain containing hydrogen with vinyl cyclic carbonate under the presence of a catalyst to prepare organic silicon cyclic carbonate, and copolymerizing with gallic acid-based cyclic carbonate and amino compounds to prepare the organic silicon modified gallic acid-based nonisocyanate polyurethane. The method for preparing the organic silicon cyclic carbonate is simple and convenient, and has mild reacting conditions; and the nonisocyanate polyurethane has excellent thermomechanical performance, and the preparation process is safe and environment-friendly.

CN108659689 (A) - Sorbitol-based nonisocyanate polyurethane coating and preparation method thereof. The invention discloses sorbitol-based nonisocyanate polyurethane coating and a preparation method thereof. The preparation method includes: adding sorbitol-based epoxy resin into a high-pressure reactor, adding catalysts, feeding carbon dioxide to keep pressure intensity in a range of 1.0-4.0 MPa, performing reaction at a reaction temperature of 60-150 DEG C for 4-30h to obtain sorbitol-based cyclic carbonate solution; well stirring sorbitol-based cyclic carbonate, a diamine curing agent or a polyamine curing agent, a solvent and an antifoaming agent under room-temperature conditions to form the

sorbitol-based nonisocyanate polyurethane coating, and performing spray coating and baking-curing to form a film. The prepared sorbitol-based cyclic carbonate is yellow transparent liquid, non-toxic and great in biodegradability. The prepared nonisocyanate polyurethane coating is high in hardness and excellent in impact resistance and chemical resistance and is expected to be excellent-performance environment-friendly coating for substituting traditional polyurethane.

CN108285733 (A) - Preparation method of polyurethane for coating film formation. The invention relates to the field of high polymer material application, and provides a preparation method of polyurethane for coating film formation. The method comprises the following steps of 1, manufacturing epoxidized soybean oil into cyclic-carbonated soybean oil; 2, preparing an amino siloxane hydrolysate; 3, synthesizing nonisocyanate polyurethane. The polyurethane can replace isocyanate polyurethane as film forming materials of surface coatings of synthetic leather, spinning, furniture and the like, and the problem that the toxicity of adopted isocyanate is large in the existing polyurethane preparation process is solved.

CN107857879 (A) - Preparation method and application of diphenolic acid based nonisocyanate polyurethane. The invention discloses a preparation method of diphenolic acid based nonisocyanate polyurethane. The method includes: adopting diphenolic acid as the raw material to synthesize diphenolic acid isopropyl alcohol ester diglycidyl ether, then carrying out reaction with carbon dioxide to obtain diphenolic acid based bicyclic carbonate, and finally carrying out reaction with polyamine to obtain the diphenolic acid based nonisocyanate polyurethane. The invention provides the novel diphenolic acid based nonisocyanate polyurethane and the preparation method thereof, enriches the variety of nonisocyanate polyurethane, and further gives application of the product in preparation of coatings.

CN106750274 (A) - Nonisocyanate polyurethane. The invention discloses nonisocyanate polyurethane which consists of the following raw materials: a component A, including 60-70% of acrylic acid carbamic acid ester resin, 0.3-0.5% of a defoaming agent, 0.1-0.2% of a leveling agent A, 0.2-0.5% of a leveling agent B, 0.2-0.5% of a rheology aid, 0.5-1% of a base material wetting agent, 15-20% of n-butyl acetate, 15-20% of propylene glycol monomethyl ether acetate, with the total percentage being 100%; a component B, including 70-80% of ethanol, 10-20% of a cross-linking agent, 5-10% of a drier, 0.5-1% of an ultraviolet absorbent, with the total percentage being 100%; and a component C, including 60-70% of n-butyl

acetate and 30-40% of propylene glycol monomethyl ether acetate, with the total percentage being 100%; the nonisocyanate polyurethane is prepared in a weight ratio of component A to component B and component C of 100:(40-50):(20-30). The nonisocyanate polyurethane disclosed by the invention has the characteristics of being high in hardness, good in fullness, high in gloss, good in leveling property, good in collapse resistance and excellent in chemical and weather resistance.

CN106317406 (A) - Method for preparing biodegradable thermoplastic polyurethane with benzene ring structure through nonisocyanate method. The invention discloses a method for preparing biodegradable thermoplastic polyurethane with a benzene ring structure through a nonisocyanate method, and belongs to the technical field of polyurethane. Firstly, dimethyl terephthalate and excess aliphatic diol are subjected to ester exchange, hydroxyl-terminated terephthalic acid diester is obtained and then is subjected to ammonia ester exchange with diammonia ester diol in the presence of a catalyst, self condensation polymerization of a part of diammonia ester diol is accompanied, and the biodegradable thermoplastic polyurethane with the benzene ring structure is obtained. The method has the advantages of simple operation, high efficiency, and green environmental protection; and the obtained polyurethane with an ester group and the benzene ring structure has excellent mechanical properties and good biodegradability.

CN106118172 (A) - Heavy-duty anticorrosive container. The invention discloses a heavy-duty anticorrosive container. The heavy-duty anticorrosive container comprises an aluminum alloy container body and heavy-duty anticorrosive coating layers, wherein the inner wall and outer wall of the aluminum alloy container body are coated with the heavy-duty anticorrosive coating layers. The heavy-duty anticorrosive coating layer is prepared from the following component in parts by weight: 25-35 parts of epoxy-cyclic carbonate, 23-33 parts of nonisocyanate polyurethane, 12-24 parts of cardanol aldehyde amine, 5-10 parts of nanometer titanium dioxide concentrate, 10-20 parts of fusion bonded epoxy powder, 30-40 parts of solvent and 15-25 parts of fluoroalkyl-polysiloxane. By this way, the heavy-duty anticorrosive container has strong wind resistance and snow resistance, good corrosion resistance, excellent ageing resistance, and long service life.

CN105952984 (A) - Steel pipe resistant to acid-base corrosion. The invention discloses a steel pipe resistant to acid-base corrosion. The steel pipe resistant to acid-base corrosion comprises a steel pipe body, an FEVE fluorocarbon coating layer, an epoxy nonisocyanate

polyurethane heavy anti-corrosion coating layer, a TiO₂ nanometer composite fluorocarbon coating layer and a hydroxyl terminated polybutadiene polyurethane modified epoxy resin anti-corrosion coating layer, wherein the FEVE fluorocarbon coating layer and the epoxy nonisocyanate polyurethane heavy anti-corrosion coating layer are sequentially arranged on the outer surface of the steel pipe body from inside to outside; and the TiO₂ nanometer composite fluorocarbon coating layer and the hydroxyl terminated polybutadiene polyurethane modified epoxy resin anti-corrosion coating layer are sequentially arranged on the inner surface of the steel pipe body from outside to inside. In this way, the steel pipe is good in acid-base corrosion resistance and applicable to a highly corrosive environment.

CN105273185 (A) - Method for preparing aliphatic-aromatic mixed block thermoplastic polyurethane through nonisocyanate method. The invention discloses a method for preparing aliphatic-aromatic mixed block thermoplastic polyurethane through a nonisocyanate method, and belongs to the technical field of polyurethane. The method comprises the steps: firstly, carrying out ester exchange of dimethyl terephthalate and excessive aliphatic diol, to obtain a hydroxyl-terminated polydimethyl terephthalate oligomer, then carrying out a reaction with aliphatic dibasic acid and diol to obtain an aliphatic-aromatic mixed block polyester pre-polymer, and then further carrying out condensation polymerization with diurethane diol, to obtain the aliphatic-aromatic mixed block thermoplastic polyurethane. The method is simple to operate, has no pollution and is green and environmentally friendly; and the prepared polyurethane is easy to crystallize, is beneficial for adjustment and control of a structure, and has the advantages of higher melting point and good thermal properties and mechanical properties.

CN105504272 (A) - POSS modified rosin nonisocyanate polyurethane and preparation method of nonisocyanate polyurethane. The invention discloses POSS modified rosin nonisocyanate polyurethane and a preparation method of the nonisocyanate polyurethane. According to the method, epoxy group POSS and CO₂ react under the action of a catalyst to synthesize cyclic carbonate-based POSS, then the cyclic carbonate-based POSS is copolymerized with rosin-based cyclic carbonate and an amino compound, and the POSS modified nonisocyanate polyurethane is prepared. The method for preparing the cyclic carbonate-based POSS is simple and convenient, and reaction conditions are mild; the prepared polyurethane material has a good thermodynamic property, no isocyanate with

hypertoxicity is adopted in the preparation process, and the preparation process is safe and environmentally friendly.

CN105176349 (A) - Water-borne woodenware coating with formaldehyde decomposing function. The invention discloses a water-borne woodenware coating with a formaldehyde decomposing function. The water-borne woodenware coating comprises components in parts by weight as follows: 40-48 parts of nonisocyanate polyurethane, 0-28 parts of pigment filler, 0-0.2 parts of a defoaming agent, 0-0.4 parts of a wetting agent, 0-0.4 parts of a leveling agent, 0-4 parts of an adhesion promoter, 0-5 parts of a water-borne hand feeling agent, 1-5 parts of a film coalescing aid, 1-3 parts of a dispersing agent, 1-6 parts of a pH regulator, 0-2 parts of a thickening agent, 8-12 parts of an air catalyst, 0-0.3 parts of a sterilizing agent and 7-15 parts of deionized water. The water-borne woodenware coating is prepared from nonisocyanate polyurethane as a raw material, contains no formaldehyde, has the function of decomposing formaldehyde released from other materials indoors and reduces the environment pressure.

TW201525113 (A) - Flame retardant composite material, plate and coating. A flame retardant composite material includes an organic component and an inorganic powder, and the functional group (OH group) of the organic component may generate metal oxygen bond with the inorganic powder. The organic component includes nonisocyanate polyurethane or epoxy-based polymer, copolymer or oligomer. The inorganic powder includes hydroxide, nitride, oxide, carbide, metal salts, or inorganic layered material.

CN104910348 (A) - Polycarbonate polyurethane and green preparation method thereof. The invention relates to polycarbonate polyurethane and a green preparation method thereof. The polycarbonate polyurethane comprises polyurethane structural units and aliphatic polycarbonate structural units which are irregularly distributed. The polycarbonate polyurethane is successfully prepared by a nonisocyanate method, so that isocyanate and solvents are not used, and the development requirements of green chemical industry are met. In addition, the green preparation method of the polycarbonate polyurethane is relatively mild in reaction condition and low in requirement on devices; by selecting raw materials with different structures, the polycarbonate polyurethane having different linear structures and comprising two irregularly distributed structural units can be prepared, so that the structures are diverse and controllable; the prepared polycarbonate polyurethane is free of residue of isocyanate monomers, so that the application of

polycarbonate polyurethane to the fields of foods and medicines is broadened.

CN104861866 (A) - Heat-resistant paint and preparation method thereof. The invention relates to the technical field of paints, in particular to heat-resistant paint and a preparation method thereof. The heat-resistant paint is prepared from the following components in parts by mass: 8-12 parts of tung oil, 3-5 parts of quartz powder, 1-3 parts of aluminum phosphate, 4-9 parts of polyarylsulfone resin, 4-9 parts of polyimide resin, 5-7 parts of butanol, 3-7 parts of nonisocyanate polyurethane, 2-4 parts of china clay, 2-4 parts of talcum powder, 5-8 parts of cobalt iso-octoate, 0.2-1.2 parts of an anti-settling agent, 8-18 parts of a curing agent and 2-6 parts of an anti-cracking agent. The heat-resistant paint has the benefits that 1 the heat-resistant paint prepared by mixing the tung oil, the polyarylsulfone resin, the polyimide resin, the butanol, the nonisocyanate polyurethane, the talcum powder and the cobalt iso-octoate is good in heat-resistant effect, and has excellent physical and chemical properties such as the decorative property, the heat resistance, the salt fog resistance, the salt water resistance, the water resistance, the cold tolerance, the oil resistivity, the hydrocarbon solvent resistance, the adhesive force, the impact strength and the flexibility.

CN103951960 (A) - Modified polypropylene carbonate and preparation method thereof. The invention provides modified polypropylene carbonate comprising the following components: 1-15wt% of nonisocyanate polyurethane and 85-99wt% of polypropylene carbonate, where in nonisocyanate polyurethane has a structure as shown in the formula I. Nonisocyanate polyurethane provided by the invention contains a great number of hydroxyl radicals and urethane bonds and is used as a proton donor, and polypropylene carbonate contains carbonyl and is used as a proton receptor, so that a relatively strong intermolecular hydrogen bonding effect is taken between molecules of nonisocyanate polyurethane and polypropylene carbonate, the compatibility of nonisocyanate polyurethane and polypropylene carbonate is improved, the relatively high tensile strength and young modulus of modified polypropylene carbonate are kept, and meanwhile, the elongation at break of modified polypropylene carbonate is increased. An experimental result shows that the elongation at break of modified polypropylene carbonate is 11.16-36.81%.

CN102336891 (A) - Nonisocyanate polyurethane-epoxy resin material, preparation method thereof, and application thereof. The invention belongs to the field of painting, and provides a nonisocyanate polyurethane-epoxy resin material

and a preparation method thereof. The material is prepared through a cross-linking hybridization reaction between nonisocyanate polyurethane and epoxy resin. The invention also provides an application of the nonisocyanate polyurethane-epoxy resin material in painting. A film formed by the material has good mechanical properties, good water resistance, good gasoline resistance, good salt fog resistance, and excellent adhesive force on a substrate.

KR20010071470 (A) - Hybrid nonisocyanate polyurethane network polymers and composites formed therefrom. This invention relates to a hybrid nonisocyanate polyurethane network polymer formed by cross-linking at least one cyclocarbonate oligomer and at least one amine oligomer. The cyclocarbonate oligomer contains a plurality of terminal cyclocarbonate groups. At least one cyclocarbonate oligomer further comprises from about 4% to about 12% by weight of terminal epoxy groups. Because at least one cyclocarbonate oligomer contains both cyclocarbonate and epoxy reactive groups, the network formed therefrom is referred to as a hybrid nonisocyanate polyurethane network. The cyclocarbonate oligomer or oligomers have an average functionality towards primary amines of from about 2.0 to about 5.44. The amine oligomer comprises at least one primary amine-terminated oligomer terminated with primary amine groups and has an average functionality towards cyclocarbonate groups of from about 3.0 to about 3.8. The amine oligomer is present in an amount from about 0.93 to about 0.99 of the amount of the amine oligomer that would be required to achieve a stoichiometric ratio between the primary amine groups of the amine oligomer and the cyclocarbonate groups of the cyclocarbonate oligomer. The hybrid nonisocyanate polyurethane network polymer formed has a gel fraction of not less than about 0.96 by weight. This invention also relates to methods of making hybrid nonisocyanate polyurethane networks and their use as a composite matrix material.

CN101260232 (A) - Mixing type nonisocyanate polyurethane and preparation method thereof. The invention provides a catalyst for the synthesis of nonisocyanate polyurethane. The catalyst consists of metal salt, imidazole-type ionic liquid, pyridine-type ionic liquid and quaternary ammonium salt. The invention also provides a method for preparing the nonisocyanate polyurethane. In the method, multi-ring shaped carbonic ester is catalytically synthesized by using the catalyst, and then the multi-ring shaped carbonic ester is reacted with organic amines to form the nonisocyanate polyurethane. The catalyst has the advantages of simple catalyst system, low cost, high reaction

activity and good selectivity; and the preparation method has the advantages of mild reaction conditions, simple process flow and easy operation.

CN1880360 (A) - Method for generating nonisocyanate polyurethane using natural reproducible resource. This invention relates to a method for producing non-isocyanate polyurethane using renewable natural resources, comprising: add epoxy soybean oil and catalyst into the reactor, wherein the amount of catalyst added is 3-5mol% of epoxy soybean oil, and then aerate in carbon dioxide gas, with reaction temperature 100-140Deg C, and reaction pressure 6-14 atmospheric pressure, start the reaction with magnetic stirring. for 25-40h. The produced cyclic carbonates are mixed with amine at 70-80Deg C, per-

form flaking at 100-110Deg C for 7-8h, perform sulfidization at 90-110Deg C for 24-72h, and are placed at room temperature for 7-9d. This invention synthesizes non-isocyanate polyurethane by replacing petrochemical products with epoxy soybean oil and CO₂ via two-step reactions, forming a green, clean, high efficient and simple line for producing non-isocyanate polyurethane.

Conclusion

Inventions of NIPU and others of academician Oleg Figovsky (there are more than 500) are not published In USSR), but created later in USA, were described in the review [3].

References

1. Merenyi S. REACH: regulation (EC) No 1907/2006: consolidated version (June 2012) with an introduction and future prospects regarding the area of Chemicals legislation. GRIN Verlag; 2012, 229 p.
2. O.L. Figovsky, O.I. Bol'shakov, I.N. Vikhareva. Nonisocyanate polyurethanes: green solutions (Monograph). Chelyabinsk, SUSU Publishing Center, 2023, pp. 47.
3. N.B. Blank. Selected patents of academician O. Figovsky. In the book "New technologies and science the modern word", VOIR, Rostov, 2023. pp. 4-10.
4. Vijay Mannary. Nonisocyanate Platform for Rain-Erosion Resistant Coating. Report OMB 0704-0188, 2023, p. 28.

Литература

1. Мереньи С. REACH: регламент (ЕС) № 1907/2006: сводная версия (июнь 2012 г.) с введением и будущими перспективами в области законодательства о химических веществах. GRIN Verlag; 2012, 229 с.
2. Фиговский О.Л., Большаков О.И., Вихарева И.Н. Неизоцианатные полиуретаны: экологически чистые решения (монография). Челябинск, Издательский центр ЮУРГУ, 2023, 47 с.
3. Бланк Н.Б. Избранные патенты академика О. Фиговского. В книге "Новые технологии и наука - современное слово", ВОИР, Ростов, 2023. стр. 4-10.
4. Виджай Маннари. Неизоцианатная платформа для покрытия, стойкого к дождевой эрозии. Отчет ОМВ 0704-0188, 2023, 28 с.

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Figovsky Oleg	DSc, academician European Academy of Sciences (EAS), President Israel Innovation Authority

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Фиговский Олег Львович	доктор технических наук, академик Европейской академии наук, Президент Израильской Ассоциации Изобретателей

the article was submitted 30.01.2024	approved after reviewing 12.02.2024	accepted for publication 21.02.2024
статья поступила в редакцию 30.01.2024	одобрена после рецензирования 12.02.2024	принята к публикации 21.02.2024

УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ НАРУШЕНИИ КАЧЕСТВА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Раиса Николаевна Плотникова

raya.plotnikova.57@mail.ru

Воронежский государственный университет инженерных технологий, проспект Революции, д. 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Рассмотрены управляющие воздействия и вопросы эколого-экономической оценки последствий нарушения нормативных требований по охране почв различного назначения, как объектов природной среды, требующих государственной защиты. Проведен сравнительный анализ действующих методик определения размера вреда, наносимого почвенному покрову для различных природных территорий при нарушении природоохранных требований, и величины предотвращенного ущерба почвенным ресурсам в результате деятельности природоохранных органов. Отмечены особенности оценки негативного антропогенного воздействия на почвы различного назначения с учетом компенсации материальных и финансовых затрат на проведение природоохранных мероприятий восстановительного характера. Установлено, что показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка может быть сравним с коэффициентом, характеризующим природно-климатические факторы. Показано, что показатель, характеризующий степень загрязнения почв токсикантами и зависящий от соотношения фактического содержания загрязняющего вещества в почве к нормативу его качества с учетом кратности превышения концентрации токсиканта над его фоновой концентрацией в почвенном покрове может быть сравним с коэффициентом, учитывающим класс опасности конкретного химического соединения, попавшего в почвы. Показана низкая сходимости расчетных данных по определению размера вреда в соответствии с методикой оценки вреда почвам вследствие нарушения природоохранного законодательства и величины предотвращенного ущерба почвенному покрову. Установлены максимальные отклонения итоговых результатов при химическом загрязнении почв. Показано, что использование методики расчета величины негативного воздействия на почвы с учетом предотвращенного ущерба, показывает значительно меньшие результаты. Рассчитаны коэффициенты корреляции эколого-экономической оценки величин негативного антропогенного воздействия на почвы вследствие химического загрязнения почв, захлывания земель отходами различных классов опасности, деградации почв при их перекрытии, снятии и уничтожении.

Ключевые слова: управляющие воздействия, ущерб, вред окружающей природной среде, почва, эколого-экономическая оценка.

Для цитирования: Плотникова Р. Н. Управляющие воздействия при антропогенном нарушении качества почвенного покрова // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 53-63.

Original article

CONTROL ACTIONS IN CASE OF ANTHROPOGENIC DISTURBANCE OF SOIL COVER QUALITY

Raisa N. Plotnikova

raya.plotnikova.57@mail.ru

Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Avenue, 19, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The control effects and issues of ecological and economic assessment of the consequences of violation of regulatory requirements for the protection of soils for various purposes, as objects of the natural environment requiring state protection, are considered. A comparative analysis of existing methods for determining the amount of damage caused to the soil cover for various natural areas in case of violation of environmental requirements and the amount of prevented damage to soil resources as a result of the activities of environmental authorities was carried out. The features of assessing the negative anthropogenic impact on soils for various purposes are noted, taking into account the compensation of material and financial costs for carrying out environmental restoration measures. It has been established that the indicator that takes into account the category of land and the type of permitted use of the land plot can be compared with the coefficient characterizing natural and climatic factors. It is shown that the indicator characterizing the degree of soil contamination with toxicants and depending on the ratio of the actual content of the pollutant in the soil to its quality standard, taking into account the multiplicity of excess of the toxicant concentration over its background concentration in the soil cover, can be compared with the coefficient that takes into account the hazard class of a particular chemical compound, trapped in the soil. The low convergence of the calculated data on determining the amount of damage in accordance with the methodology for assessing damage to soils due to violation of environmental legislation and the amount of prevented damage to the soil cover is shown. The maximum deviations of the final results with chemical contamination of soils were established. It is shown that the use of the methodology for calculating the magnitude of the negative impact on soils, taking into account the prevented damage, shows significantly lower results. The correlation coefficients of the ecological and economic assessment of the magnitude of the negative anthropogenic impact on soils

due to chemical pollution of soils, land littering with waste of various hazard classes, soil degradation during their overlapping, removal and destruction are calculated.

Keywords: control actions, damage, damage to the environment, soil, ecological and economic assessment.

For citation: Plotnikova R. N. Control actions in case of anthropogenic disturbance of soil cover quality. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 53-63. (In Russ.).

Введение

Для любой страны мира, а в особенности для Российской Федерации, земельные ресурсы являются одним из главных национальных богатств [1-3]. Их состояние вне зависимости от природно-хозяйственной значимости различных территорий представляет первоочередную заботу органов управления как на местах, так и на федеральном уровне [4-6]. Благодаря высокой ассимиляционной способности, обусловленной распространением и активной жизнедеятельностью в почвах обширных микробных сообществ, большая часть токсикантов природного и антропогенного происхождения обезвреживается, либо аккумулируется [7]. Тем не менее поддержание высокого качества почвенного покрова требует огромных финансовых и материальных вложений, связанных с проведением природоохранных мероприятий, направленных на предотвращение негативного антропогенного воздействия.

Установление объема финансовых вложений на ликвидацию негативного воздействия на почвенный покров требует оценки количественных и качественных характеристик ухудшения состава и свойств почвы; определения показателей уменьшения зна-

чимости земельных ресурсов в рамках их природно-хозяйственной значимости и степени деградации почвенного покрова, а также площади территорий, занятых несанкционированными свалками.

Согласно [8-9] негативное антропогенное воздействие на земельные ресурсы может быть представлен показателями их деградации, уровнем загрязнения токсикантами различного происхождения и степенью засорения несанкционированными свалками.

Межгосударственным стандартом для ряда химических соединений, выделяющихся в результате хозяйственной деятельности промышленных предприятий, приведены их классы, регламентирующие уровень влияния на почвенный покров, оценку реального состояния и прогноз дальнейших изменений почвенного покрова при его эксплуатации. Стандарт в отличие от принятой классификации классов опасности отходов устанавливает три класса опасности для химических веществ, попадающих в почвенный покров. Отнесение загрязняющих веществ по классам опасности с учетом ряда основных показателей вредности приведено в таблице 1 [10].

Таблица 1. Распределение токсикантов по классам опасности для земельных ресурсов

Table 1. Distribution of toxicants by hazard classes for land resources

Наименование показателя / The name of the indicator	Пределы варьирования в соответствии с классом опасности / Limits of variation according to the hazard class		
	1 класс / 1st grade	2 класс / 2nd grade	3 класс / 3rd grade
Токсичность, LD / Toxicity, LD	< 200	200÷ 1000	> 1000
Персистентность в почве, мес / Persistence in the soil, months	> 12	6÷12	< 6
ПДК для почв, мг/кг / MPC for soils, mg/kg	< 0,2	0,2÷0,5	> 0,5
Степень миграции / The degree of migration	да yes	слабо	нет
Персистентность в растениях, мес / Persistence in plants, months	≥ 3	1÷3	< 1
Воздействие на пищевую ценность сельхозпродукции / Impact on the nutritional value of agricultural products	сильное	умеренное	нет

К первому классу загрязнителей, попадающих в почву из воздушных выбросов, сбросов сточных вод, размещенных на поверхности почв отходов, относят в основном As, Cd, Se, Pb, Zn, F, бенз(а)пирен; ко второму – В, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr; к третьему – Ba, V, W, Ma, St, ацетофенон.

Принято [11], что снижение качества почв и земель вследствие попадания токсикантов различной природы возможно при несанкционированном складировании отходов всех классов опасности, непреднамеренных сбросов загрязненных вод, полива сельхоз угодий водой, содержащей повышенные концентрации тяжелых металлов и реактивной органики, выпадения дождей, содержащих поллютанты из воздушных выбросов.

Ухудшение качества почв и земель вследствие их деградации возможно [12] как последствия народно-хозяйственной деятельности в различных областях, в том числе сельскохозяйственной, лесоустроительной, горнодобывающей, промышленном и гражданском строительстве, рекреационной.

Цель работы – установление особенностей управляющих воздействий при эколого-экономической оценке степени негативного антропогенного воздействия на почвы различного назначения.

Материалы и методы исследования

В период проведения различных этапов теоретического исследования осуществлена экспертиза актуализированных методик расчета размера вреда, наносимого почвам различного назначения в результате негативной антропогенной деятельности, и величины предотвращенного ущерба почвам в результате проведения различных природоохранных мероприятий, направленных на минимизацию указанного негативного воздействия.

Результаты исследования и их обсуждение

Первоочередной задачей при оценке негативного антропогенного воздействия и проведения необходимых природоохранных мероприятий, направленных на обеспечение качества почв и земель считают [13] ликвидацию результатов подобного воздействия и восстановление их исходных качественных характеристик.

Экономическую оценку величины негативного антропогенного воздействия на почвы различного природно-хозяйственного назначения рекомендовано [14] проводить в соответствии с формулой

$$W_n = W_{зв} + W_{отх} + W_{пер} + W_{сн} + W_{уничт} , \quad (1)$$

где W_n – суммарная величина негативного воздействия на почву, приведшая к падению ее качества, р.;

$W_{зв}$ – величина негативного воздействия вследствие загрязнения почв, возникшего в результате попадания в почву токсикантов различной природы и превышения ПДК;(ОДК_і), р.;

$W_{отх}$ – величина негативного воздействия на почвы вследствие засорения их отходами, р.;

$W_{пер}$ – величина негативного воздействия на почвы вследствие деградации почв при размещении на ее поверхности объектов различного назначения и искусственных покрытий, р.;

$W_{сн}$ – величина негативного воздействия на почвенный покров вследствие изъятия его плодородного слоя, р.;

$W_{уничт}$ – величина негативного воздействия на почвенный покров вследствие уничтожения его плодородного слоя, р.

Финансовую оценку ухудшения качества и структуры почвенного покрова под воздействием поллютантов антропогенного происхождения с учетом эколого-экономических показателей и превышения предельно-допустимых концентраций принято проводить по формуле

$$W_{зв} = k_{зв} \cdot S \cdot k_h \cdot k_{us} \cdot T_i , \quad (2)$$

где $k_{зв}$ – коэффициент загрязнения почвы токсикантами различной природы;

S – размер загрязненной территории, м²;

k_h – коэффициент, учитывающий глубину проникновения токсикантов, а также деградации почвенного покрова вследствие размещения объектов различного назначения и искусственных покрытий;

k_{us} – коэффициент, характеризующий категорию земель и вид разрешенного использования природной территории;

T_i – показатель, в денежном выражении учитывающий удельный ущерб, причиняемый земельным ресурсам, отнесенным к различным нормативным категориям нормативной эксплуатации (такса), р/м², рисунок 1.



Рисунок 1. Значения показателя T_i с учетом особенностей природно-климатических территорий
 Figure 1. Values of the T_i indicator taking into account the characteristics of natural and climatic territories

Значение показателя, характеризующего степень загрязнения почвы токсикантами различной природы находится в прямой зависимости от соотношения реального и нормативно разрешенного содержания конкретного токсиканта в почве и рассчитывается в соответствии с формулой

$$k_{зг} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_n}, \quad (3)$$

где A_i - фактическое содержание i -го токсиканта в почве, мг/кг;
 A_n - его содержание, установленное в соответствии с нормативной документацией, мг/кг.

Если для конкретного токсиканта не установлен показатель предельно допустимой (разрешенной) концентрации, допускается использование такого показателя, установленного для территории, расположенной вблизи оцениваемого объекта, при условии соответствия по целевому назначению и виду использования.

Принято, что если $c_i / c_n \leq 1$, то коэффициент, учитывающий уровень загрязнения почвы $k_{зг}$, в формуле (2) не используется в связи с отсутствием превышения установленных нормативов по предельно допустимым (разрешенным) концентрациям токсикантов.

Если $c_i / c_n > 1$, то для интервалов превышения: 1) $1 < c_i / c_n \leq 5$; 2) $5 < c_i / c_n \leq 10$; 3) $10 < c_i / c_n \leq 20$; 4) $20 < c_i / c_n \leq 30$; 5) $30 < c_i / c_n \leq 50$; 6) $c_i / c_n > 50$ коэффициент, учитывающий степень загрязнения почв, определяется в соответствии с рисунком 2.

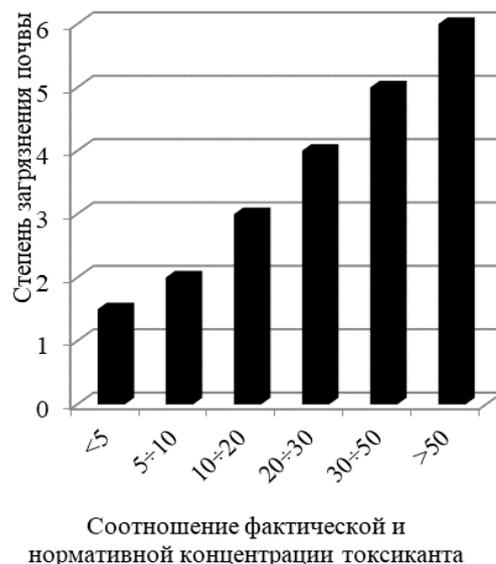


Рисунок 2. Зависимость степени загрязнения от соотношения фактической концентрации токсиканта к нормативу качества токсиканта в почвах

Figure 2. Dependence of the degree of contamination on the ratio of the actual concentration of the toxicant to the quality standard of the toxicant in soils

Коэффициент, учитывающий глубину проникновения токсикантов, а также степень деградации почвенного покрова вследствие размещения объектов различного назначения и искусственных покрытий k_h связана с уровнем инфильтрации токсикантов в почву. Не вызывает сомнения, что предельная глубина инфильтрации не может превышать максимальную толщину почвенного покрова, характерную для каждой природно-климатической зоны, рисунок 3.

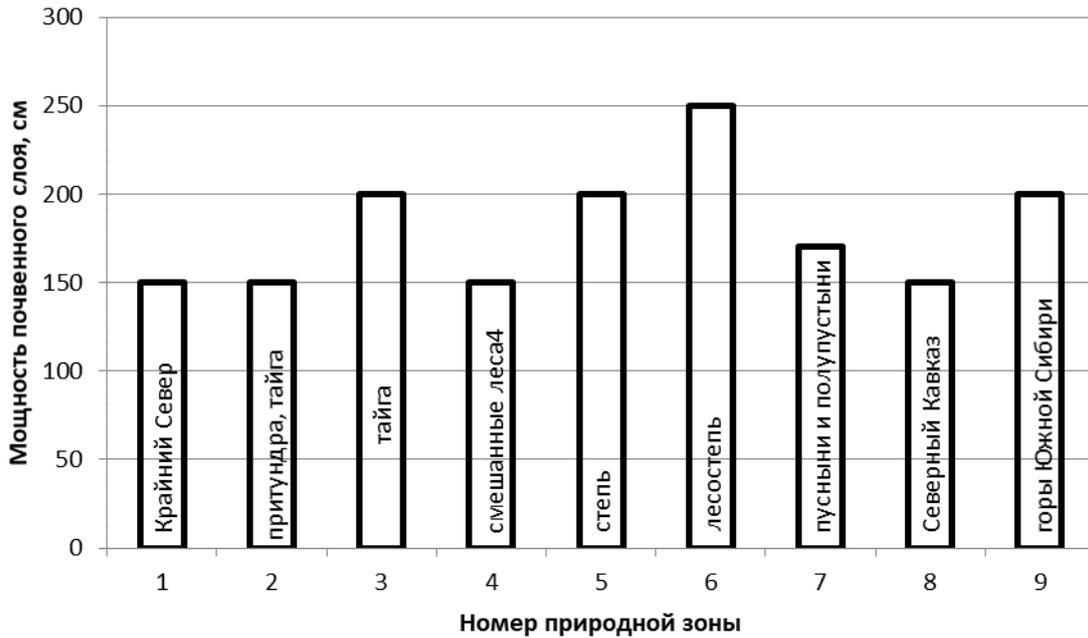


Рисунок 3. Толщина почвенного слоя по природным зонам, см

Figure 3. Soil layer thickness by natural zones, sm

На рисунке 4 представлена зависимость коэффициента k_h от глубины загрязнения почв по уровням, см: а) $h \leq 20$; б) $20 < h \leq 50$; в) $50 < h \leq 100$; г) $100 < h \leq 150$; д) $150 < h \leq 200$; е) $h > 200$.

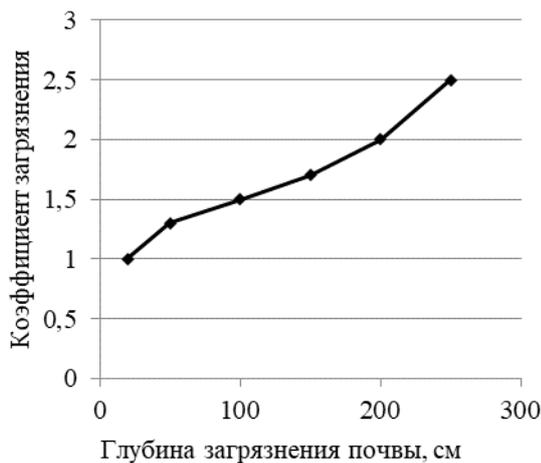


Рисунок 4. Зависимость коэффициента загрязнения почвы от глубины ее загрязнения

Figure 4. Dependence of the soil pollution coefficient on the depth of its pollution

Снижение качества и структуры почвенного покрова, связанные с нанесением искусственных покрытий, постройкой гражданских и военных жилых и промышленных построек, предусматривает использование в расчетах и последующих управляющих воздействиях $k_h = 0,5$.

Согласно Методики [14] величина показателя $k_h = 0,5$, зависящего от народно-хозяйственной категории земель и нормативно-установленного направления эксплуатации отдельной природно-климатической территории, может изменяться от 1,0 до 2,0. Максимальные значения применяются при разработке управляющих воздействий в случае загрязнения или другого вида снижения качества и структуры почвенного покрова на особо ценных категориях земель, в том числе на почвах особо охраняемых природных зонах, участках земель природоохранного назначения, территорий, в пределах которых имеются природные объекты и объекты культурного наследия, представляющие особую научную, историко-культурную ценность, рисунок 5.

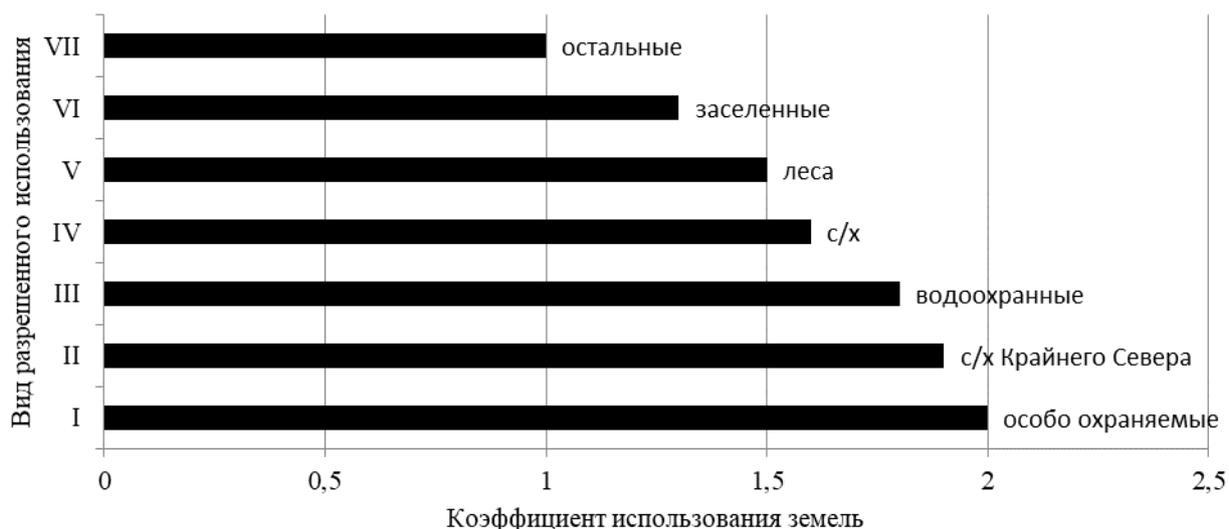


Рисунок 5. Значения показателя k_{us} для территорий различных категорий с учетом их нормативно установленного типа эксплуатации

Figure 5. Values of the k_{us} indicator for territories of various categories, taking into account their normatively established type of operation

В случае выявления фактов загрязнения почвенного покрова на строго определенной территории с земельными ресурсами, используемыми по нескольким нормативно определенным направлениям эксплуатации, при эколого-экономической оценке по формуле (2) следует использовать максимальные значения коэффициента k_{us} .

Согласно [15] оценку негативного воздействия на почвы при химическом загрязнении косвенно можно определить по величине затрат на предотвращение подобного воздействия по формуле

$$Y_{зв} = Y_{уд} \sum_j (S_j \cdot K_{nj} \cdot K_i^0), \quad (4)$$

где $Y_{зв}$ – эколого-экономическая оценка предотвращенного негативного воздействия на почвы токсикантами i -го класса опасности, р.; $Y_{уд}$ – размер доли негативного воздействия, приходящегося на единицу площади загрязненной почвы, тыс. р/га, рисунок 6; S_j – площадь территорий различного назначения, характеризующихся показателем j , восстановленных после загрязнения промышленными поллютантами, га;

K_{nj} – безразмерный коэффициент, характеризующий оценку территорий для хозяйственной деятельности и их восстановительное назначение, рисунок 7;

K_i^0 – показатель, учитывающий класс опасности i -го токсиканта (отхода), рисунок 8.

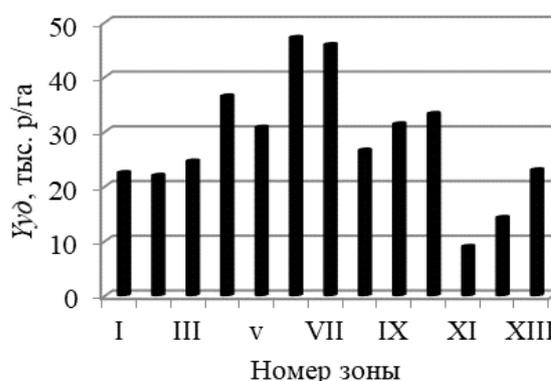


Рисунок 6. Удельная величина негативного воздействия на почвенный покров по административным зонам

Figure 6. Specific value of negative impact on soil cover by administrative zones

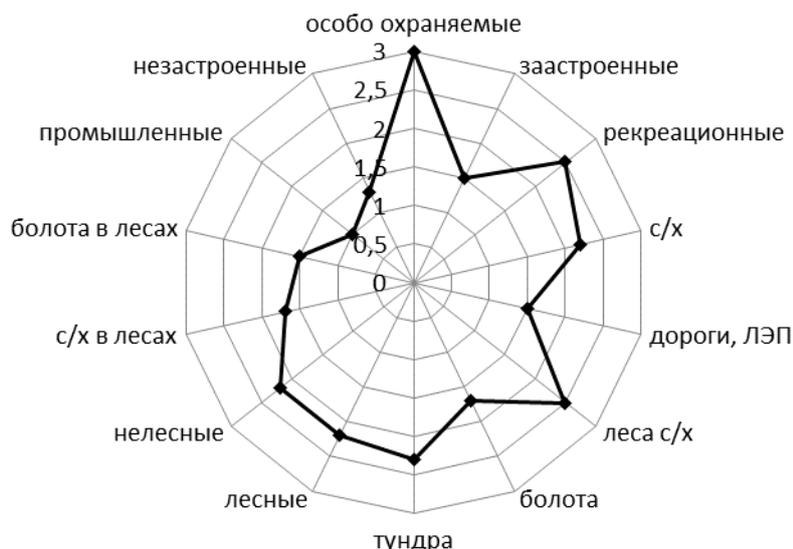


Рисунок 7. Значения показателей K_{nj} по различным территориям

Figure 7. Indicator values K_{nj} for different territories

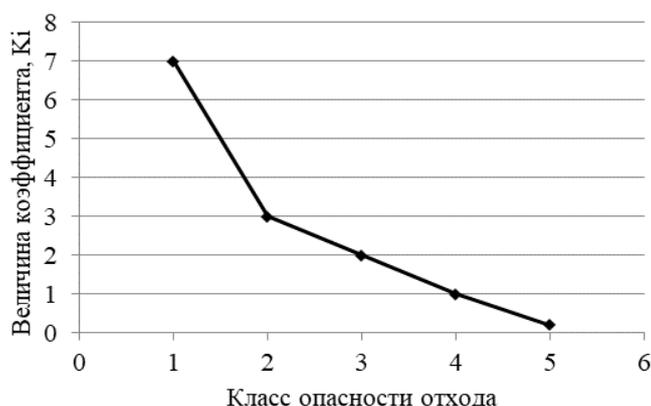


Рисунок 8. Зависимость коэффициента K_i⁰ от класса опасности токсиканта (отхода)

Figure 8. Dependence of the coefficient K_i⁰ on the hazard class of the toxicant (waste)

Эколого-экономическую оценку негативного воздействия на почвы вследствие их захламления отходами, образующимися в результате жизнедеятельности человека и различных производственных процессов, рекомендовано осуществлять с использованием формулы

$$W_{отх} = k_{ис} \cdot \sum_{j=1}^k (M_j \cdot T_{отх}), \quad (5)$$

где M_j – фактическое количество размещенных отходов j-ого класса опасности, т;
 k – показатель, характеризующий число классов опасности учитываемых отходов;
 T_{отх} – размер таксы, применяемой для оценки величины негативного воздействия на почвы при размещении на них отходов, р/т, рисунок 9.

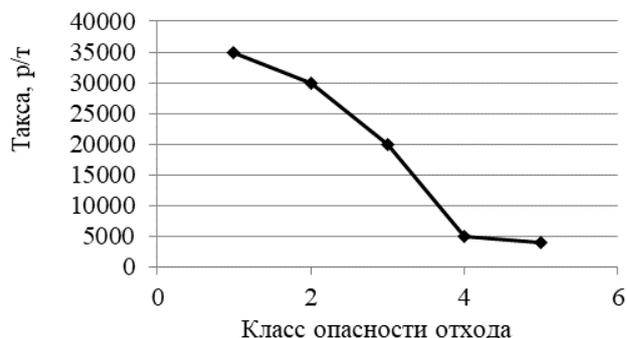


Рисунок 9. Зависимость размера таксы при оценке вреда почвам от размещения отходов

Figure 9. Dependence of the size of the fee in assessing the damage to soils from waste disposal

В то же время уровень снижения отрицательного влияния на почвы в результате предупредительных, регулирующих, админи-

стративных или восстановительных мероприятий, направленных на очистку территорий от размещенных отходов, выраженный в виде эколого-экономических показателей, принято определять по формуле

$$Y_{отх} = Y_{уд.отх} \sum_j (S_j \cdot K_{nj}), \quad (6)$$

где S_j – площадь территорий, сохраненных от захламления, га.

Стоит отметить [16-17], что в последнем случае не используется показатель, учитывающий массу размещенных отходов, а только площадь захламленных территорий с учетом их природно-хозяйственной значимости.

Экономическую оценку величины негативного воздействия на почвы вследствие деградации почв при размещении на ее поверхности объектов различного назначения и искусственных покрытий, $W_{неп}$ принято рассчитывать по формуле

$$W_{неп} = S \cdot k_h \cdot k_{us} \cdot T_i, \quad (7)$$

где S – площадь деградированного участка почвенного покрова, м².

Экономическую оценку величины негативного воздействия на почвенный покров вследствие изъятия его плодородного слоя, $W_{сн}$, предложено рассчитывать по формуле

$$W_{сн} = S \cdot k_{us} \cdot T_i, \quad (8)$$

где S – площадь участка со снятым плодородным слоем, м².

Эколого-экономическая оценка величины негативного воздействия на почвенный покров вследствие уничтожения его плодородного слоя, $W_{уничт}$, рассчитывается по формуле

$$W_{уничт} = 25 \cdot S \cdot k_{us} \cdot T_i, \quad (9)$$

где S – площадь участка с уничтоженным плодородным слоем почвы, м².

В исследованиях [18-19] показана зависимость степени нарушения почвенного покрова от уровня интенсивности антропогенного воздействия при ведении различных производственных процессов в ряде отраслей народного хозяйства, в том числе при рекреационных нагрузках. В этой связи эколого-экономическую оценку величины предотвращенного негативно-

го воздействия на почвенный покров при его перекрытии, снятии и уничтожении объединяют одним показателем – предотвращенный ущерб, вызванный снижением качества и структуры почвенного покрова при его деградации, - рассчитывают по формуле

$$Y_{\partial} = Y_{уд.д} \sum_j (S_j \cdot K_{nj}), \quad (10)$$

где $Y_{уд.д}$ – удельная величина негативного воздействия на почвы при их деградации, р/га;

S_j – площадь территорий различной природно-хозяйственной значимости j -го вида, на которых предотвращена деградация почвенного покрова, га.

Анализ показывает, что используемый в формулах (2, 5, 7, 8, 9) коэффициент k_{us} по своему смыслу и значению соответствует коэффициенту K_{nj} приведенному в формулах (4, 6, 8). Следует отметить, что показатели $Y_{уд.д}$ в формулах (4, 6, 10) и T_i в формулах (2, 7, 8, 9) несут сходную смысловую нагрузку с разницей в единицах измерения площади почв и земель, подвергшихся негативному антропогенному воздействию. Кроме того коэффициент k_h в формулах (2) и (7) позволяет более точно определить размер негативного воздействия на почвы при проникновении токсикантов из сточных вод, воздушных выбросов и размещенных отходов определенную глубину плодородного почвенного покрова.

При сравнительном анализе результатов расчетов величин негативного антропогенного взаимодействия на почвенный покров, проведенного для случаев химического загрязнения почв по формулам (2) и (4) и размещения на их поверхности отходов различного происхождения с использованием формул (5) и (6), при деградации почв в результате их перекрытия, снятия и уничтожения, по формулам (7-10), к расчетам приняты следующие показатели: $S = 1 \text{ м}^2$, $k_{зв}$ не использована, поскольку принято $c_i / c_n > 1$; глубина проникновения токсикантов менее 20 см (тогда $k_h = 1$); рассмотрены черноземные земли IV степной зоны сельскохозяйственного назначения. Расчеты проведены на 1 тонну отходов IV класса опасности. Результаты сведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная эколого-экономическая оценка негативного антропогенного воздействия на почвы

Table 2. Comparative ecological and economic assessment of the negative anthropogenic impact on soils

Показатель / Indicator	W, p	Y, p	W/Y
Загрязнение химическими веществами / Chemical pollution	640	5,05	126,7
Захламление отходами / Cluttering with waste	8000	4043,75	1,98
Деградация почв при перекрытии / Soil degradation during overlap	640	44,1	14,5
Деградация почв при снятии / Soil degradation during removal	640	-	-
Деградация почв при уничтожении / Soil degradation during destruction	16000	-	-

Данные, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о большой разнице в оценке негативного антропогенного воздействия на почвы и земельные ресурсы, произведенной по исследованным методикам расчетов. Достаточно близкими можно считать результаты, полученные при экономической оценке вреда, нанесенного почвам при размещении отходов. Общий разброс в данных отмечается в пределах от 1,98 до 126,7 для отношения показателей W и Y .

Заключение

На основании полученных результатов эколого-экономической оценки величин негативного антропогенного воздействия на почвы различного назначения с использованием различных методик отмечена низкая сходимости расчетных данных, полученных в соответствии с методиками [14] и [15]. Определены особенно-

сти управляющих воздействий при оценке негативного антропогенного воздействия при загрязнении почв токсикантами различной природы, захламлении земель отходами различных классов опасности, деградации почв при их перекрытии, снятии и уничтожении. Установлены максимальные отклонения итоговых результатов при химическом загрязнении почв до 126,7. Показано, что использование методики расчета величины негативного воздействия на почвы [15] показывает значительно меньшие результаты. Рассчитаны коэффициенты корреляции эколого-экономической оценки величин негативного антропогенного воздействия на почвы вследствие химического загрязнения почв, захламления земель отходами различных классов опасности, деградации почв при их перекрытии, снятии и уничтожении.

Литература

1. R. Ranjith Kumar, G. Elavarasan, M. Kannan, D. Karthikeyan, Standards for environmental protection in India. International Journal of Scientific and Technology Research. 9, 319–323 (2020).
2. Plotnikova R N Assessment of atmospheric air damage as a result of the activities of large food and processing enterprises 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1052 012119 DOI: 10.1088/1755-1315/1052/012119
3. Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации".
4. Pavanelli D, Voulvoulis N Habitat Equivalency Analysis, a framework for forensic cost evaluation of environmental damage Ecosystem Services 38100953, 2019.
5. Плотникова Р.Н. Эколого-экономическая оценка нарушения нормативных требований по охране водных объектов Вестник ВГУИТ. 2022.Т. 84, № 2. С. 290-297. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-290-297.
6. Wang F, Liu B, Zhang B Embodied environmental damage in interregional trade: A MRIO-based assessment within China Journal of Cleaner Production 1401236-1246, 2017.
7. Barcos Arias I., Molina Manzo A., Cruz Piza I. Evaluation of the penalty for environmental damage in the province of los rios Universidad y Sociedad, 2020, 12(6)339-347.
8. Ferrari C, Mancini F M, Mancini L et al. 2019 Environmental damage and environmental mediation. Italian guidelines Microchemical Journal 149103993.
9. Wen, Shen B. Standards of water environmental protection and practical removal technologies of emerging contaminants. Huanjing Kexue Xuebao / Acta Scientiae Circumstantiae. 38, 847–857 (2018).
10. ГОСТ 17.4.1.02-83 Межгосударственный стандарт «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнений».
11. Shepherd D A, Patzelt H, Baron R A "I care about nature, but disengaging values in assessing opportunities that cause harm" Academy of Management Journal, 2013, 56(5) 0776.
12. Varvastian S., Kalunga F. Transnational Corporate Liability for Environmental Damage and Climate Change: Reassessing Access to Justice after Vedanta v. Lungowe Transnational Environmental, 2020, Law9(2) 323-345.
13. Плотникова Р.Н. Оценка вреда окружающей среде производственных процессов в перерабатывающих отраслях «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса [Электронный документ]: матер. V международной научно-практической конференции. Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж, ВГУИТ: 2021. - С. 421-426.
14. Приказ Минприроды России от 8.07.2020 г. № 238 « Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды.

15. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. Утверждена председателем Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды В.И. Даниловым-Данильяном 9 марта 1999 г.
16. Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В., Мальцев М.В. Повышение экологической безопасности при переработке и использовании эластомерных отходов. *Экология и промышленность России*. 2021; 29(9): 8-14. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-9-8-14>.
17. Попова Л, Репин П, Корчагин В, Плотникова Р. Использование метода фитотестирования для определения класса опасности отходов *Экология и промышленность России*. 2019, 23 (23), 49–53.
18. Плотникова Р.Н. Применение нормативной базы по минимизации негативного воздействия на окружающую среду для развития биотехнологических подходов к ее оздоровлению. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021, 83(1), 129-137.
19. Khalatbari Y, Abbas P "Environmental Damage": challenges and opportunities in *International Environmental Law*. *CIFILE Journal of International Law*, 2019, Law 1(1), 22-28.

References

1. Ranjith R. Kumar, Elavarasan G., Kannan M., Karthikeyan D. Standards for environmental protection in India. *International Journal of Scientific and Technology Research*. 9, 319–323 (2020).
2. Plotnikova R. N. Assessment of atmospheric air damage as a result of the activities of large food and processing enterprises 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1052 012119 DOI: 10.1088/1755-1315/1052/012119.
3. Federal Law No. 219 FZ dated 21.07.2014 "On Amendments to the Federal Law "On Environmental Protection" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation". (in Russian).
4. Pavanelli D., Voulvoulis N. Habitat Equivalency Analysis, a framework for forensic cost evaluation of environmental damage *Ecosystem Services* 38100953 (2019).
5. Plotnikova R. N. Ecological and economic assessment of violation of regulatory requirements for the protection of water bodies *Bulletin of VSUIT*. 2022. T. 84, No. 2. S. 290-297. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-290-297. (in Russian).
6. Wang F., Liu B., Zhang B. Embodied environmental damage in interregional trade: A MRIO-based assessment within China *Journal of Cleaner Production* 1401236-1246 (2017).
7. Barcos Arias I., Molina Manzo A., Cruz Piza I. Evaluation of the penalty for environmental damage in the province of los rios *Universidad y Sociedad*, 12(6), 339-347 (2020).
8. Ferrari C., Mancini F M, Mancini L et al. Environmental damage and environmental mediation. *Italian guidelines* *Microchemical Journal* 149103993 (2019).
9. Wen, Shen B. Standards of water environmental protection and practical removal technologies of emerging contaminants. *Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae*. 38, 847–857 (2018).
10. GOST 17.4.1.02-83 Interstate standard "Nature Protection. Soils. Classification of Chemicals for Pollution Control" (in Russian)
11. Shepherd D. A., Patzelt H., Baron R. A. "I care about nature, but disengaging values in assessing opportunities that cause harm" *Academy of Management Journal*, 56(5), 0776 (2013).
12. Varvastian S., Kalunga F. Transnational Corporate Liability for Environmental Damage and Climate Change: Reassessing Access to Justice after *Vedanta v. Lungowe* *Transnational Environmental Law* 9(2) 323-345 (2020).
13. Plotnikova R. N. Environmental damage assessment of production processes in the processing industries "System analysis and modeling of quality management processes in the innovative development of the agro-industrial complex [Electronic document]: mater. V international scientific-practical conference. Voronezh State un-t engineer technol. - Voronezh, VSUIT: 2021. - P. 421-426 (in Russian).
14. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated July 8, 2020 No. 238 "On Approval of the Methodology for Calculating the Amount of Damage Caused to Soils as an Object of Environmental Protection (in Russian).
15. Temporary methodology for determining the prevented environmental damage. Approved by the Chairman of the State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection V.I. Danilov-Danilyan on March 9, 1999. (in Russian)
16. Plotnikova R. N., Korchagin V. I., Popova L. V., Maltsev M. V. Improving environmental safety in the processing and use of elastomeric waste. *Ecology and industry of Russia*. 2021; 29(9):8-14. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-9-8-14> (in Russian).

17. Popova L., Repin P., Korchagin V., Plotnikova R. Using the method of phytotesting to determine the hazard class of waste Ecology and Industry of Russia. 2019, 23 (23) 49–53 (in Russian).

18. Plotnikova R. N. Application of the regulatory framework to minimize the negative impact on the environment for the development of biotechnological approaches to its improvement. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies, 2021, 83(1) 129-137(in Russian).

19. Khalatbari Y., Abbas P. "Environmental Damage": challenges and opportunities in International Environmental Law. CIFILE Journal of International Law 1(1)22-28, (2019).

Сведения об авторах

ФИО	<i>Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)</i>
Плотникова Раиса Николаевна	кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", доцент кафедры «Промышленной экологии и техносферной безопасности», raya.plotnikova.57@mail.ru SPIN-код 9686-7228 ORCID 0000-0001-9559-4443

Authors information

Last name, first name, patronymic	<i>Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)</i>
Plotnikova Raisa Nikolaevna	PhD, Associate Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, raya.plotnikova.57@mail.ru SPIN-код 9686-7228 ORCID 0000-0001-9559-4443

статья поступила в редакцию 24.02.2024	одобрена после рецензирования 06.03.2024	принята к публикации 14.03.2024
---	---	------------------------------------

the article was submitted 24.02.2024	approved after reviewing 06.03.2024	accepted for publication 14.03.2024
---	--	--

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ КИСЛОТ В РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЦАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ ПОЛИМЕРАМИ НА ОСНОВЕ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА

Анна Геннадьевна Саввина¹ anika1107@yandex.ru
Алексей Алексеевич Кушнир¹ ✉ kushnir_aleksei@mail.ru
Павел Тихонович Суханов¹ pavel.suhanov@mail.ru

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-кт Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Разработаны системы экстракционного и сорбционного концентрирования ароматических кислот, при которых достигается соответственно 10 и 100-кратное концентрирование аналитов. В качестве десорбента выбран этиловый спирт, обеспечивающий степень десорбции 97-99%. Диапазон определяемых концентраций при сорбционно-флуориметрическом определении составляет 10–160 мкг/см³, предел обнаружения с учетом коэффициента концентрирования – 67,0 мкг/дм³. Относительная погрешность определения не превышает 12 %. Погрешность при определении обусловлена тушением флуоресценции и неполной сорбцией – десорбции аналита. Диапазон определяемых концентраций сорбционно-фотометрического способа – 1–25 мкг/см³, предел определения – 7,0 мкг/дм³. Относительная погрешность определения не превышает 10 %. Способы сорбционно-фотометрического и сорбционно-флуориметрического определения салициловой кислоты легко выполнимы и могут быть применены для анализа лекарственных средств и в контроле сточных вод фармацевтических предприятий, пищевых продуктов. Погрешность определения не превышает 11, 13 и 8% соответственно при экстракционно-флуориметрическом, экстракционно-хроматографическом и экстракционно-фотометрическом определении. Расхождения между результатами, полученными при применении разных вариантов способов определения, и между дисперсиями (при сравнении экстракционных и сорбционных способов) незначимы.

Ключевые слова: ароматические кислоты, определение, бензойная кислота, салициловая кислота, 2-хлорбензойная кислота, концентрирование, N-винилпирролидон.

Для цитирования: Саввина А. Г., Кушнир А. А., Суханов П. Т. Определение ароматических кислот в различных матрицах с предварительным концентрированием полимерами на основе N-винилпирролидона // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 64-72.

Original article

DETERMINATION OF AROMATIC ACIDS IN VARIOUS MATRICES WITH PRE-CONCENTRATION OF POLYMERS BASED ON N-VINYLPYRROLIDONE

Anna.G. Savvina¹ anika1107@yandex.ru
Alexey A. Kushnir¹ ✉ kushnir_aleksei@mail.ru
Pavel T. Sukhanov¹ pavel.suhanov@mail.ru

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia

Annotation. Systems of extraction and sorption concentration of aromatic acids have been developed, in which 10 and 100-fold concentration of analytes is achieved, respectively. Ethyl alcohol was selected as a desorbent, providing a degree of desorption of 97-99%. The range of detectable concentrations during sorption-fluorimetric determination is 10-160 micrograms/cm³, the detection limit, taking into account the concentration coefficient– is 67.0 micrograms/dm³. The relative error of determination does not exceed 12%. The error in the determination is due to the quenching of fluorescence and incomplete sorption – desorption of the analyte. The range of concentrations determined by the sorption-photometric method is 1-25 micrograms/cm³, the limit of determination is 7.0 micrograms/dm³. The relative error of determination does not exceed 10%. The methods of sorption-photometric and sorption-fluorimetric determination of salicylic acid are easily feasible and can be used for the analysis of medicines and in the control of wastewater from pharmaceutical enterprises, food products. The error of determination does not exceed 11, 13 and 8%, respectively, for extraction-fluorimetric, extraction-chromatographic and extraction-photometric determination. The discrepancies between the results obtained using different variants of the determination methods and between the variances (when comparing extraction and sorption methods) are insignificant.

Keywords: aromatic acids, definition, benzoic acid, salicylic acid, 2-chlorobenzoic acid, concentration, N-vinylpyrrolidone.

For citation: Savvina A. G., Sukhanov P. T., Kushnir A. A. Determination of aromatic acids in various matrices with pre-concentration of polymers based on n-vinylpyrrolidone. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2024; (1 (5)): 64-72. (In Russ.).

Введение

Консерванты – пищевые добавки (Е 200 – 299), представленные, в основном, органическими кислотами, являются неорганическими, природными или синтетическими соединениями с антибиотическими свойствами, увеличивающие сроки хранения различных пищевых продуктов [1-3].

В качестве химических консервантов рекомендуется применять малотоксичные сорбиновую, бензойную (БК), салициловую

(СК) и дегидрацетовую кислоты, а также эфиры галловой кислоты. Избыточные количества этих соединений в организме человека может привести к пищевой гиперчувствительности – нежелательной реакции на пищу или пищевую добавку, например, экземе, астме, крапивнице [4-5].

Максимальные уровни БК и ее солей в пищевых продуктах (Е 210-213) приведены в работе в [6] (таблица 1).

Таблица 1. Максимально допустимый уровень бензойной кислоты в различных категориях пищевых продуктов [6].

Table 1. The maximum permissible level of benzoic acid in food categories [6]

Категория пищевых продуктов / Food category	МДУ, мг/кг (мг/л) / MDU, mg/kg (mg/l)	Ограничения / исключения Limitations / Exceptions
Ароматизированное ферментированное молоко, продукты, в том числе термически обработанные продукты	300	Только не подвергнутые тепловой обработке молочные продукты десерты
Фрукты и овощи, за исключением компота	2,00	Только приготовленная красная свекла
Фрукты и овощи в уксусе, масле или рассоле	2,00	Только овощи (за исключением оливок)
Фрукты и овощи в уксусе, масле или рассоле	500	Только оливки
Жевательная резинка	1,50	–
Переработанная рыба и продукты рыболовства, включая моллюски и ракообразные	200	Только соленая и сушеная рыба
Рыбная икра	2,00	Только в полуконсервативной рыбе
Ароматизированные напитки	150	Исключая напитки на основе молочных продуктов
Супы и бульоны	500	Только жидкие супы и бульоны

Установлено, что БК и ее соли не канцерогенны для большинства людей. Она может усиливать гиперчувствительность и вызывать кожные расстройства [7].

СК – слабый антисептик с раздражающими свойствами и применяется в медицине при лечении кожных заболеваний в мазях наружного применения и растворах [8]. Следовые концентрации могут быть обнаружены в сточных водах фармацевтических производств [9].

Цель работы – разработать способы определения ароматических кислот в различных матрицах с предварительным концентрированием образцов полимерами на основе N-винилпирролидона.

Материалы и методы исследования

Приборы, реактивы и материалы. При проведении эксперимента применяли бензойную, салициловую и хлорбензойную (ХБ) кислоты, хлориды и сульфаты натрия, калия, аммония квалификации х.ч. (Вектон, РФ). Для приготовления растворов использовали деионизированную воду,

полученную с помощью системы водоподготовки RiOs-DI (MerckMillipore, США).

Оптические плотности растворов и сорбционно-флуориметрическое определение концентратов проводили соответственно на спектрофотометре UV 1240 (Shimadzu, Япония) и анализаторе «Флюорат-02-3М» (Lumex, Россия).

Водорастворимые и сшитые полимеры на основе N-винилпирролидона получали радикальной полимеризацией на кафедре ВМС и коллоидов ВГУ.

Концентрацию аналитов в растворе определяли спектрофотометрически при максимумах (λ_{\max} , нм) поглощения БК, СК и ХБ 272, 275 и 290 соответственно.

Экстракция ароматических кислот водорастворимым полимером на основе N-винилпирролидона. В сосуды с пришлифованными пробками помещали 10,0 см³ растворов БК, СК, ХБ с известными концентрациями (c_0), добавляли высаливатель (сульфат аммония квалификации х.ч.) и 1,0 см³ раствора полимера (ПВП) с концентрацией 1 мас. %, экстрагировали до достижения межфазного равновесия.

Степени извлечения (R , %) и коэффициенты концентрирования (K) рассчитывали по уравнениям:

$$R = \frac{c_0 - c}{c_0} \cdot 100$$

$$K = m_{\text{вод}} / m_{\text{орг}},$$

где c_0 и c – концентрации определяемого соединения в водном растворе до и после экстракции соответственно, ммоль/см³; $m_{\text{вод}}$ и $m_{\text{орг}}$ – массы водной и органической фаз соответственно, г.

Сорбция ароматических кислот сшитым полимером на основе N-винилпирролидона. Для изучения сорбции БК, СК, ХБ навески полимера (0,010 ± 0,001 г) помещали в стеклянные пробирки, добавляли 10,0 см³ (V) раствора сорбата и перемешивали до установления сорбционного равновесия.

Результаты исследования и их обсуждение

Определение консервантов в водных средах на уровне микроколичеств, как правило, включает стадию предварительного концентрирования [10]. Один из эффективных и легко выполнимых методов концентрирования является жидкостная экстракция (ЖЭ), которая используется для разделения соединений на основе их относительной растворимости в двух разных несмешивающихся жидкостях, обычно в воде и органическом растворителе. [11].

Способ экстракционного концентрирования (*способ А*) ароматических карбоновых кислот из разбавленных водных растворов выполняется следующим образом. В сосуды с пришлифованными пробками помещают 10,0 см³ растворов БК, СК, ХБ с известными концентрациями (c_0), вводят до насыщения сульфат аммония, подкисляют до pH 3, добавляют 1,0 см³ раствора поливинилпирролидона с концентрацией 1 мас. % и экстрагируют 3-5 мин. При условии практически полного извлечения коэффициенты концентрирования достигают 10 (таблица 2).

Таблица 2. Степень извлечения (R , %) и коэффициенты концентрирования (K) ароматических кислот после экстракционного концентрирования

Table 2. Degree of extraction (R , %) and concentration coefficients (K) of aromatic acids after extraction concentration

Сорбат / Sorbate	R , %	K
БК	97	11
СК	98	10
ХБ	98	10

На основании проведенных ранее исследований [12], установлено время достижения сорбционного равновесия, максимальная степень извлечения при обоснованном значении pH среды и разработан *Способ Б*. Он предусматривает подкисление пробы до pH 3, добавление 0,5 М сульфата аммония, введение полимерного сорбента ВП-ЭГДМА – 1:15 (указано соотношение ВП к ЭГДМА) в соотношении водно-солевой раствор - сорбент 100 : 1, перемешивание 50 мин на вибросмесителе и отделение полимера с сорбатом от водной фазы. Предложенные сорбционные системы обеспечивают 100-кратное концентрирование АК из разбавленных водных растворов.

Разработанные системы экстракционного и сорбционного концентрирования (способы А и Б) обеспечивают соответственно 10 и 100-кратное концентрирование аналитов.

Для разработки способов определения, увеличения селективности и пределов обнаружения необходимо выбрать условия, обеспечивающие количественную десорбцию из фазы полимерного сорбента минимальным объемом элюента.

Десорбция аналитов (сорбатов) зависит от природы растворителя. В работе в качестве десорбентов применяли ацетонитрил, этиловый спирт, 0,1 М раствор гидроксида натрия. Установлено, что степень десорбции значительно ниже при элюировании ацетонитрилом и гидроксидом натрия (таблица 3), наиболее эффективный десорбент – этиловый спирт (степень десорбции более 97%).

Таблица 3. Влияние природы элюента на степень десорбции аналитов (R_d ,%)

Table 3. Influence of the nature of the eluent on the degree of desorption of analytes (R_d ,%)

Аналиты / Analytes	Элюент / Eluent		
	0,1 моль/дм ³ раствор NaOH / 0.1 mol/dm ³ NaOH solution	Этиловый спирт / Ethyl alcohol	Ацетонитрил / Acetonitrile
БК	74	97 (1,7)*	85
СК	73	96 (2,0)*	88
ХБ	72	98 (1,9)*	88

Примечание. * В скобках указан объем элюента (V, см³)

По результатам сорбционного концентрирования предложена схема анализа (рисунок 1), включающая пробоподготовку, сорбцию БК полимерным сорбентом, получение концентрата и его последующий анализ.

Для анализа концентрата предложено применять хроматографические и спектральные (спектрофотометрия и флуориметрия) методы анализа.

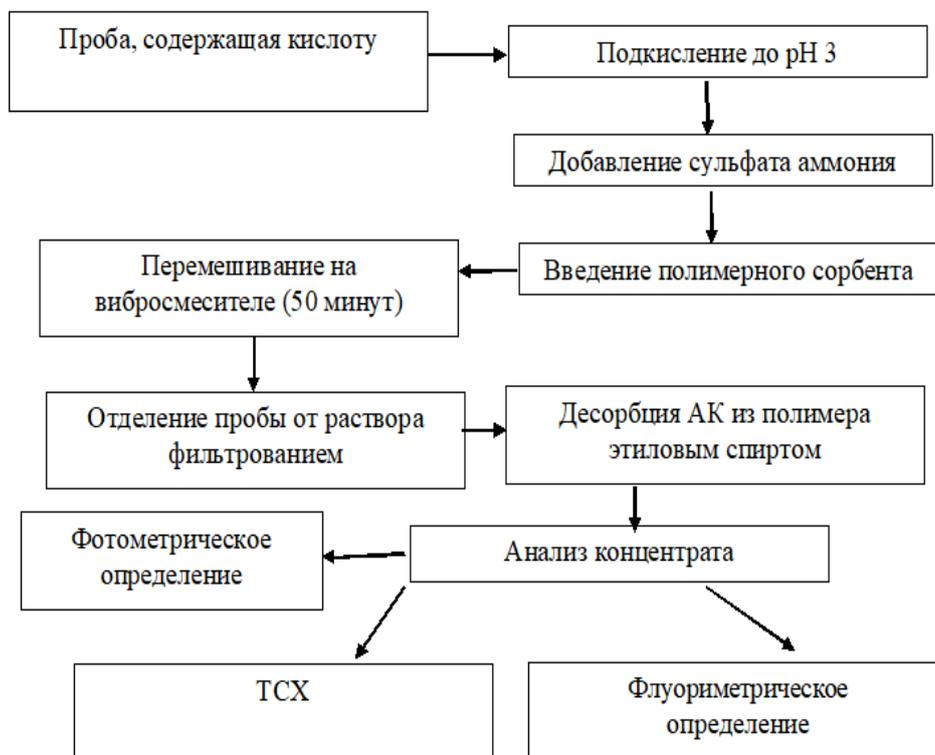


Рисунок 1. Схема анализа ароматических кислот (способ хроматографического определения представлен в работе [13])

Figure 1. Aromatic acid analysis scheme (the method of chromatographic determination is presented in [13])

Сорбционно-флуориметрическое определение салициловой кислоты. Способ анализа сочетает предварительное концентрирование элементов из водных растворов полимерным сорбентом по способу Б и последующее флуориметрическое определение аналита в элюате. При сохраняющейся простоте определения за счет сорбции и метода измерения аналитического сигнала повышается чувствительность.

После концентрирования СК проводили десорбцию этиловым спиртом, прибавляли 1 мл 2%-ного спиртового раствора сульфата

алюминия. Раствор перемешивали, помещали в кварцевую кювету объемом 1 см³. Для измерения интенсивности флуоресценции на приборе «Флюорат-02-3М» устанавливали светофильтры №3 – на возбуждение и №1 – на регистрацию. Интенсивность измеряли относительно спиртового раствора сульфата алюминия (фон). Правильность предложенного способа устанавливали методом «введено-найдено» (таблица 4) на модельных растворах, приготовленных на водопроводной воде.

Таблица 4. Результаты флуориметрического определения салициловой кислоты в модельных пробах водопроводной воды после сорбционного концентрирования ($n = 3, P = 0,95$)

Table 4. Results of fluorimetric determination of salicylic acid in model samples of tap water after sorption concentration ($n = 3, P = 0,95$)

Введено, мг/см ³ / Administered, mg/cm ³	Найдено, мг/см ³ / Found, mg/cm ³	S _r	δ _c , %
0,010	0,089 ± 0,007	3,4	11,0
0,020	0,018 ± 0,004	8,7	10,0
0,080	0,071 ± 0,008	4,3	11,3

Диапазон определяемых концентраций 10 – 160 мг/см³, предел обнаружения с учетом коэффициента концентрирования – 67, 0 мг/дм³. Относительная погрешность определения не превышает 12 %. Погрешность при определении обусловлена особенностями анализа (тушение флуоресценции) и неполной сорбцией и десорбцией анализа.

Сорбционно-фотометрическое определение салициловой кислоты в водных средах. Способ анализа сочетает предварительное концентрирование СК по способу Б, десорбцию этиловым спиртом и последующее фотометрическое

определение в элюате. После концентрирования проводили десорбцию салициловой кислоты 2 мл этилового спирта, прибавляли 1 мл 0,02 % раствора хлорида железа (III), при этом образуется моносалицилатный сине-фиолетовый комплекс (I).

Оптические плотности растворов (А) измеряли при 520 нм с толщиной поглощающего слоя 1 см. Правильность предложенного способа устанавливали методом «введено-найденно» (таблица 5) на модельных растворах, приготовленных на водопроводной воде.

Таблица 5. Результаты фотометрического определения салициловой кислоты в модельных пробах водопроводной воды после сорбционного концентрирования ($n = 3, P = 0,95$)

Table 5. Results of photometric determination of salicylic acid in model samples of tap water after sorption concentration ($n = 3, P = 0,95$)

Введено, мг/см ³ / Administered, mg/cm ³	Найдено, мг/см ³ / Found, mg/cm ³	S _r	δ _c , %
5,0	4,5 ± 0,3	2,4	10,0
10,0	9,2 ± 0,1	0,6	8,0

Диапазон определяемых концентраций 1 – 25 мг/см³, предел определения – 7,0 мг/дм³. Относительная погрешность определения не превышает 10 %.

Экстракционно-флуориметрическое определение салициловой кислоты в водных средах. Предварительно проводят экстракцию СК по способу А. Раствор перемешивают, по-

мещают в кварцевую кювету объемом 1 см³ и измеряют интенсивность флуоресценции на «Флюорат-02-3М» относительно спиртового раствора сульфата алюминия. Правильность предложенного способа устанавливают методом «введено-найденно» (таблица 6) на модельных растворах, приготовленных на водопроводной воде.

Таблица 6. Результаты флуориметрического определения салициловой кислоты в модельных пробах водопроводной воды после экстракционного концентрирования ($n = 3, P = 0,95$)

Table 6. Results of fluorimetric determination of salicylic acid in model samples of tap water after extraction concentration ($n = 3, P = 0,95$)

Введено, мг/см ³ / Administered, mg/cm ³	Найдено, мг/см ³ / Found, mg/cm ³	δ _c , %
10,0	8,9 ± 0,02	11,1
30,0	28,5 ± 0,03	5,0

Экстракционно-фотометрическое определение салициловой кислоты в водных средах. Предварительно проводят экстракцию по способу А. Органическую фазу отделяют и растворяют в 1 мл 0,02 % раствора хлорида желе-

за (III). Правильность предложенного способа устанавливают методом «введено-найденно» (таблица 7) на модельных растворах в пробах водопроводной воды.

Таблица 7. Результаты фотометрического определения салициловой кислоты в модельных пробах водопроводной воды после экстракционного концентрирования ($n = 3, P = 0,95$)

Table 7. Results of photometric determination of salicylic acid in model samples of tap water after extraction concentration ($n = 3, P = 0,95$)

Введено, мг/см ³ / Administered, mg/cm ³	Найдено, мг/см ³ / Found, mg/cm ³	δ _c , %
10,0	8,9 ± 0,9	8,3
30,0	28,5 ± 1,1	7,4

Погрешность определения не превышает 11, 13 и 8 % соответственно при экстракционно-флуориметрическом, экстракционно – хроматографическом и экстракционно-фотометрическом определении. Способы легко выполняются. Расхождения результатов, полученными при применении разных вариантов методик, и между дисперсиями (при сравнении экстракционных и сорбционных способов) незначимы. Способы позволяют получать результаты с одинаковой точностью и могут применяться для анализа лекарственных средств и пищевых продуктов.

Апробация методик на реальных объектах. Определение бензойной кислоты в икре.

Способ 1 (спектрофотометрическое определение). Навеску икры массой 1,0 г гомогенизируют и переносят в мерную колбу вместимостью 25 см³, добавляют 2,5 см³ раствора полимера ПВП с концентрацией 1 мас. %, 12,5 см³ 40 % раствора сульфата аммония и подкисляют до pH 3. Колбу с содержимым выдерживают на ультразвуковой бане 10 мин, для получения прозрачного экстракта в колбу вносят по 1 см³ растворов Карреза I, II, (Химмед, РФ) и тщательно перемешивают после

каждого добавления реагентов. Объем колбы доводят до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивают и экстрагируют 3-5 минут. Органическую фазу отделяют и растворяют в 2 мл этанола, отбирают 10 мкл концентрата и определяют концентрацию БК, как описано выше.

Способ 2 (флуориметрическое определение). Навеску икры массой 1,0 г гомогенизируют и переносят в мерную колбу вместимостью 25 см³, добавляют 20 см³ дистиллированной воды. Колбу с содержимым выдерживают на ультразвуковой бане 10 мин, вносят по 1 см³ растворов Карреза I и Карреза 2, тщательно перемешивают.

Добавляют кристаллический сульфат аммония до получения раствора с концентрацией 0,5 моль/дм³, вводят сорбент (соотношение водно-солевой раствор - сорбент 100 : 1), подкисляют до pH 3 и перемешивают на вибросмесителе 50 мин. Полимер с сорбатом от водной фазы отделяют фильтрованием. Полимер промывают 2 мл этанола, отбирают 10 мкл концентрата и анализируют. Результаты количественного определения приведены в таблице 8.

Таблица 8. Определение бензойной кислоты в икре трески (введено 0,02 мг/см³ n = 3, P = 0,95)

Table 8. Determination of benzoic acid in cod roe (introduced 0.02 mg/cm³ n = 3, P = 0.95)

Объект анализа / The object of analysis	Способ 1 / Method 1			Способ 2 / Method 2		
	Найдено, мг/см ³ / Found, mg/cm ³	S _r	δ _c , %	Найдено, мг/см ³ / Found, mg/cm ³	S _r	δ _c , %
Икра трески	0,017 ± 0,005	12,0	15,0	0,017 ± 0,004	8,8	15

Определение салициловой кислоты в лекарственных средствах. 0,5 см³ раствора спиртового для наружного применения СК помещают в мерную колбу вместимостью 100 мл и доводят до метки дистиллированной водой. Отбирают 10,0 см³ раствора и помещают в сосуд с пришлифованной пробкой, вводят кристаллический сульфат аммония до насыщения, подкисляют до pH 3, добавляют 1,0 см³ раствора поливинилпирролидона с концентрацией

1 мас. % и экстрагируют 3-5 минут. Органическую фазу отделяют и растворяют в 1 мл 2 % спиртового раствора сульфата алюминия. Раствор перемешивают, помещают в кварцевую кювету вместимостью 1 см³ и измеряют интенсивность флуоресценции на приборе «Флюорат-02-3М» относительно спиртового раствора сульфата алюминия.

Результаты количественного определения приведены в таблице 9.

Таблица 9. Результаты сорбционно-флуориметрического определения содержания салициловой кислоты (n = 3, P = 0,95)

Table 9. Results of sorption-fluorimetric determination of salicylic acid content (n = 3, P = 0.95)

Содержание в объекте (с учетом 200 кратного разбавления) / The content in the object (taking into account 200 times dilution)	Найдено, мг/см ³ / Found, mg/cm ³	δ _c , %
100 мкг/см ³	90,5 ± 2,0	9,5

Выводы

Разработан комплекс способов определения ароматических кислот в водных растворах, пищевых продуктах и фармацевтическом препарате. Погрешность определения способов не превышает 11, 13 и 8 % соответственно при экстракционно-флуориметрическом, экстракционно – хроматографическом и экстракционно-фотометрическом определении.

Способы легко выполнимы. Расхождения между результатами, полученными при применении разных вариантов методик, и дисперсиями (при сравнении экстракционных и сорбционных способов) незначимы. Способы позволяют получать результаты определения ароматических кислот с одинаковой точностью и могут применяться для анализа пищевых продуктов и лекарственных средств.

Литература

1. Fletcher N. Food Additives: Preservatives // *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. P. 471-473. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00226-2>.
2. Angiolillo L., Conte A., Del Nobile M.A. Food Additives: Natural Preservatives // *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. P. 474-476. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00438-8>
3. Date R., Sanwalka N. Knowledge regarding preservatives, additives and artificial sweeteners as components of food labeling // *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*. 2017. V. 8. P. 113). <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2017.04.198>
4. Witkowski M., Grajeta H., Gomułka K. Hypersensitivity reactions to food additives – preservatives, antioxidants, flavor enhancers // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. V. 19. N 18. P. 11493. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811493>
5. Donn J. An AP investigation: Pharmaceuticals Found in Drinking Water [Электронный ресурс] / J. Donn, M. Mendoza, J. Pritchard //Режим доступа: http://hosted.ap.org/specials/interactives/pharmawater_site/day1_01.html (актуально по состоянию на 10.11.16).
6. Webb S., Ternes T., Gibert M. Olejniczak Indirect human exposure to pharmaceuticals via drinking water // *Toxicol. Lett.* 2003. V. 142. P. 157-167. [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(03\)00071-7](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(03)00071-7)
7. EC (European Commission). Benzoic acid [Электронный ресурс] / SANCO/1396/2001 // 2003. – Режим доступа: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=activesubstance.detail&language=EN&selectedID=1018.
8. Fent K., Weston A.A., Caminada D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands) // *Aquat. Toxicol.* 2006. V. 76. P. 122-159. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.009>
9. Суханов П.Т., Савина А.Г., А.А. Кушнир, Полуженкова Е.В. Концентрирование и определение бензойной и салициловой кислот в водных средах и продуктах питания // *Аналитика и контроль*. 2018. Т. 22. № 2. С. 92-117. <https://doi.org/10.15826/analitika.2018.22.2.003>
10. Золотов Ю.А., Цизин Г.И., Моросанова Е.И., Дмитриенко С.Г. Сорбционное концентрирование микрокомпонентов для целей химического анализа // *Успехи химии*. 2005. Т. 74, № 1. С. 41-66.
11. Кофанов В.И., Невинная Л.В. Аналитическая химия гидрофильных органических соединений в воде. Гидрофильные экстрагенты // *Журн. аналит. химии*. 1988. Т. 43, № 9. – С. 1691 – 1698.
12. Кушнир А.А., Суханов П.Т., Саввина А.Г., Бондарева Л.П., Чурилина Е.В., Полуженкова Е.В., Шаталов Г.В. Сорбция ароматических кислот из водных растворов полимером на основе N-винилпирролидона // *Журнал прикладной химии*. 2016. Т. 89. № 6. С. 730-735. <https://doi.org/10.1134/s1070427216060070>
13. Саввина А.Г., Кушнир А. А., Суханов П.Т., Губин А.С. Хроматографическое определение ароматических кислот после сорбционного концентрирования полимером на основе n-винилпирролидона // *Химия, физика и механика материалов*. 2023. № 1(36). С. 15-27.

References

1. Fletcher N. Food Additives: Preservatives // *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. P. 471-473. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00226-2>.
2. Angiolillo L., Conte A., Del Nobile M.A. Food Additives: Natural Preservatives // *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. P. 474-476. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00438-8>

3. Date R., Sanwalka N. Knowledge regarding preservatives, additives and artificial sweeteners as components of food labeling // Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism. 2017. V. 8. P. 113). <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2017.04.198>
4. Witkowski M., Grajeta H., Gomułka K. Hypersensitivity reactions to food additives – preservatives, antioxidants, flavor enhancers // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. V. 19. N 18. P. 11493. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811493>
5. Donn J. An AP investigation: Pharmaceuticals Found in Drinking Water [Electronic resource] / J. Donne, M. Mendoza, J. Pritchard //Access mode: http://hosted.ap.org/specials/interactives/pharmawater_site/day1_01.html (officially as of 11/10/16).
6. Webb S., Ternes T., Gibert M. Olejniczak Indirect human exposure to pharmaceuticals via drinking water // Toxicol. Lett. 2003. V. 142. P. 157-167. [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(03\)00071-7](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(03)00071-7)
7. EC (European Commission). Benzoic acid [Электронный ресурс] / SANCO/1396/2001 // 2003. – Режим доступа: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=activesubstance.detail&language=EN&selectedID=1018.
8. Fent K., Weston A.A., Caminada D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands) // Aquat. Toxicol. 2006. V. 76. P. 122-159. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.0099>.
9. Sukhanov P.T., Savina A.G., Kushnir A.A., Poluzhenkova E.V. Concentration and determination of benzoic and salicylic acids in aqueous media and food // Analytics and control. 2018. V. 22. N 2.P. 92-117 (In Russia).
10. Zolotov Yu.A., Tsysin G.I., Morosanova E.I., Dmitrienko S.G. Sorption preconcentration of microcomponents for chemical analysis // Russian Chemical Reviews. 2005. V. 74. N 1. P. 37-60. <https://doi.org/10.1070/RC2005v074n01ABEH000845>
11. Kofanov V.I., Nevinnaya L.V. Analytical chemistry of hydrophilic organic compounds in water. Hydrophilic extractants // J. anal. chem. 1988. V. 43. N. 9. P. 1691-1698 (In Russia).
12. Kushnir A.A., Sukhanov P.T., Savvina A.G., Bondareva L.P., Churilina E.V., Poluzhenkova E.V., Shatalov G.V. Sorption of aromatic acids from aqueous solutions by polymer based on N-vinylpyrrolidone // Russian Journal of Applied Chemistry. 2016. V. 89. N. 6. P. 891-896. <https://doi.org/10.1134/s1070427216060070>
13. Savvina A.G., Kushnir A.A., Sukhanov P.T., Gubin A.S. Chromatographic determination of aromatic acids after sorption concentration by a polymer based on n-vinylpyrrolidone // Chemistry, physics and mechanics of materials. 2023. N. 1(36). P. 15-27 (In Russia).

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Саввина Анна Геннадьевна	преподаватель ЦК технологии ресторанного сервиса факультета среднего профессионального образования ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», anika1107@yandex.ru SPIN-код: 3820-2819
Кушнир Алексей Алексеевич	кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», доцент кафедры Промышленной экологии и техноносферной безопасности, kushnir_aleksei@mail.ru SPIN-код: 7049-2733 ORCID: 0000-0003-4844-0147 Researcher ID: E-8003-2016 Scopus Autor ID: 55983575000
Суханов Павел Тихонович	доктор химических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор кафедры Физической и аналитической химии, pavel.suhanov@mail.ru SPIN-код 8978-9118 ORCID 0000-0002-2588-9286 Researcher ID A-6244-2019 Scopus Autor ID 10046067600

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (<i>academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors</i>)
Savvina Anna Gennadievna	Lecturer at the Central Committee of Restaurant Service Technology, Faculty of Secondary Vocational Education, Voronezh State University of Engineering Technologies, anika1107@yandex.ru SPIN code: 3820-2819
Kushnir Alexey Alexeyevich	PhD, Associate Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, kushnir_aleksei@mail.ru SPIN code: 7049-2733 ORCID 0000-0003-4844-0147 Researcher ID E-8003-2016 Scopus Author ID 55983575000
Sukhanov Pavel Tikhonovich	DSc, Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Professor of the Department of Physical and Analytical Chemistry, pavel.suhanov@mail.ru SPIN code 8978-9118 ORCID 0000-0002-2588-9286 Researcher ID A-6244-2019 Scopus Author ID 10046067600

статья поступила в редакцию
11.03.2024

одобрена после рецензирования
19.03.2024

принята к публикации
27.03.2024

the article was submitted
11.03.2024

approved after reviewing
19.03.2024

accepted for publication
27.03.2024

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНОДИСПЕРСИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Раиса Григорьевна Домниченко

raisa-domnichenko@yandex.com

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, д. 20 А, Луганск, 291034, Россия, Луганская Народная Республика

Аннотация. Исследовано изменение реологических показателей водно-дисперсионных материалов на основе двойных эмульсий стирол-акрилового латекса и эпоксидной смолы при введении минеральных наполнителей в зависимости от их поверхностной активности и способности к гидратации. Показано, что увеличение прочности коагуляционных структур полученных суспензий происходит в ряду материалов: дробленый мрамор > осадочный мел > каолин. Полученные результаты позволили оценить степень изменения свойств водных дисперсий в зависимости от характеристик наполнителя, что может в дальнейшем использоваться для корректировки рецептур лакокрасочных материалов.

Ключевые слова: реологические свойства, водно-дисперсионные материалы, эмульсия, стирол-акриловый латекс, эпоксидная смола, гидратация, наполнитель.

Для цитирования: Домниченко Р. Г. Влияние наполнителей на реологические свойства воднодисперсионных лакокрасочных материалов // Инженерные технологии. 2024. № 1 (5). С. 73-79.

Original article

INFLUENCE OF FILLERS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER-DISPERSIVE PAINT MATERIALS

Raisa G. Domnichenko

raisa-domnichenko@yandex.com

Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Molodezhny sq., 20A, Lugansk, 291034, Russia, Luhansk People's Republic

Abstract. The rheological properties of water-dispersed materials made on the basis of double emulsions of styrene-acrylic latex and epoxy resin, as well as mineral fillers, were studied. The influence of the surface activity of fillers on the properties of polymer coatings, as well as their ability to hydrate, was studied. It was found that an increase in the strength of coagulation structures of suspensions occurs in a number of materials: crushed marble > sedimentary chalk > kaolin. The results obtained made it possible to estimate the degree of change in the properties of aqueous dispersions depending on the characteristics of the filler. This can be used to adjust paint formulations.

Keywords: rheological properties, water-dispersed materials, emulsion, styrene-acrylic latex, epoxy resin, hydration, filler.

For citation: Domnichenko R.G. Influence of fillers on the rheological properties of water-dispersive paint materials. *Ingenernye tehnologii* = Engineering technologies. 2024; (1 (5)): 73-79. (In Russ.).

Введение

Полимерные покрытия представляют собой дисперсные системы, роль дисперсной среды в которых выполняют полимерные пленкообразователи, а дисперсной фазы – наполнители, пигменты и другие, нерастворимые в высокомолекулярных пленкообразователях добавки [1]. Основной функцией наполнителей является улучшение эксплуатационных характеристик покрытия и увеличение рентабельности использования лакокрасочного материала (ЛКМ), так как на практике содержание наполнителя в нем может достигать 60 % масс. [2]. Наиболее широкое применение в рецептурах лакокрасочных материалов нашли наполнители карбонатного и силикатного ти-

па. Большинство природных наполнителей имеет гидрофильную природу поверхности, что обуславливает пониженную степень контакта ее с полимерной матрицей. С целью повышения прочности контакта используют модификацию поверхности этих дисперсных материалов соединениями, которые характеризуются дифильностью и способностью при адсорбции ориентироваться гидрофильным (реакционноспособным) участком молекулы в направлении поверхности наполнителя, а гидрофобной – в направлении дисперсной среды. Вещества такого класса включают жирные кислоты, силиконаты, полиакрилаты, четвертичные аммониевые соли и др. [3-4].

Формирование реологического профиля лакокрасочных материалов происходит под

влиянием комплекса факторов, включающих в себя начальные параметры системы плёнообразователя, свойства поверхности дисперсных добавок и их способности к созданию сольватных структур в системе, а также под действием функциональных добавок – смачивателей, диспергаторов, загустителей. Это значительно затрудняет прогнозирование реологических параметров лакокрасочных материалов в целом как сложных систем и обуславливает целесообразность перехода к частным моделям. Построение таких моделей может быть основываться, например, на классических уравнениях Эйнштейна или Муни [5-6] в том случае если рассматривается поведение дисперсий. На практике же наиболее часто используются регрессионные модели, основанные на наборах экспериментальных данных для определённой системы [7-8]. Учитывая сложность составов лакокрасочных материалов, важным является установление влияния свойств компонентов, в частности, дисперсных наполнителей на реологические показатели водно-

дисперсионных лакокрасочных материалов, полученных при их использовании. Целью работы явилось исследование химического состава наполнителей, развитости их поверхности и влияния на реологические показатели наполненных систем.

Материалы и методы исследования

Эмульсии были получены методом, который описан в патенте [9] и использован в статье [10]. Для получения композиций разработана рецептура воднодисперсного материала, в состав которого входили: эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84, ФКП «Завод им. Свердлова»), стирол-акрилатная дисперсия UCAR DL 450 (ф. Dow), диспергатор анионного типа Axillat 32-S (натриевая соль полиакриловой кислоты). Соотношение компонентов приведено в таблице 1. После смешивания в состав композиции была введена водная дисперсия отвердителя полиэтиленполиамин (ТУ 2413-357-00203447-99).

Таблица 1. Состав исследуемых композиций

Table 1. Composition of the studied compositions

Компонент / Component	Количество, масс. % / Quantity, mass. %
Эпоксидная смола ЭД-20 / Epoxy resin ED-20	26.47
Вода / Water	23.24
Латекс UCAR DL 450 / Latex UCAR DL 450	14.71
Полиакрилат натрия Axillat 32-S / Sodium Polyacrylate Axillat 32-S	1.76
Наполнитель Normcal 20 / MMC-1 / XOM / КСЧ-1 / Filler Normcal 20 / MMC-1 / HOM / KSCH-1	33.82

Принимая во внимание особенности тенденций развития водно-дисперсионных лакокрасочных материалов в качестве наполнителей выбраны карбонаты кальция - дробленый мрамор Normcal 20 (Somcalcite, Турция), MMC-1 (ООО «Волчяровский карьер»), химически осажденный мел – ХОМ (ООО «Реактив»), каолин КСЧ-1 (ТУ 08.12.21-004-05494314-2019).

Оценку степени химического взаимодействия наполнителей и пленкообразователя осуществляли по спектральным характеристикам наполнителей и полимерных пленок, полученным с помощью спектрофотометра Specord IR 75 (Carl Zeiss, Германия).

Измерения реологических свойств композиции выполняли с помощью прибора Rheotest II, номер шпинделя – S3, и Viscotech Myr VR 3000, номер шпинделя – R3 – R7, что позволило контролировать не только общий уровень вязкости, но и получать реологические зависимости, характеризующие пригод-

ность системы к нанесению различными методами, склонность к образованию потеков, дестабилизации и выравнивания в тонком слое.

Результаты исследования и их обсуждение

На инфракрасных спектрах карбонатов выявлено смещение максимума полос при 1425 см^{-1} у Normcal-20 до 1495 см^{-1} у ХОМ, уменьшение отношения их интенсивностей ($I_{0/I}$) от 45,33 до 35,25, сужение энергетического спектра колебаний структурных связей. Полуширина этих же полос поглощения уменьшается на 400 см^{-1} для ХОМ и 235 см^{-1} для MMC-1. Гидроксильные группы на поверхности зафиксированы только в случае химически осаждённого мела (полоса поглощения при 3643 см^{-1} с соотношением интенсивностей $I_{0/I} = 0,23$).

Максимальное количество адсорбированной воды ($I_{0/I} = 0,34$) присутствовало в составе образца ХОМ, а минимальное у Normcal-20 ($I_{0/I} = 0,09$).

Химический состав поверхности каолина КСЧ-1 определён на основании рассмотрения полос поглощения поверхностных и структурных гидроксильных групп, связанных атомами кремния и алюминия, а также воды [11-12]. Так, диапазон 3680 и 3640 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям внутренних поверхностных структурных гидроксильных групп; пики при 926 и 900 см⁻¹ обусловлены деформационными колебаниями структурных гидроксильных; полосы 3440 и 1605 см⁻¹ принадлежат соответственно валентным и деформационным колебаниям адсорбированной воды.

В целом, спектральная картина рассматриваемых материалов говорит о том, что основной составляющей дробленого мрамора и осадочного мела ММС-1 является кальцит, а каолина КСЧ-1 – каолинит. На поверхности всех исследуемых материалов содержатся как связанные гидроксильные группы, так и гидро-

скопическая вода. Количество последней может служить косвенным показателем склонности материалов к гидратации, по которой материалы могут быть расположены в ряду увеличения Normcal-20, ММС-1, ХОМ, КСЧ-1.

Для получения более полной картины поверхностных свойств, значение удельной поверхности материалов оценено рядом методов (таблица 2).

Установлено, что минимальная удельная поверхность, оценённая по воздухопроницаемости [13] и методом БЭТ [14-15] наблюдается у Normcal-20 (соответственно 0,22 и 1,44 м²/г). Это в первом случае в 3-5 раз и во втором в 1,5-2,3 раза меньше, чем у ММС-1 и ХОМ. По сравнению каолином эти показатели отличаются в 8,4 и 10,8 раза. В тоже время коэффициент развитости поверхности дробленого мрамора уступает только на 2,06 каолину и превышает на 4,1-3,7 ХОМ и ММС-1.

Таблица 2. Удельная поверхность (м²/г) дисперсных наполнителей

Table 2. Specific surface area (m²/g) of dispersed fillers

Материал / Material	По воздухопроницаемости / By air permeability	По БЭТ / By BET	Коэффициент развитости поверхности / the coefficient of surface development
ММС-1 / MMS-1	0,55	2,15	3,75
ХОМ / HOM	0,95	3,18	3,30
Normcal-20 / Normcal-20	0,22	1,44	7,38
Каолин КСЧ-1 / Kaolin KSCH-1	1,60	15,08	9,43

Отмеченные особенности состава и структуры исследуемых наполнителей сказываются на формировании их физико-химических свойств в дисперсном состоянии (таблица 3).

Установлено, что при контакте их с водой в статических и динамических условиях наименьшей смачиваемостью обладает каолин ($\theta = 43^\circ$, $V_n = 0,06$). Карбонаты кальция имеют более полярную поверхность. Среди последних следует выделить ХОМ, который адсорбирует

до 1,65 г/г воды. Тогда как для остальных карбонатов этот показатель находится на уровне 0,41 – 0,70 г/г (т.е. в 4-2,3 раза ниже). Влагопоглощение каолина больше по сравнению с карбонатами кальция в 4,7 (Normcal-20) – 2,5 (ХОМ) раза, что хорошо согласуется с количественной оценкой энергетического состояния поверхности дисперсных минеральных наполнителей. По маслосмачиваемости каолин несколько уступает химически осаждённому мелу и почти в два раза превосходит Normcal-20 и ММС-1.

Таблица 3. Физико-химические свойства поверхности дисперсных наполнителей

Table 3. Physico-chemical properties of the surface of dispersed fillers

Материал / Material	Краевой угол смачивания водо- й θ , ° / The edge angle of wetting with water θ , °	Смачиваемость при натекании / Wettability upon leakage		Влагопоглощение, масс. % / Moisture absorp- tion, mass. %	Маслосмачиваемость, г/100 г / Oil capacity, g/100 g
		вода, V_n / water, V_n	ксилол, V_n / xylol, V_n		
ММС-1 / MMS-1	26	0,33	0,29	1,56	23
ХОМ / HOM	31	0,30	0,24	1,70	57
Normcal-20 / Normcal-20	30	0,36	0,25	0,90	19
Каолин КСЧ-1 / Kaolin KSCH-1	43	0,06	0,24	4,20	44

Установлено (рисунок 1), что для наполненной Normcal-20 (концентрация 33,8 масс. %) водно-дисперсионной смеси плёнкообразователей вязкость уменьшается от 210,6 Па·с до 6,8 Па·с (скорость сдвига, соответственно 0,209 и 41,800 с⁻¹) в процессе прямого хода. Кривая обратного хода на зависимостях вязкости и скорости сдвига от напряжения сдвига

практически совпадает с исходной. Вязкость на завершающем этапе отличается от начальной всего на 2,7 Па·с. Петли с очень незначительной площадью отмечены при направлениях сдвига в диапазоне 75 – 175 Па для вязкостных кривых и 100 – 250 Па для зависимости скорости сдвига от напряжения (рисунок 1).

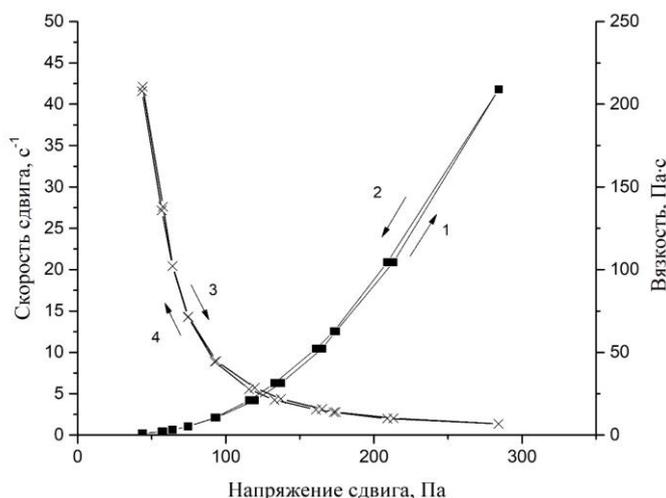


Рисунок 1. Зависимости скорости сдвига (кривая 1, 2) и вязкости (кривая 3, 4) от напряжения сдвига для системы Normcal-20 – ЭД-20 + UCAR 450 – вода

Figure 1. Dependence of the shear rate (curve 1, 2) and viscosity (curve 3, 4) on the shear stress for the Normcal-20 – ED-20 + UCAR 450 – water system

Показано, что напряжения сдвига в этой системе изменяются в пределах 44,0 – 284,2 Па. Отличие в его минимальных уровнях для прямого и обратного хода не превышает 0,5 Па.

Замена дробленого мрамора на осадочный мел при тех же концентрациях в исследу-

емых системах сопровождается существенным увеличением вязкости и напряжения сдвига последних при аналогичных скоростях (рисунок 2).

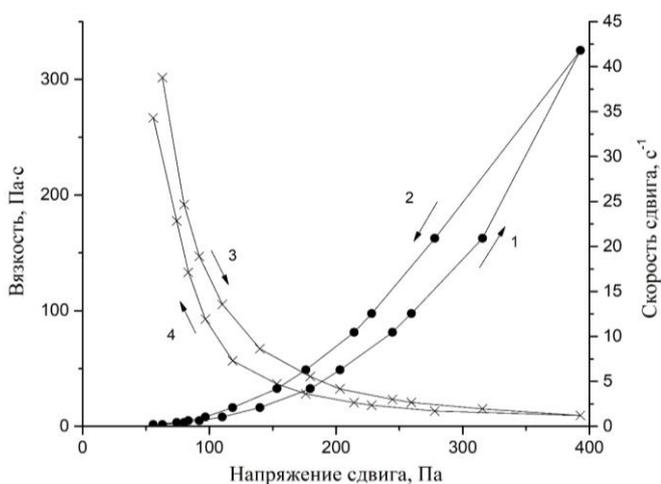


Рисунок 2. Зависимости скорости сдвига (кривая 1,2) и вязкости (кривая 3, 4) от напряжения сдвига для системы MMC-1 – ЭД-20 + UCAR 450 – вода

Figure 2. Dependence of the shear rate (curve 1,2) and viscosity (curve 3, 4) on the shear stress for the MMC-1 – ED-20 + UCAR 450 – water system

Выявлено, что диапазон вязкости составляет 201,5 – 3,4 Па·с при прямом ходе и до 266,8 Па·с при обратном. Напряжение сдвига зафиксировано соответственно 63,0 – 392,9 и до 55,8 Па. Зависимости скорости сдвига и вязкости от напряжения сдвига в диапазоне начиная с 75 Па характеризуется появлением петель гистерезиса между кривыми прямого и обратного хода. Площадь последних в несколько раз превосходит аналогичный показатель для систем и использованием Normcal-20. Такое отличие может быть обусловлено более высокой адсорбционной активностью мела MMC-1 и, как следствие, образование более прочной адсорбционно-коагуляционной структуры.

Подтверждением этому поведению наполненных MMC-1 систем является большая в сравнении с Normcal-20 вязкость (статическая в 1,2, а динамическая в 1,1 раза) и особенно предел текучести (в статических условиях в 1,5 и в динамических в 1,7 раза). Следовательно, введение осадочного мела обеспечи-

вает более активное адсорбционное взаимодействие в системе смесь плёнкообразователь – вода и вследствие этого формирование более устойчивой структуры.

Ещё больший эффект упрочнения структуры водно-дисперсионных ЛКМ достигается введением каолина КСЧ-1. Установлено, что вязкость материала на его основе изменяется в исследуемом диапазоне скоростей от 13,6 до 809,3 Па·с при прямом ходе и до 654,4 Па·с при обратном. Напряжение сдвига при этом фиксируется в диапазоне 136,8 – 568,5 Па.

Установлено, что по уровню максимальных значений вязкости каолин содержащая система превышает аналогичную на основе мела почти в 2,7 раза, а дробленого мрамора в 3,8 раза. Увеличение напряжения сдвига соответственно происходит в таких же пределах. Площадь петли гистерезиса достигает максимума в ряду исследованных наполнителей. Формирование последней охватывает диапазон напряжений сдвига начиная от 100 Па (таблица 4).

Таблица 4. Реологические свойства системы «наполнитель – пленкообразователь – вода»

Table 4. Rheological properties of the filler – film–water system

Минеральный наполнитель / Mineral filler	Статические / Static		Динамические / Dynamic	
	предел текучести Pk1, Па / yield strength Pk1, Pa	вязкость η_0 , Па·с / viscosity η_0 , Pa·s	предел текучести Pk2, Па / yield strength Pk2, Pa	вязкость η^* , Па·с / viscosity η^* , Pa·s
Normcal-20 / Normcal-20	30,7	63,7	142,0	3,4
Мел MMC-1 / Chalk MMS-1	46,8	776	240,3	3,7
Каолин КСЧ-1 / Kaolin KSCH-1	141,6	124,8	351,0	5,2

На основании изученных экспериментальных данных, можно сделать вывод о преимущественной роли каолина КСЧ-1 над мелом MMC-1 и дробленным мрамором Normcal-20 в процессах формирования адсорбционно-коагуляционных структур наполненных водных дисперсий смеси плёнкообразователей ЭД-20 и UCAR 450.

Выводы

Показано, что реологические показатели водно-дисперсионных материалов на основе двойных эмульсий стирол-акрилового латекса и эпоксидной смолы, наполненных дисперсными наполнителями как статические и динамические пределы текучести, а также, тиксотропность возрастают при увеличении поверхностной активности и способности к гидратации используемого наполнителя, что объясняется увеличением прочности соответствующих коагуляционных структур суспензий. Так, при

переходе от материала с наименее развитой поверхностью из рассматриваемых – Normcal 20 к материалу с наиболее развитой поверхностью – каолин КСЧ-1 при условии почти десятикратного возрастания этого показателя наблюдается повышение статического предела текучести в 4,5 раза, статической вязкости и динамического предела текучести – в 2,2 раза, а динамической вязкости – всего в 1,5 раза.

Полученные результаты позволяют оценить степень изменения свойств в зависимости от характеристик наполнителя, что может использоваться для корректирования рецептур лакокрасочных материалов. Практический интерес при более глубоком исследовании представляет получение реологических параметров суспензий на более широком диапазоне значений удельной поверхности химически однородного материала, а также учёт фактора формы его частиц.

Литература

1. Казакова Е.Е., Скороходова О.Н. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения. – М.:Пейнт-Медиа, 2003. – 136 с.
2. Герасимова Л.Г., Скороходова О.Н. Наполнители для лакокрасочной промышленности. М.: ЛКМ-пресс, 2010.
3. Сиразиева Л.Ф. Диспергирующие добавки для водно-дисперсионных лакокрасочных материалов. Обзор литературы / Л.Ф. Сиразиева, С.Н. Степин, Л.Ю. Махоткина // *Лакокрасочные материалы и их применение*. – 2004. – № 10. – С. 25–28.
4. Свон П. Основные принципы выбора коалесцента при разработке современных водно-дисперсионных красок / П. Свон // *Лакокрасочная промышленность*. – 2009. – № 1–2. – С. 24–26.
5. Laven J., Stein H.N. The Einstein coefficient of suspensions in generalized newtonian liquids // *Journal of Rheology*. 1991. V. 35. № 8. P. 1523–1549–.224 с.
6. Banerjee T., Samanta A., Mandal A. Mathematical regression models for rheological behavior of interaction between polymer-surfactant binary mixtures and electrolytes // *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2020. P. 1–13.
7. Строганов В.Ф., Амельченко М.О. Возможность регулирования технологических и эксплуатационных свойств стирол-акриловых ЛКМ при применении каолинов различных видов активации // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. №2 (36). С. 207–211.
8. Anderson J. et al. Correlating coating quality of coverage with rheology for mica-based paints // *Applied Rheology*. 2020. V. 30. № 1. P. 119–129.
9. Пат. 2154081 Российская федерация, МПК7 C09D163/02, C09D5/02. Способ получения эпоксидной эмульсии / Манеров В.Б., Сапрыкин М.В., Куликова О.А. и др.; заявитель и патентообладатель – ОАО «Ярославский научно-исследовательский институт лакокрасочной промышленности», ОАО «Лакокраска». – 99100041/04, заявл. 12.01.1999, опубл. 10.08.2000, Бюл. № 21.
10. Домниченко Р.Г., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Получение совмещенной эпоксидианово-акриловой дисперсии // *Вестник ВГУИТ*. 2021. Т. 83. № 1. С. 278–283.
11. Ma Y.-K. et al. Facile and fast determination of Si/Al ratio of zeolites using FTIR spectroscopy technique // *Microporous and Mesoporous Materials*. 2021. V. 311. P. 110683.
12. Saikia B.J., Parthasarathy G. Fourier transform infrared spectroscopic characterization of kaolinite from Assam and Meghalaya, Northeastern India // *Journal of Modern Physics*. 2010. V. 01. № 04. P. 206–210.
13. Nosenko A.A., Polovneva S.I. Methods and devices for measuring surface area dispersed materials // *Proceedings Of Universities Applied Chemistry And Biotechnology*. 2017. V. 7. № 3. P. 113–121.
14. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость : монография. Москва : Мир, 1970. 408 с.
15. Никитин Ю. И., Петасюк Г. А. Методы, приборы и результаты определения удельной поверхности алмазных порошков. *Сверхтвердые материалы*, 2008. №. 1. С. 365-368.

References

1. Kazakova E.E., Skorokhodova O.N. Water-dispersed acrylic paints and varnishes for construction purposes. – M.: Paint-Media, 2003. – 136 p.
2. Gerasimova L.G., Skorokhodova O.N. Fillers for the paint and varnish industry. M.: LKM-press, 2010.
3. Sirazieva L.F. Dispersing additives for water-dispersed paints and varnishes. Literature review / L.F. Sirazieva, S.N. Stepin, L.Yu. Makhotkina // *Paints and varnishes and their application*. – 2004. – No. 10. – P. 25–28.
4. Swan P. Basic principles for choosing a coalescent in the development of modern water-dispersion paints / P. Swan // *Paint and varnish industry*. – 2009. – No. 1–2. – pp. 24–26.
5. Laven J., Stein H.N. The Einstein coefficient of suspensions in generalized newtonian liquids // *Journal of Rheology*. 1991. V. 35. № 8. P. 1523–1549.
6. Banerjee T., Samanta A., Mandal A. Mathematical regression models for rheological behavior of interaction between polymer-surfactant binary mixtures and electrolytes // *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2020. P. 1–13.

7. Stroganov V.F., Amelchenko M.O. Possibility of regulating the technological and operational properties of styrene-acrylic coatings when using kaolins of various types of activation // News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. No. 2 (36). pp. 207–211.4.
8. Anderson J. et al. Correlating coating quality of coverage with rheology for mica-based paints // Applied Rheology. 2020. V. 30. No. 1. P. 119-129.
9. Pat. 2154081 Russian Federation, IPC7 C09D163/02, C09D5/02. A method for obtaining an epoxy emulsion / Manerov V.B., Saprykin M.V., Kulikova O.A., etc.; the applicant and patent holder are JSC Yaroslavl Scientific Research Institute of the Paint Industry, JSC Lakokraska. – 99100041/04, application 12.01.1999, publ. 10.08.2000, Bul. No. 21
10. Domnichenko R.G., Vostrikova G.Y., Nikulin S.S. Obtaining a combined epoxy-acrylic dispersion // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. V. 83. № 1. P. 278–283.
11. Ma Y.-K. et al. Facile and fast determination of Si/Al ratio of zeolites using FTIR spectroscopy technique // Microporous and Mesoporous Materials. 2021. V. 311. P. 110683.
12. Saikia B.J., Parthasarathy G. Fourier transform infrared spectroscopic characterization of kaolinite from Assam and Meghalaya, Northeastern India // Journal of Modern Physics. 2010. V. 01. № 04. P. 206–210.
13. Nosenko A.A., Polovneva S.I. Methods and devices for measuring surface area dispersed materials // Proceedings Of Universities Applied Chemistry And Biotechnology. 2017. V. 7. № 3. P. 113–121.
14. Greg S., Sing K. Adsorption, specific surface area, porosity : monograph. Moscow : Mir, 1970. 408 p. 11. Nikitin Yu. I., Petasyuk G. A. Methods, devices and results of determination of the specific surface area of diamond powders. Superhard materials, 2008. No. 1. pp. 365-368.
15. Nikitin Yu. I., Petasyuk G. A. Methods, instruments and results for determining the specific surface of diamond powders. Superhard materials, 2008. No. 1. pp. 365-368.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Домниченко Раиса Григорьевна	Старший преподаватель, Луганский государственный университет имени Владимира Даля, raisa-domnichenko@yandex.com ORCID 0009-0003-9919-3083

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Domnichenko Raisa Grigor'evna	Senior lecturer, Lugansk State University named after Vladimir Dahl, raisa-domnichenko@yandex.com ORCID 0009-0003-9919-3083

статья поступила в редакцию 08.03.2024	одобрена после рецензирования 18.03.2024	принята к публикации 27.03.2024
the article was submitted 08.03.2024	approved after reviewing 18.03.2024	accepted for publication 27.03.2024

