

ISSN 2949-6241
e-ISSN 2949-6233

Инженерные Технологии



№3 2023

16+

ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№3, 2023

16+

ENGINEERING TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

№3, 2023

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)

Заместители главного редактора

Гусев Борис Владимирович - доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент Российской академии наук, президент Российской инженерной академии (г. Москва, Россия)

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)

Тихомиров Сергей Германович – главный редактор рубрики «Информационные технологии и телекоммуникации», доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные и управляющие системы» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия)

Редакционная коллегия:

Рубрика «Информационные технологии и телекоммуникации»

Алтайулы 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)

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)

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

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)

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)

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

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)

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

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

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

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)

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

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)

Остриков Александр Николаевич заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия)

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

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

Скрыпников Алексей Васильевич доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия)

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)

Хаустов Игорь Анатольевич доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационные и управляющие системы» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия)

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

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)

Рубрика «Химические технологии, науки о материалах»

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

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

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

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

Иванов Леонид Алексеевич кандидат технических наук, первый вице-президент, ученый секретарь Российской инженерной академии (г. Москва, Россия)

Кучменко Татьяна Анатольевна доктор химических наук, профессор, профессор РАН, зав. кафедрой «Физическая и аналитическая химия» Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия)

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)

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

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)

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)

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 (Воронеж, Россия)

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

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)

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)

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)

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 05.10.2023.

Выход в свет: 28.12.2023.

Формат 70 x 100 1/8

Усл. печ. л. 9,5. Тираж 100 экз. Заказ №

Цена - свободная

© ФГБОУ ВО

«Воронеж. гос. ун-т инж.
технол.», 2023

Editor-in-Chief

Bityukov 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)

Deputy Editors-in-Chief

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)

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)

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)

Editorial Board:

Heading "Information technology and telecommunications"

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)

Bityukov 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)

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)

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)

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)

Ziyatdinov Nadir Nizamovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "System Engineering" Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia)

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)

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)

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

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

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)

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)

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)

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)

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)

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)

Skrypnikov Alexey Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security at Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

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)

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)

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

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)

Heading " Chemical technologies, materials sciences "

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)

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)

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)

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)

Ivanov Leonid Alexeyevich, Candidate of Technical Sciences, First Vice President, Scientific Secretary of the Russian Academy of Engineering (Moscow, Russia)

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)

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)

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)

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)

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)

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)

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)

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)

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)

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)

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 05.10.2023.

The publication: 28.12.2023.

Format 70 x 100 1/8

Usl. pech. l. 9,5. Edition of 100 copies. Order No.

Price - free

© FSBEI HE

«Voronezh State University of
Engineering and Technology»,
2023

СОДЕРЖАНИЕ

Информационные технологии и телекоммуникации

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ УСТАЛОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО ВЫРАЖЕНИЮ ЛИЦА <i>Курбанов Б., Катасёв А. С.</i>	15
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИРОПА НА ОСНОВЕ САХАРНОГО ПЕСКА <i>Арапов Д. В., Чикунов С. В., Бороз В. Н.</i>	20
МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ КОНТУРА ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ И ФУРЬЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ <i>Назаров М. А.</i>	27
ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ <i>Минин А.А., Немтинов В.А.</i>	31
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАТ-БОТОВ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ <i>Епрынцева Н. А.</i>	37
АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ СКЛАДСКОГО УЧЕТА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ <i>Щеглов М. Ю., Немтинов В. А.</i>	40
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ <i>Хромых Е.А., Сафонова Ю.А., Толубаев М.А.</i>	48

Химические технологии, науки о материалах

ОСОБЕННОСТИ ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ ГЕТЕРОПОЛИМЕРНЫХ МАЛОЭМУЛЬГАТОРНЫХ ЛАТЕКСОВ <i>Боголепова О. В., Седых В. А., Гринфельд Е. А.</i>	59
БЕССОЛЕВОЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАТИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ <i>Чурилина Е. В., Никулин С. С., Шаталов Г. В.</i>	69

CONTENTS

Information technology and telecommunications

INTELLIGENT SYSTEM FOR RECOGNIZING HUMAN FATIGUE BY FACIAL EXPRESSION <i>Kurbanov B., Katasev A. S.</i>	15
SIMULATION OF SYRUP PREPARATION BASED ON GRANTED SUGAR <i>Arapov D. V., Chikunov S. V., Borog V.N.</i>	20
A METHOD FOR RECOGNIZING THE CONTOUR OF AN OBJECT IN AN IMAGE USING A NEURAL NETWORK AND FOURIER TRANSFORM <i>Nazarov M. A.</i>	27
APPLICATION OF THE ANT COLONY ALGORITHM TO CREATE CUTTING TECHNOLOGICAL PROCESSES <i>Minin A.A., Nemtinov V.A.</i>	31
USING CHATBOTS IN E-COMMERCE <i>Epryntseva N. A.</i>	37
AUTOMATION OF WAREHOUSE ACCOUNTING BUSINESS PROCESSES FOR AN AGRICULTURAL ORGANIZATION <i>Shcheglov M. Yu., Nemtinov V.A.</i>	40
A FUNCTIONAL APPROACH TO THE DESIGN OF AN INFORMATION SYSTEM FOR PRODUCT QUALITY ASSESSMENT <i>Khromykh E.A., Safonova Yu.A., Tolubaev M.A.</i>	48

Chemical technologies, materials sciences

FEATURES OF FILM FORMATION OF HETEROPOLYMER LOW-EMULSIFIER LATEXES <i>Bogolepova O. V., Sedykh V. A., Grinfeld E. A.</i>	59
SALT-FREE METHOD FOR THE ISOLATION OF EMULSION BUTADIENE-STYRENE RUBBERS USING CATIONIC COPOLYMERS <i>Churilina E. V., Nikulin S. S., Shatalov G. V.</i>	69

Научная статья

УДК 004.94

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ УСТАЛОСТИ ЧЕЛОВЕКА
ПО ВЫРАЖЕНИЮ ЛИЦА**

Бабахан Курбанов	1	Babahan-98@mail.ru
Алексей Сергеевич Катасёв	1	ASKatasev@kai.ru

¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ул. К. Маркса, 10 г. Казань, Республика Татарстан, 420111, Россия

Аннотация. В данной статье рассматривается интеллектуальная система для распознавания усталости человека по выражению лица. В качестве модели для реализации интеллектуальной системы была выбрана сверточная нейронная сеть ResNet50. Обучение модели проводилось с использованием языка Python в среде Jupyter Notebook платформы Anaconda3. Для обучения использовался набор данных, состоящий из 3000 изображений усталых людей и 3000 изображений бодрых людей. В результате обучения модели была достигнута точность 95%. Для разработки программного комплекса и интерфейса интеллектуальной системы использовалась среда PyCharm с библиотеками TensorFlow GPU, Dlib и PyQt5. Для оценки адекватности работы системы построена матрица ошибок, по которой рассчитаны значения метрик качества классификации Recall и Precision. Для класса "усталый" значение метрики Recall составило 0.918, а метрики Precision – 0.918. Для класса "бодрый" значение метрики Recall составило 0.902, а метрики Precision – 0.902. Результаты расчета метрик качества классификации показывают высокую эффективность разработанной системы. Она верно классифицировала большинство объектов. Разработанная система для оценки усталости по выражению лица обладает широким потенциалом применения в различных областях, включая медицину, спорт, производство, транспорт.

Ключевые слова: ResNet50, интеллектуальная система, сверточные нейронные сети, усталость человека по выражению лица.

Для цитирования: Курбанов Б., Катасёв А. С. Интеллектуальная система распознавания усталости человека по выражению лица // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 15-19.

Original article

**INTELLIGENT SYSTEM FOR RECOGNIZING HUMAN FATIGUE BY FACIAL
EXPRESSION**

Babakhan Kurbanov	1	Babahan-98@mail.ru
Alexey S.Katasev	1	ASKatasev@kai.ru

¹Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10, K.Marx St., Kazan, Tatarstan, 420111, Russia

Abstract. This article discusses an intelligent system for recognizing human fatigue by facial expression. The ResNet50 convolutional neural network was chosen as a model for the implementation of the intelligent system. The model was trained using Python in the Jupyter Notebook environment of the Anaconda3 platform. A dataset consisting of 3,000 images of tired people and 3,000 images of cheerful people was used for training. As a result of training the model, an accuracy of 95% was achieved. The PyCharm environment with TensorFlow GPU, Dlib and PyQt5 libraries was used to develop the software package and the interface of the intelligent system. To assess the adequacy of the system's operation, an error matrix was constructed, according to which the values of the Recall and Precision classification quality metrics were calculated. For the "tired" class, the value of the Recall metric was 0.918, and the Precision metric was 0.918. For the "cheerful" class, the value of the Recall metric was 0.902, and the Precision metric was 0.902. The results of calculating classification quality metrics show the high efficiency of the developed system. She correctly classified most of the objects. The developed system for assessing fatigue by facial expression has a wide potential for use in various fields, including medicine, sports, manufacturing, and transport.

Key words: ResNet50, driver fatigue state, neural networks, convolutional neural networks.

For citation: Kurbanov B., Katasev A. S. Intelligent system for recognizing human fatigue by facial expression. *Ingenierne tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 15-19. (In Russ.).

Введение

В настоящее время человеку становится все труднее избежать усталости, особенно в условиях современного ритма жизни. Нервно-физическое напряжение, длительные рабочие часы и постоянные стрессы оказывают негативное влияние на организм человека, приводя к его истощению и ухудшению работы мозга.

Развитие интеллектуальных технологий позволяет создавать «умные» системы, способные решать сложные задачи [1]. Так, например, актуальна разработка интеллектуальных систем распознавания усталости человека по выражению лица. Такие системы способны эффективно контролировать уровень усталости у работающих людей и могут быть использованы для предупреждения возникновения опасных ситуаций, например, связанных с усталостью водителей. Система распознавания усталости по выражению лица может стать незаменимым инструментом для улучшения качества жизни и безопасности людей [2].

Материал и методы исследования

Авторы разработали интеллектуальную систему [3], основанную на использовании сверточной нейронной сети ResNet-50 [4, 5]. ResNet-50 – это глубокая нейронная сеть, представляющая собой модель глубокого обучения для решения задач классификации и сегментации изображений. Она является одной из архитектур ResNet, которые отличаются от других сверточных нейронных сетей использованием возможности «shortcut connection» или «skip connection» через так называемые «residual blocks». Эти блоки позволяют сети более легко обучаться, обеспечивая лучшую сходимость и предотвращая возникновение проблемы затухания градиентов при обучении глубоких сетей.

Результаты исследования и их обсуждение

Слои сети ResNet-50:

1. Convolutional Layer – входной слой, принимает изображение с определенными размерами и применяет свертку на нем с определенным числом фильтров для обнаружения различных признаков;

2. Max Pooling Layer – выполняет субдискретизацию изображения, уменьшая его размерность и избавляясь от избыточной информации;

3. Residual Blocks – основной строительный блок ResNet-50. Каждый блок не является простым сверточным слоем, а представляет собой последовательность сверток, активаций и пропусков (skip connections). Пропуск соединяет выход блока с входом того же блока.

4. Fully Connected Layer – принимает выходные данные от предыдущего слоя и преобразует их в форму, пригодную для классификации.

5. Softmax Layer – применяет функцию softmax к выходу предыдущего слоя, что позволяет получить вероятности принадлежности изображения к каждому классу.

В данной работе описывается модель глубокой нейронной сети ResNet50, реализованной с использованием языка Python в среде Jupyter Notebook, входящей в состав платформы Anaconda3. Обучение модели происходило в течение 100 эпох с использованием 32 обучающих примеров для каждой итерации. В процессе обучения модели был использован набор данных, состоящий из 3000 изображений усталого человека и 3000 – бодрого. Для обучения модели были также использованы веса предварительно обученной модели ImageNet. Алгоритм оптимизации Adam был применен для настройки весов нейронной сети. В результате обучения модели достигнута точность 95%.

На рисунке 1 представлен график обучения модели.

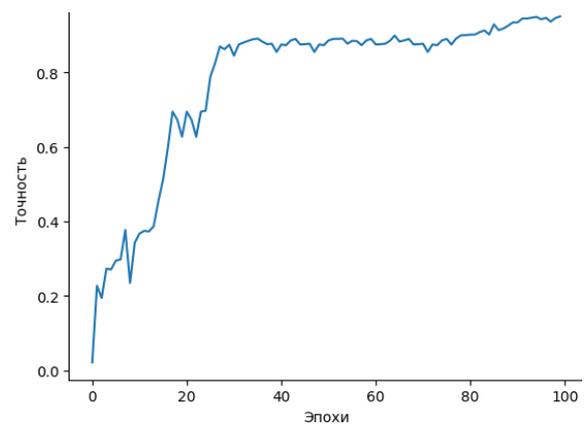


Рисунок 1. График процесса обучения нейросетевой модели

Figure 1. Graph of the neural network model learning process

Для разработки программного комплекса и интерфейса интеллектуальной системы (см. рисунок 2) использована среда PyCharm с библиотеками TensorFlow GPU, Dlib, PyQt5.

Интерфейс содержит следующие элементы:

- 1) блок вывода результата оценки изображения;
- 2) кнопка «Оценить усталость»;
- 3) кнопка «Сфотографировать»;
- 4) кнопка «Загрузить»;
- 5) окно вывода загруженного изображения.

Для оценки адекватности работы системы построена матрица ошибок, по которой рассчитаны значения метрик качества классификации *Recall* и *Precision*.

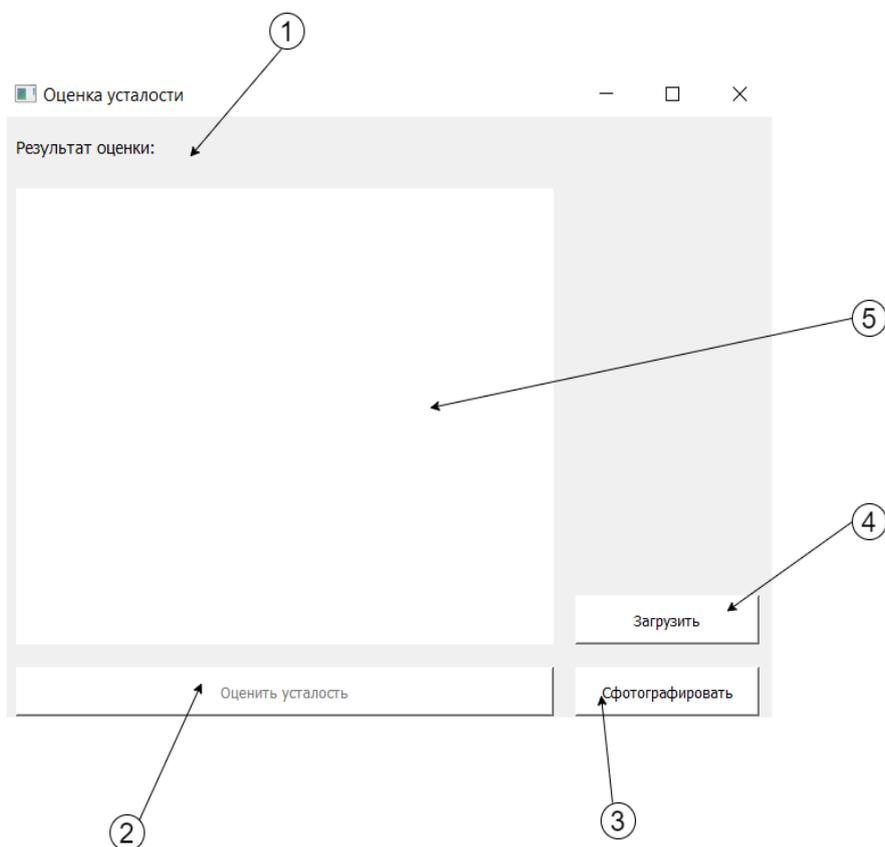


Рисунок 2. Пример интерфейса интеллектуальной системы
 Figure 2. An example of an intelligent system interface

На рисунке 3 представлена матрица ошибок, в которой по строкам показаны результаты классификации системой, а по столбцам – фактические значения классов.

усталый	90	10
бодрый	8	92
	усталый	бодрый

Рисунок 3. Матрица ошибок
 Figure 3. Error matrix

На основе матрицы ошибок рассчитаны значения метрик *Recall* и *Precision* следующим образом [6]:

- $Recall = 90 / (90 + 8) = 0.918$ (для класса усталый);
- $Recall = 92 / (92 + 10) = 0.902$ (для класса бодрый);
- $Precision = 90 / (90 + 10) = 0.918$ (для класса усталый);
- $Precision = 92 / (92 + 8) = 0.902$ (для класса бодрый).

Выводы

Результаты расчета метрик качества классификации показывают высокую эффективность разработанной системы. Она верно классифицировала большинство объектов. Разработанная система для оценки усталости по выражению лица обладает широким потенциалом применения в различных областях, включая медицину, спорт, производство, транспорт [7]. Кроме того, дальнейшее развитие системы может включать усовершенствование алгоритмов обработки изображений. Это позволит расширить сферы применения системы и сделать ее более эффективной для использования в различных предметных областях.

Литература

1. Зиятдинов Н.Н., Дмитриева Л.М., Сержкина А.Е., Дмитриев М.Е. Компьютерные технологии в науке и образовании // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 2. – С. 357-361.
2. Маркин Э.В., Мысишин И.С. Повышение уровня адаптации и усталости организма человека к различным условиям внешней среды // Инновации в образовании: Материалы Международной научно-практической конференции.–Орел: Орловский государственный аграрный университет, 2009.–С.284-288.
3. Курбанов Б., Катасёв А.С. Сверточная нейросетевая система оценки усталости человека по выражению лица // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 7. – С. 70-73.
4. Курбанов Б., Катасёв А.С. Нейросетевая технология оценки состояния усталости водителей по выражению лица // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK. – Казань, 2023. – С. 34-39.
5. Катасёв А.С., Курбанов Б. Сверточная нейросетевая модель определения усталости человека по выражению лица // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 67-71.
6. Архипов В.А. Сравнительный анализ метрик качества для моделей бинарной классификации на примере кредитного скоринга // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 9-2. – С. 12-15.
7. Катасёва Д.В. Нечетко-продукционная модель оценки состояния объектов в системах поддержки принятия решений // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 12. – С. 105-108.

References

1. Ziyatdinov N.N., Dmitrieva L.M., Serezhkina A.E., Dmitriev M.E. Computer technologies in science and education // Bulletin of the Technological University. - 2015. – Vol. 18, No. 2. – pp. 357-361.
2. Markin E.V., Mysishin I.S. Increasing the level of adaptation and fatigue of the human body to various environmental conditions // Innovations in education: Materials of the International scientific and practical Conference. – Orel: Orel State Agrarian University, 2009. – pp. 284-288.
3. Kurbanov B., Katasev A.S. Convolutional neural network system for assessing human fatigue by facial expression // Scientific and technical Bulletin of the Volga region. - 2023. – No. 7. – pp. 70-73.
4. Kurbanov B., Katasev A.S. Neural network technology for assessing the state of fatigue of drivers by facial expression // The International forum KAZAN DIGITAL WEEK. – Kazan, 2023. – pp. 34-39.
5. Katasev A.S., Kurbanov B. Convolutional neural network model for determining human fatigue by facial expression // Bulletin of the Technological University. - 2023. – vol. 26, No. 3. – pp. 67-71.
6. Arkhipov V.A. Comparative analysis of quality metrics for binary classification models on the example of credit scoring // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. - 2019. – No. 9-2. – pp. 12-15.
7. Kataseva D.V. Fuzzy production model for assessing the state of objects in decision support systems // Bulletin of the Technological University. – 2021. – vol. 24, No. 12. – pp. 105-108.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Курбанов Бабахан	аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Babahan-98@mail.ru ORCID: 0009-0006-5777-675X
Катасёв Алексей Сергеевич	д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», ASKatasev@kai.ru ORCID: 0000-0002-9446-0491

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>)
Kurbanov Babakhan	graduate student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Babahan-98@mail.ru ORCID: 0009-0006-5777-675X
Katasev Alexey Sergeevich	DSc, Professor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, ASKatasev@kai.ru ORCID: 0000-0002-9446-0491

статья поступила в редакцию 30.08.2023	одобрена после рецензирования 18.09.2023	принята к публикации 27.09.2023
the article was submitted 30.08.2023	approved after reviewing 18.09.2023	accepted for publication 27.09.2023

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИРОПА НА ОСНОВЕ САХАРНОГО ПЕСКА

Денис Владимирович Арапов[✉] 1 arapovdv@gmail.com
Сергей Владимирович Чикунов 2 chiksv@rambler.ru
Вера Николаевна Борог 1 veraborog@yandex.ru

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), д. 73, ул. Земляной Вал, Москва, 109004, Россия

²Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-кт Революции, д. 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В работе приведена математическая модель (ММ) приготовления на основе сахарного песка сиропа, который используется в пищевой промышленности. В модели принято, что сахарные кристаллы растворяются за счет следующих аддитивных процессов: диффузии, химической реакции сахара с несахарами, реакции гидратации сахарозы и вырывания раствором молекул сахара из кристалла из-за движения фазовой границы раствор-кристалл. ММ состоит из двух дифференциальных уравнений, описывающих количество растворившихся и оставшихся нерастворенными кристаллов. Погрешность модели не превышает погрешности опытов, используемых для ее построения.

Ключевые слова: жидкий сахар, образование комплекса сахар-несахар-вода, экспериментальные данные, математическая модель.

Для цитирования: Арапов Д. В., Чикунов С. В., Борог В. Н. Моделирование приготовления сиропа на основе сахарного песка // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 20-26.

Original article

SIMULATION OF SYRUP PREPARATION BASED ON GRANTED SUGAR

Denis V. Arapov[✉] 1 arapovdv@gmail.com
Sergey V. Chikunov 2 chiksv@rambler.ru
Vera N. Borog 1 veraborog@yandex.ru

¹Moscow State University of Technology and Management, 71 Zemlyanoy Val st., office 306, Moscow, 109004, Russia

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

Abstract: The paper presents a mathematical model (MM) of the process of preparing liquid sugar based on granulated sugar, used in the food industry. The model assumes that sugar crystals dissolve due to the following additive processes: diffusion, the chemical reaction of sugar with non-sugars, the hydration reaction of sucrose and the tearing of sugar molecules from the crystal by the solution due to the movement of the solution-crystal phase boundary. MM consists of two differential equations describing the number of dissolved and remaining undissolved crystals. The error of the model does not exceed the error of the experiments used to construct it.

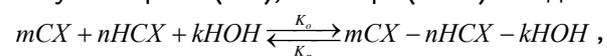
Key words: liquid sugar, formation of the sugar-non-sugar-water complex, experimental data, mathematical model.

For citation: Arapov D. V., Chikunov S. V., Borog V.N. Simulation of syrup preparation based on granted sugar. *Ingenerye tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 20-26. (In Russ.).

Введение

В пищевой и фармакологической промышленности в основном используются жидкие сиропы на основе сахарного песка, в которых одна часть сахарозы связана с водой [1, 2], а другая – с неорганическими и органическими веществами, называемыми несахарами, которые в небольшой концентрации высаливают сахарозу, снижая ее растворимость, а в большей – значительно увеличивают. Причина этого явления в гидратации при малых концентрациях несахаров ионов их солей или молекул с полярными группами неэлектроли-

тов. При определенной концентрации комплекса несахаров сахароза вступает с этим комплексом в химическую реакцию, что объясняет образование основного отхода сахарного производства – мелассы [2]. Вероятно, образуется достаточно устойчивое соединение в результате итоговой химической реакции молекул сахарозы (СХ), несахара (НСХ) и воды:



где m, n и k – коэффициенты стехиометрии; K_o, K_p – соответственно скорости реакций образования и распада комплекса. Они явля-

ются функциями массового отношения несахар/вода и пересыщения раствора.

Растворимость сахара в поликомпонентном растворе, выраженная [1, 3] через термодинамическую концентрацию или активность, равна:

$$C_a = \gamma \cdot Z, \quad (1)$$

где C_a – активность насыщенного раствора сахара; Z – отношение сахар/вода; γ – коэффициент активности:

$$\lg \gamma = b \cdot Z + \sum_i^K \beta_i \cdot \mu_i + \sum_j^M B_j \cdot N_{nj}, \quad (2)$$

где b , β_i , B_j – коэффициенты; μ_i – сила ионная i -го электролита; N_{nj} – отношение масс: (j электролит)/вода.

Выражение (2) можно упростить, используя отношение несахар/вода (N):

$$\lg \gamma = \varphi(Z, N). \quad (3)$$

Подставив (3) в (1) получим [4]:

$$C_a = Z \cdot 10^{\varphi(Z, N)}, \quad (4)$$

Для расчета коэффициента насыщения поликомпонентных сахарных растворов [5, 6] служит формула:

$$\alpha_H = 1 + a_1 N \cdot (a_2 t + a_3 \ln(t) - t^2) + a_4 N^2 \cdot (a_5 t + a_6 \ln(t) - t^2) + a_7 (N \cdot t)^{m1} / \left(\frac{H_0}{100 - H_0} \right)^{m2}, \quad (5)$$

где $a_1, \dots, a_7, m1, m2$, α_H – коэффициенты модели и насыщения соответственно; t – температура, °С.

Экспериментально установленными фактами является то, что: а) грани сахарного кристалла растворяются с разной скоростью; б) более мелкие кристаллы растворяются с большей скоростью, чем более крупные. Из этого можно сделать вывод о вероятностном характере процесса растворения сахарного песка при его производстве или использовании в пищевой промышленности [7] в виде растворов.

У поверхности образца (рисунок 1) образуются нисходящие потоки концентрации, для которых критерий Архимеда (Ar) равен [8]:

$$Ar = \frac{9,8065 \rho_H^2 l^3}{\mu^2} \cdot \frac{\rho_H - \rho_P}{\rho_P}, \quad (6)$$

где ρ_H , ρ_P – плотности раствора в разбавленном и насыщенном состоянии; l – геометрический параметр кристалла; μ – динамическая вязкость насыщенного раствора [9]. Параметр

l равен: $l = d_{экв} = \left(\frac{6V_{ш}}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$, где $V_{ш}$ – объем эквивалентного кристаллу шара.

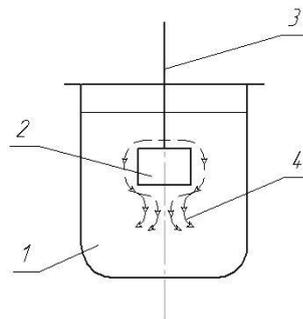


Рисунок 1. Схема опытов: 1–раствор; 2–кристалл; 3–нейлоновая нить; 4–движение концентрированных потоков

Figure 1. Scheme of experiments: 1–solution; 2–crystal; 3–nylon thread; 4–movement of concentration flows

Математическая модель

При разработке ММ кинетики растворения приняты следующие допущения. В разбавленном растворе химическая реакция СХ, НСХ и Н₂O сдвинута вправо. Получаемое соединение тем устойчивее, чем выше концентрация несахаров в растворе. В насыщенном растворе – скорости образования и распада одинаковы. В пересыщенном растворе реакция смещена влево, и сахара выпадает в осадок. Сахар растворяется за счет следующих аддитивных процессов: диффузии, химической реакции СХ – НСХ, реакции гидратации сахарозы и вырывания раствором молекул сахара из кристалла из-за движения фазовой границы раствор-кристалл:

$$K_{dis} = \frac{dm}{dt \cdot F} = k_D (C_H - C_P) + k_X C_H + k_{II} (C_{H1} - C_P)^{m3} + k_O (C_{H2} - C_P)^{m4}, \quad (7)$$

где $K_{dis} = \frac{dm}{dt \cdot F}$ – скорость растворения кристалла, $г / м^2 \cdot мин$; k_D , k_X , k_{II} , k_O – коэффициенты-функции; C_H , C_{H1} , C_{H2} – активности в состоянии насыщения в объеме раствора и возле граней кристалла; C_P – активность разбавленного раствора; $m3$ – $m4$ – подлежащие определению порядки реакций.

$$C_H = Z_K \alpha_H \exp(2,302585093 \cdot (a_8 Z_K \alpha_H + a_9 / Z_K \alpha_H + a_{10} Z_K \alpha_H / T^2 + a_{11} \ln(Z_K \alpha_H) + a_{12} Z_K \alpha_H / (T(Z_K \alpha_H + a_{13} N)) + a_{14} Z_K^2 \alpha_H^2 / (T(Z_K \alpha_H + a_{15} N))^2)) \cdot \exp(-a_{16} \cdot (N + 10^{-10})^{m5}); \quad (8)$$

$$C_P = Z \exp(2,302585093 \cdot (a_{17} Z + a_{18} / Z + a_{19} Z / T^2 + a_{20} \ln(Z) + a_{21} Z / (T(Z + a_{22} N)) + a_{23} Z^2 / (T(Z + a_{24} N))^2)) \exp(-a_{16} \cdot (N + 10^{-10})^{m5}); \quad (9)$$

$$C_{H1} = \gamma_1 C_H \exp(-\gamma_2 C_H); \quad (10)$$

$$C_{H2} = \gamma_3 C_H \exp(-\gamma_4 C_H), \quad (11)$$

где Z_K – сахар/вода в насыщенном растворе чистом; T – температура, °K; α_H – коэффициент, формула (5); $a_8 - a_{24}$, $\gamma_1 - \gamma_4$, $m5$ – коэффициенты.

$$k_D = a_{25} \alpha_H^{m6} T^{m7} \mu^{m8}, \quad (12)$$

где $a_{25}, m7 - m8$ – коэффициенты.

$$k_X = a_{26} \cdot (\alpha_H / \mu)^{m9} \exp(-a_{27} \alpha_H / \mu), \quad (13)$$

где $a_{26}, a_{27}, m9$ – коэффициенты.

Для поверхностной гидратации [10]:

$$k_{II} = \frac{1}{(a_{28} + a_{29} N)^{m10}} \cdot \exp\left(\frac{a_{30} + a_{31} Q^3 + a_{32} Q^2 + a_{33} Q}{T}\right) \cdot \exp\left(\left(\frac{-a_{34}}{(a_{28} + a_{29} N)^{m10}}\right) \times \exp\left(\frac{a_{30} + a_{31} Q^3 + a_{32} Q^2 + a_{33} Q}{T}\right)\right), \quad (14)$$

где Q – концентрация сахара в сухих веществах, доли ед.; $a_{28} - a_{34}, m10$ – коэффициенты.

$$k_O = \sigma^{m11} A r^{m12} \cdot \exp\left(\frac{a_{35}}{(1 + a_{36} \cdot Q)^{m13}} + a_{37} + \frac{a_{38} + a_{39} T + a_{40} T^2}{T^{m14}}\right), \quad (15)$$

где σ – поверхностное натяжение, H / M ; рассчитывается по известной формуле [11, 12]; $a_{35}, \dots, a_{40}, m11, \dots, m14$ – коэффициенты.

Плотность в (6) определяли по [13]. Плотность межкристального сахарного раствора зависит от его температуры и содержания сухих веществ. Это уравнение имеет вид

$$\rho(\tau) = (a_1 \cdot CV^2(\tau) + a_2 \cdot CV(\tau) + a_3) \cdot t^2(\tau) + (a_4 \cdot CV^2(\tau) + a_5 \cdot CV(\tau) + a_6) \cdot t(\tau) + a_7 \cdot CV^2(\tau) + a_8 \cdot CV(\tau) + a_9 \left[\frac{KZ}{M^3}\right], \quad (16)$$

где $CV(\tau)$ – функция изменения содержания сухих веществ в межкристальном растворе, %.

Коэффициенты для плотности $a_1 \dots a_9$ равны: $a_1 = -2,207 \cdot 10^{-7}$; $a_2 = 4,8037 \cdot 10^{-5}$; $a_3 = -3,1631 \cdot 10^{-3}$; $a_4 = 3,3394 \cdot 10^{-5}$; $a_5 = -7,48 \cdot 10^{-3}$; $a_6 = -0,10937$; $a_7 = 1,78 \cdot 10^{-2}$; $a_8 = 3,8218$; $a_9 = 1002,75$.

Параметр l в (6) рассчитывали согласно выражению:

$$l = a_{40} \cdot \exp((-a_{40} \cdot Q \cdot CV \cdot T) / 273,15), \quad (17)$$

где CV – доли ед.

Содержание твердой фазы в чистой воде предполагалось равным $CV = 10^{-10}$ дол. ед., Q изменялась в пределах от 10^{-10} до 1,0.

Значения коэффициентов в (5): $a_1 = -0,7672 \cdot 10^{-4}$; $a_2 = -132,5202$; $a_4 = -0,1338 \cdot 10^{-2}$; $a_3 = -19,2118$; $a_5 = -7,1979$; $a_6 = -1361,4103$; $a_7 = -1,0795$; $m_1 = 1,9552$; $m_2 = 6,606$.

Ошибка моделирования $\pm 9,6$ % отн.

ММ кинетики растворения белого сахара-песка разработана с учетом кинетических зависимостей массы и поверхности сахарного кристалла от его характеризующего геометрического параметра [14].

Площадь поверхности 1 кг кристаллов сахарозы равна [14]:

$$f = \frac{k_1}{\sqrt[3]{m}} \text{ [м}^2\text{]}, \quad (18)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности равный:

– для кристаллов правильной огранки $k_1^i = 4,12$,

– для производственных кристаллов $k_1^m = 4,41$ или $k_1^m = 4,6$.

Среднее значение коэффициента 4,377.

Умножая левую и правую части (18) на массу кристаллов сахара M [кг] и выражая m через M и число кристаллов N получим уравнение для общей поверхности кристаллов в растворе:

$$F = k_1 \cdot m^{\frac{1}{3}} \cdot M = k_1 \cdot M^{\frac{2}{3}} \cdot N^{\frac{1}{3}} \cdot 10^{-2} \text{ [м}^2\text{]}. \quad (19)$$

Число кристаллов в растворе равно:

$$N = \frac{10^6}{m(0)} \cdot \frac{Kp(0) \cdot M_y}{100\%} = \frac{10^4 \cdot Kp(0) \cdot M_y}{m(0)}, \quad (20)$$

где $m(0)$ – средняя масса 1 кристалла сахарозы, мг; $Kp(0)$ – содержание кристаллов сахарозы в растворе в начальный момент времени, %; M_y – суммарная масса кристаллов и раствора, кг.

Масса 1 кристалла сахарозы (мг) определяется исходя из его среднестатистического линейного размера l (мм):

$$m = k_2 \cdot l^3, \quad (21)$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности, равный для кристаллов правильной огранки $k_2^i = 1,11$, для производственных кристаллов по данным разных авторов: $k_2^m = 0,35$, $k_2^m = 0,5787$, $k_2^m = 1,587$. Среднее значение параметра $k_2 = 0,9064$.

Подставляя (19), (20), (21) в (7) получим уравнение убытия массы кристаллов сахарозы в процессе растворения:

$$-\frac{dM}{d\tau} = k \cdot 10^{-\frac{20}{3}} \cdot \frac{(Kp(0) \cdot M_y)^{\frac{1}{3}}}{l(0)} \cdot M^{\frac{2}{3}} \cdot K_{dis} \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]. \quad (22)$$

В процессе растворения сахара изменяется концентрация кристаллов в растворе:

$$Kp(\tau) = Kp(0) - \frac{100\% \cdot dM}{M_y} = Kp(0) - \frac{k \cdot 10^{-\frac{14}{3}} (Kp(0) \cdot M_y)^{\frac{1}{3}} \cdot M^{\frac{2}{3}}(\tau) \cdot K_{dis}(\tau) \cdot d\tau}{l(0) \cdot M_y} \text{ [%]} \quad (23)$$

Зависимость изменения чистоты межкристалльного раствора и содержания сухих веществ от концентрации кристаллов в растворе находится из материального баланса и имеет вид:

$$Ч(\tau) = \frac{CB_y \cdot Ч_y - 100 \cdot Kp(\tau)}{CB_y - Kp(\tau)} \text{ [%]}; \quad (24)$$

$$CB(\tau) = \frac{(CB_y - Kp(\tau)) \cdot 100\%}{100 - Kp(\tau)} \text{ [%]}. \quad (25)$$

Вязкость сахарного раствора рассчитывается по известной формуле Громковского:

$$\mu_y(\tau) = \frac{\mu(\tau)}{1 - 3,4 \cdot \varphi(\tau) \cdot l^{-0,0525}(\tau) + 3,01 \cdot \varphi^2(\tau) \cdot l^{-0,0965}(\tau)}, \quad (26)$$

где $\mu(\tau)$ – функция изменения вязкости межкристалльного раствора в процессе растворения, Па·с;

$\varphi(\tau)$ – функция изменения порозности утфеля:

$$\varphi(\tau) = \frac{Kp(\tau) \cdot \rho(\tau)}{(100 - Kp(\tau)) \cdot \rho_{xp} + Kp(\tau) \cdot \rho(\tau)}, \quad (27)$$

где ρ_{xp} – плотность кристаллического сахара, определяемая по формуле:

$$\rho_{xp} = \frac{1589,7}{1 + 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot (t(\tau) - 15)} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]. \quad (28)$$

Пересыщение межкристалльного раствора рассчитывается в процессе растворения по формуле:

$$\alpha_{II}(\tau) = \frac{Ч(\tau) \cdot CB(\tau) \cdot 0,01}{(100 - CB(\tau)) \cdot H_0(\tau) \cdot \alpha_H(\tau)} \quad (29)$$

где $H_0(\tau)$ –временная функция измерения растворимости сахара от температуры; $\alpha_H(\tau)$ –функция изменения коэффициента насыщения от времени.

В начальный момент времени растворения кристаллов песка при $\tau = 0$ имеем:

$$Kp = Kp(0) \text{ [%]}; \quad (30)$$

$$M = M(0) = 0,01 \cdot Kp(0) \cdot M_v \text{ [кг]}; \quad (31)$$

$$Ч = Ч(0) = \frac{(CB_v \cdot Ч_v - 100 \cdot Kp(0)) \cdot 100}{CB_v - Kp(0)} \text{ [%]}; \quad (32)$$

$$CB = CB(0) = \frac{(CB_v - Kp(0)) \cdot 100}{100 - Kp(0)} \text{ [%]}; \quad (33)$$

$$\rho = \rho(0) = f_1(CB(0), t(0)) \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]; \quad (34)$$

$$\mu_v = \mu_v(0) = f_2(\mu(0), \varphi(0), l(0)) \text{ [Па} \cdot \text{с]}; \quad (35)$$

$$\varphi = \varphi(0) = f_3(Kp(0), \rho(0), \rho_{kp}(0)) \quad (36)$$

$$\alpha_{II} = \alpha_{II}(0) = f_4(Ч(0), CB(0), H_0(0), \alpha_H(0)) \quad (37)$$

$$t = t(0) = t_H \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (38)$$

где f_1, f_2, f_3 и f_4 определяются в соответствии с вышеприведенными формулами.

Уравнения (16), (22)-(29) с начальными условиями (30)-(38) представляют собой математическое описание процесса растворения сахарных кристаллов при приготовлении. С целью уменьшения степенных показателей в (22) и (23) переведем секундные скорости растворения из $[\text{кг}/\text{м}^2\text{с}]$ в минутные $[\text{г}/\text{м}^2\text{мин}]$. В итоге получим окончательные уравнения:

$$\frac{dM(\tau)}{d\tau} = 4.377 \cdot 10^{-\frac{11}{3}} \cdot (K_{cr}^0 \cdot M_{mas}^0)^{\frac{1}{3}} M(\tau)^{\frac{2}{3}} \cdot K_{dis}(\tau) / l_0; \quad (39)$$

$$\frac{dK_{cr}(\tau)}{d\tau} = -4.377 \cdot 10^{-\frac{5}{3}} \cdot (K_{cr}^0 \cdot M_{mas}^0)^{\frac{1}{3}} M(\tau)^{\frac{2}{3}} \cdot K_{dis}(\tau) / (l_0 \cdot M_{mas}). \quad (40)$$

При $\tau = 0, M(\tau) = 0; K_{cr}^0 = 100\% \cdot M_{cr}^0 / M_{mas}$, где M – количество растворившейся сахарозы; M_{mas} – общая масса кристаллов и растворителя, M_{cr} – масса кристаллов.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 приведены модельные величины растворимости при $t = 50^\circ\text{C}$.

Полученная математическая модель носит сложный нелинейный характер с выраженным экстремумом, что способствует оптимизации процесса приготовления сиропа.

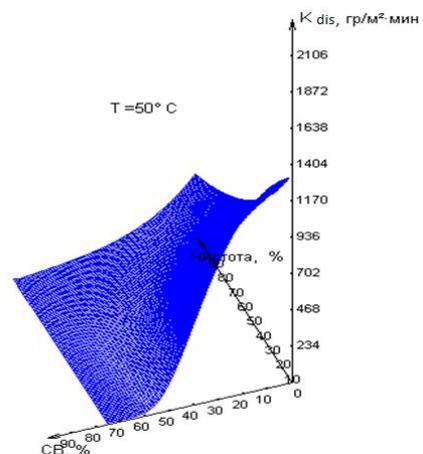


Рисунок 2. Расчетные значения растворимости сахара при температуре 50°C

Figure 2. Calculated values of sugar solubility at a temperature of 50°C

Выводы

В рамках данной работы удалось, основываясь на предположении вероятностного характера процесса, разработать более совершенную математическую модель растворимости сахарных кристаллов, которая может быть использована при приготовлении сиропов на основе сахарного песка в пищевой промышленности. С целью повышения универсальности

дальнейшее усовершенствование модели будет направлено на учет каталитического распада сахарозы под действием катионов воды [H⁺] на глюкозу и фруктозу, взаимного превращения и дальнейшего распада этих моносахаридов, а также диссоциации сахарозы, моносахаридов и продуктов их распада в водных растворах и изменение pH раствора.

Литература

1. Герасименко, А.А. Кристаллизация сахара / А.А. Герасименко. – Киев: Наукова Думка, 1965. -361с.
2. Гнездилова, А.И. Физико-химические основы мелассообразования и кристаллизации лактозы и сахарозы в водных растворах / А.И. Гнездилова, В.М. Перелыгин. – Воронеж: Изд. ВГУ, 2002. - 96 с.
3. Принципы технологии сахара / Под ред. П. Хонига. – М.: Пищепромиздат, 1961. -616 с.
4. Петров, С.М. Кинетическая модель скорости роста кристаллов сахарозы из чистых и нечистых растворов / С.М. Петров, В.А. Курицын, Д.В. Арапов // Сахар. - 2004. - №6. - С. 26-29.
5. Петров, С.М. Расчет коэффициента насыщения нечистых сахарных растворов / С.М. Петров, Д.В. Арапов, В.А. Курицын // Сахар. -2005. -№1. -С. 42 -45.
6. Петров, С.М. Уравнения для расчета на ЭВМ физико-химических свойств водных растворов сахарозы / С.М. Петров, Д.В. Арапов, В.А. Курицын // Сахар. -2014. -№4. -С.44 -53.
7. Arapov, D.V. Simulation of the rate of dissolution of sucrose crystals / D.V. Arapov, V.A. Kuritsyn, S.M. Petrov, N.M. Podgornova // Journal of Food Engineering. – 2022. – Т. 318. – С. 110887.
8. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н.И. Гельперин. В 2-х кн. -М.: Химия, 1981. -812 с.
9. Петров, С.М. Модель вязкости водных сахарных растворов / С. М. Петров, В. А. Курицын, Д. В. Арапов // Сахар. -2004. -№2. -С. 31 -33..
10. Тужилкин, В. И. Кристаллизация сахара / В.И. Тужилкин. -М.: Изд. комп. МГУПП, 2007. - 336 с.
11. Арапов, Д.В. Вероятностная модель кинетики растворимости и кристаллизации сахарозы в поликомпонентных растворах / Д.В. Арапов, В.А. Курицын // Итоги науки. Выпуск 19. Глава 6. Избранные труды Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. - М.: РАН, 2015.-С.116-140.
12. Арапов, Д.В. Моделирование растворения и роста сахарных кристаллов / Д.В. Арапов, С.Л. Подвальный, С.Г. Тихомиров // Вестник Воронежского государственного технического университета. -2019.-Т.15.-№2.-С.29-41.
13. Синат-Радченко, Д.Е. Расчетные зависимости теплофизических свойств сахарных растворов / Д.Е. Синат-Радченко, С.М. Василенко, К.О. Штангеев // Сахар. - 2004. - №1. - С. 43.
14. Грабка, Я. Процесс уваривания утфелей при заводке кристаллов специальной пастой / Я. Грабка // Сахарная промышленность. -1987. - №12. -С.22 -25.

References

1. Gerasimenko, A.A. Crystallization of sugar / A.A. Gerasimenko. – Kyiv: Naukova Dumka, 1965. -361 p.
2. Gnezdilova, A.I. Physico-chemical basis of molasses formation and crystallization of lactose and sucrose in aqueous solutions / A.I. Gnezdilova, V.M. Perelygin. – Voronezh: Publishing house. VSU, 2002. -96 p.
3. Principles of sugar technology / Ed. P. Honig. – M.: Pishchepromizdat, 1961. -616 p.
4. Petrov, S.M. Kinetic model of the growth rate of sucrose crystals from pure and impure solutions / S.M. Petrov, V.A. Kuritsyn, D.V. Arapov // Sugar. - 2004. - No. 6. - pp. 26-29.
5. Petrov, S.M. Calculation of the saturation coefficient of impure sugar solutions / S.M. Petrov, D.V. Arapov, V.A. Kuritsyn // Sugar. -2005. -No. 1. -WITH. 42 -45.
6. Petrov, S.M. Equations for calculating on a computer the physical and chemical properties of aqueous solutions of sucrose / S.M. Petrov, D.V. Arapov, V.A. Kuritsyn // Sugar. -2014. -No. 4. -P.44 -53.
7. Arapov, D.V. Simulation of the rate of dissolution of sucrose crystals / D.V. Arapov, V.A. Kuritsyn,

- S.M. Petrov, N.M. Podgornova // Journal of Food Engineering. – 2022. – Т. 318. – P. 110887.
8. Gelperin, N.I. Basic processes and apparatuses of chemical technology / N.I. Gelperin. In 2 books. - M.: Chemistry, 1981. -812 p.
9. Petrov, S.M. Model of the viscosity of aqueous sugar solutions / S. M. Petrov, V. A. Kuritsyn, D. V. Arapov // Sugar. -2004. -No. 2. -WITH. 31 -33..
10. Tuzhilkin, V.I. Crystallization of sugar / V.I. Tuzhilkin. -M.: Publishing house. comp. MGUPP, 2007. - 336 p.
11. Arapov, D.V. Probabilistic model of the kinetics of solubility and crystallization of sucrose in multicomponent solutions / D.V. Arapov, V.A. Kuritsyn // Results of Science. Issue 19. Chapter 6. Selected proceedings of the International Symposium on Fundamental and Applied Problems of Science. - M.: RAS, 2015.-P.116-140.
12. Arapov, D.V. Modeling of dissolution and growth of sugar crystals / D.V. Arapov, S.L. Podvalny, S.G. Tikhomirov // Bulletin of Voronezh State Technical University. -2019.-Т.15.-No.2.-P.29-41.
13. Sinat-Radchenko, D.E. Calculated dependences of the thermophysical properties of sugar solutions / D.E. Sinat-Radchenko, S.M. Vasilenko, K.O. Shtangeev // Sugar. - 2004. - No. 1. - P. 43.
14. Grabka, J. The process of boiling massecuite when planting crystals with a special paste / J. Grabka // Sugar industry. -1987. - No. 12. -P.22 -25.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Арапов Денис Владимирович	д.т.н., доцент, профессор Московского государственного университета технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ), arapovdv@gmail.com ORCID: 0000-0001-8726-5279
Чикунов Сергей Владимирович	к.т.н., доцент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, chiksv@rambler.ru ORCID:0000-0001-5365-8947
Борог Вера Николаевна	студентка 3-го курса Московского государственного университета технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ), veraborog@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)
Arapov Denis Vladimirovich	DSc, Assistant professor, Professor at K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), arapovdv@gmail.com ORCID: 0000-0001-8726-5279 SPIN-код: 3572-3772
Chikunov Sergey Vladimirovich	PhD, Assistant professor, Voronezh State University of Engineering Technology, chiksv@rambler.ru ORCID:0000-0001-5365-8947 SPIN-код: 5165-3931
Borog Vera Nikolaevna	3rd year student of K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), veraborog@yandex.ru

статья поступила в редакцию 21.07.2023	одобрена после рецензирования 04.09.2023	принята к публикации 19.09.2023
the article was submitted 21.07.2023	approved after reviewing 04.09.2023	accepted for publication 19.09.2023

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ КОНТУРА ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ И ФУРЬЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Максим Андреевич Назаров ✉

grondar@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ул. К. Маркса, 10 г. Казань, Республика Татарстан, 420111, Россия

Аннотация. В статье рассмотрен нейросетевой подход к распознаванию объекта на изображении, основанный на выделении признаков - дескрипторов эталонного контура искомого объекта с помощью Фурье преобразования, а также обучении и использовании нейронной сети прямого распространения (перцептрона). Преимущество данного подхода заключается в распознавании объекта вне зависимости от смещения и масштаба. Предложенный подход был реализован в пакете Matlab. Экспериментальные исследования показали высокую точность распознавания объекта, что доказывает эффективность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: распознавание, Фурье преобразование, контурное изображение, нейронная сеть.

Для цитирования: Назаров М. А. Метод распознавания контура объекта на изображении с использованием нейросети и Фурье преобразования // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 27-30.

Original article

A METHOD FOR RECOGNIZING THE CONTOUR OF AN OBJECT IN AN IMAGE USING A NEURAL NETWORK AND FOURIER TRANSFORM

Maksim A. Nazarov ✉

grondar@mail.ru

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10, K.Marx St., Kazan, Tatarstan, 420111, Russia

Annotation. The article considers a neural network approach to object recognition in an image based on the identification of descriptor features of the reference contour of the desired object using Fourier transform, as well as training and using a direct propagation neural network (perceptron). The advantage of this approach is the recognition of an object regardless of displacement and scale. The proposed approach was implemented in the Matlab package. Experimental studies have shown high accuracy of object recognition, which proves the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: recognition, Fourier transform, contour image, neural network.

For citation: Nazarov M. A. A method for recognizing the contour of an object in an image using a neural network and Fourier transform. *Ingenerye tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 27-30. (In Russ.).

Введение

Стремительное развитие компьютерной техники позволило автоматизировать процессы во множестве прикладных областей, для которых необходимы не малые вычислительные ресурсы. Одним из таких процессов является распознавание образов, что привело к развитию новых методов и технологических средств обработки изображений – компьютерному зрению. Системы компьютерного зрения на данный момент широко распространены как в военной области, так и в гражданской, например, в сфере медицины или различных промышленных производств [5,6].

Такая автоматизация позволяет осуществить автоматический анализ различных медицинских изображений – рентгена, томографии. На промышленных предприятиях компьютерное зрение позволило внедрить роботизи-

рованные конвейеры, что многократно повысило как производительность, так и качество продукции.

Материал и методы исследования

Задача по распознаванию образа, может быть решена различными методами, однако зачастую для их применения необходимо произвести предварительную обработку изображения, к примеру, выделить контуры на изображении или убрать шум [1,2]. Распознавание образа в свою очередь осуществляется по некоторым существенным признакам: форма, среднее значение и др. Одни из способов получения таких признаков, описывающих контуры, является применение преобразование Фурье [3,4]. Признаки, полученные данным способом независимы от перемещения образа на изображении, изменение угла его поворота

и масштаба. Такой подход позволяет существенно снизить вычислительные ресурсы как при обучении, так и при распознавании.

Постановка задачи распознавания объекта на основе использования эталонного контура выглядит следующим образом:

1. Задано цветное изображение I , описываемое отображением:

$$\beta: X \times Y \rightarrow R \times G \times B$$

где $X \times Y$ – координаты пикселей изображения; $R \times G \times B$ – значения красного, зеленого и синего.

2. Задан эталонный контур образа, как множество координат пикселей на плоскости: $\{(x_j, y_j), j = \overline{0, M-1}\}$.

Требуется, используя полноцветное изображение, выделить контуры и, на основе эталонного контура образа распознать сам образ на изображении.

Для решения задачи распознавания объекта традиционно переходят от полноцветного изображения к полутоновому с помощью следующего преобразования:

$$\varphi: R \times G \times B \rightarrow Z$$

где $Z = \{L_1, L_2, \dots\}$ – множество значений яркости, вычисленных на основе полноцветного изображения по формуле преобразования цветного изображения в оттенки серого: $L_i = 0.2989 * r_i + 0.5870 * g_i + 0.1140 * b_i$, где (r_i, g_i, b_i) – красная, зеленая, синяя составляющие i -го пикселя цветного изображения с координатами $(x_i, y_i), i = \overline{1, K}$. Таким образом $f(x_i, y_i) = \varphi(\beta(x_i, y_i)) = L_i$ – значение яркости i -го пикселя полутонового изображения.

При использовании существующих методов могут возникнуть следующие проблемы:

1. Задача по поиску контура схожего с эталонным может потребовать значительных вычислительных ресурсов.

2. После предварительной обработки изображения могут получиться контуры с разрывами, что может привести к затруднениям в процессе распознавания.

Первая проблема может быть разрешена, если сократить области поиска необходимого контура, в которых поиск контура затруднен. Для этого такие области помечаются особым образом и в дальнейшем не рассматриваются при обработке. Для решения второй проблемы можно аппроксимировать выделенный контур близким ему контуром без разрывов.

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения поставленной задачи предлагается нижеследующий подход:

1 этап (Подготовка нейронной сети к распознаванию):

1. Получить признаки (дескрипторы), характеризующие эталонный контур, применив преобразование Фурье на координатах пикселей эталонного контура искомого объекта.

2. Определить структуру нейросети: состав входных переменных, количество слоев и нейронов в слоях. Сформировать обучающее множество для нейросети, содержащее выделенные признаки объекта. Обучить нейронную сеть, определив ее параметры.

2 этап (Сокращение области поиска объекта на изображении):

1. Выделить контуры при помощи фильтра Кэнни, который обеспечивает меньшее количество разрывов линий контуров и меньшую их толщину.

2. Сегментировать изображение и исключить из рассмотрения часть сегментов, в которой с большой долей вероятности отсутствует искомым объект.

3 этап (Поиск и распознавание объекта на изображении):

1. Осуществить преобразование полученных на изображении контуров, аппроксимировав их контурами без разрывов.

2. Выделить признаки преобразованных контуров, используя преобразование Фурье.

3. Распознать искомым образ, соответствующий эталону, на изображении с помощью выделенных признаков преобразованных контуров и нейросети.

Вышеописанный подход, был реализован в пакет прикладных программ Matlab.

Эталонном образа был выбран контур лежащего на снегу человека (рисунок 2). Результатом работы алгоритма первого этапа является обученная нейронная сеть, имеющая 40 входных переменных (действительные и мнимые части десяти пар дескрипторов), 1 скрытый слой с 10 нейронами и выходной слой с одним выходным нейроном (рисунок 1). Выходная переменная принимает значения в диапазоне $[0,1]$ и характеризует соответствие контура, заданного входными значениями, эталону.

В качестве данных для обучения были использованы 100 контуров близких к эталону, полученных в результате наложения небольших отклонений на точки эталонного контура, и 400 других контуров отличных от эталонного контура.

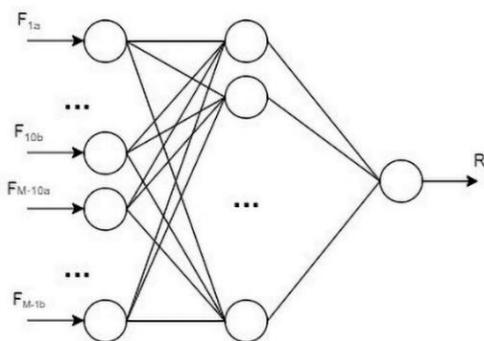


Рисунок 1. Архитектура нейронной сети

Figure 1. Neural network architecture

На рисунке 2 представлен фрагмент исходного изображения, а на рисунке 3 результат работы второго этапа представленного метода.

На третьем этапе было выделено и обработано 1655 отдельных контуров. В результате классификации 15 контуров было определены как эталон (степень соответствия $R > 0,9$), а 1640 контуров не соответствуют эталону ($R \leq 0,9$). Ошибка распознавания составляет

$$\frac{14}{1655} \approx 0.85\%$$



Рисунок 2. Фрагмент исходного изображения

Figure 2. Fragment the original image

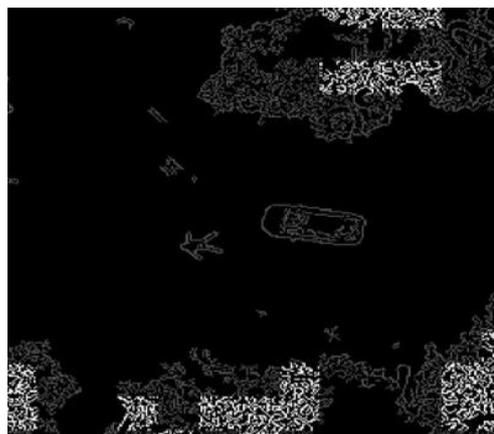


Рисунок 3. Фрагмент полученного в результате сегментирования

Figure 3. Fragment the resulting segmentation

Заключение

Для решения поставленной задачи предложен метод, состоящий из трех этапов.

На первом этапе осуществляется подготовка и обучение нейросетевого классификатора.

На втором этапе выделяются контуры при помощи фильтра Кэнни, а также происходит сегментирование изображения, что позволяет сократить трудоемкость и повысить точность распознавания искомого объекта.

На третьем этапе полученные контуры аппроксимируются, для исключения возможных разрывов контурных линий и повышения точности распознавания. Далее из полученных контуров с использованием Фурье преобразования выделяются признаки и подаются на вход нейросетевого классификатора.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера. 2012. 1104 с.
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Горячая линия – Телеком. 2017. 448 с.
3. Дюдин М.В., Поваляев А.Д., Подвальный Е.С., Томакова Р.А. Методы и алгоритмы контурного анализа для задач классификации сложноструктурируемых изображений // Вестник ВГТУ. 2014. №3-1.
4. Макаров М.А. Контурный анализ в решении задач описания и классификации объектов // Современные проблемы науки и образования. 2014. №3.
5. Kosykh N.E., Sviridov N.M., Savin S.Z., Potapova T.P. Computer aided analysis of medical image recognition for example of scintigraphy // Computer Research and Modeling, 2016, vol. 8, no. 3, pp. 541-548
6. Shleymovich M.P., Dagaeva M.V., Katasev A.S., Lyasheva S.A., Medvedev M.V. The analysis of images in control systems of unmanned automobiles on the base of energy features model // Computer Research and Modeling, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 369-376.

7. Емалетдинова, Л. Ю. Нейросетевой алгоритм распознавания объекта на изображении на основе эталонного контура / Л. Ю. Емалетдинова, М. А. Назаров // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 4. – С. 137-141. – EDN RBAKPL.

References

1. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. M.: Technosphere. 2012. 1104 p.
2. Osovsky S. Neural networks for information processing. M.: Hotline – Telecom. 2017. 448 p.
3. Dyudin M.V., Povalyaev A.D., Podvalny E.S., Tomakova R.A. Methods and algorithms of contour analysis for classification problems of complex structured images // Vestnik VSTU. 2014. No.3-1.
4. Makarov M.A. Contour analysis in solving problems of description and classification of objects // Modern problems of science and education. 2014. №3.
5. Kosykh N. E., Sviridov N.M., Savin S.Z., Potapova T.P. Automated analysis of medical image recognition by the example of scintigraphy // Computer research and modeling, 2016, volume 8, No. 3, pp. 541-548
6. Shleimovich M.P., Dagaeva M.V., Katasev A.S., Lyasheva S.A., Medvedev M.V. Image analysis in control systems of unmanned vehicles based on a model of energy characteristics // Computer research and modeling, 2018, volume 10, No. 3, pp. 369-376
7. Emaletdinova, L. Yu. Neural network algorithm for recognizing an object in an image based on a reference contour / L. Yu. Emaletdinova, M. A. Nazarov // Mathematical methods in engineering and technology - ММТТ. – 2020. – Vol. 4. – pp. 137-141. – EDN RBAKPL.

Сведения об авторах

ФИО	<i>Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)</i>
Назаров Максим Андреевич	Аспирант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», grondar@mail.ru

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>
Nazarov Maksim Andreevich	graduate student Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, grondar@mail.ru

статья поступила в редакцию 24.07.2023	одобрена после рецензирования 08.09.2023	принята к публикации 20.09.2023
the article was submitted 24.07.2023	approved after reviewing 08.09.2023	accepted for publication 20.09.2023

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Антон Алексеевич Минин¹ m.anton7701@mail.ru
Владимир Алексеевич Немтинов¹ nemtinov.va@yandex.ru

¹Тамбовский государственный технический университет, кафедра Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении д.106/5, пом. 2, ул. Советская, г. Тамбов, 392000, Россия

Аннотация: Обсуждается актуальная проблема на серийных производствах создания множества однотипных и времязатратных технологических процессов на детали простых конфигураций – полый цилиндр. Написание и согласование данных технологических документов обычно можно связать с аналогичной, ранее утверждённой и уже производящейся деталью, иногда процессы создания этих деталей могут быть идентичны, а отличия будут в химическом покрытии, режимах термообработки или геометрических размерах. В целях экономии времени квалифицированных специалистов и оптимизации маршрута по производственному парку завода, в данной работе рассматривается возможность проектирования технологического процесса изготовления деталей из металла посредством решения задачи с использованием теории колоний муравьёв. Применительно к машиностроению и разработку технологических процессов – создание новых оптимальных подобных эталонных маршрутов обработки металлов резанием в кратчайшие сроки, с минимальными затратами и обеспечивая все требования к детали, заданные чертежом.

Ключевые слова: муравьиный алгоритм, алгоритм муравьиных колоний, написание технологических процессов, полые цилиндры.

Для цитирования: Минин А. А., Немтинов В. А. Применение алгоритма муравьиных колоний для создания технологических процессов обработки резанием // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 31-36.

Original article

APPLICATION OF THE ANT COLONY ALGORITHM TO CREATE CUTTING TECHNOLOGICAL PROCESSES

Anton A. Minin¹ m.anton7701@mail.ru
Vladimir A. Nemtinov¹ nemtinov.va@yandex.ru

¹Tambov State Technological University, Department of Computer-integrated Systems in Mechanical Engineering, 106/5, room 2, Sovetskaya str., Tambov, 392000, Russia

Abstract: An urgent problem is discussed in serial production of creating a variety of similar and time-consuming technological processes for parts of simple configurations - a hollow cylinder. The writing and approval of these technological documents can usually be associated with a similar, previously approved and already produced part, sometimes the processes of creating these parts may be identical, and the differences will be in chemical coating, heat treatment modes or geometric dimensions. In order to save time for qualified specialists and optimize the route through the plant's production park, this paper considers the possibility of designing a technological process for manufacturing metal parts by solving a problem using the theory of ant colonies. In relation to mechanical engineering and the development of technological processes – the creation of new optimal similar reference routes for metal cutting in the shortest possible time, with minimal cost and ensuring that all the requirements for the part specified in the drawing are met.

Keywords: ant algorithm, ant colony algorithm, writing technological processes, hollow cylinders.

For citation: Minin A. A., Nemtinov V. A. Application of the ant colony algorithm to create cutting technological processes. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 31-36. (In Russ.).

Введение

В рамках серийного производства инженер-технолог часто сталкивается с необходимостью создавать технологические процессы на детали, отличающиеся от уже утверждённых и производящихся прямо сейчас в цеху, незначительными конструктивными элементами или вовсе только размерами.

Муравьиный алгоритм представляет собой систему принятия решений при вероятности решения поиска оптимального маршрута – более миллиона вариантов. Данный алгоритм выбирает рациональный путь и на основе него строит новые решения, минимально затрачивая ресурсы, но выполняя любое изменение, требуемое задачей [1].

Материал и методы исследования

По мнению авторов, данный алгоритм больше прочих подходит под ходит под решение данной проблемы. Утверждённым технологическим процессом в рамках серийного производства называется такой процесс, который обеспечивает правильность изготовления детали или изделия с технологической точки зрения (расчёт допусков, режимов резания, подбора баз). Инженер-технолог в данном случае сопровождает данную деталь и проводит изменения только в случае изменения конструкторской документации или при появлении новых требований от заказчика. Поскольку данный алгоритм строит пути решения, отталкиваясь от уже имеющегося – авторы предлагают использовать его, используя утверждённый технологический процесс на автоматическую доработку и изменения технологической документации. Алгоритм будет строить такой путь, чтобы выполнить все новые требования к детали с максимальной экономией технологических показателей – загрузка станков в цехе, машинное время, одинаковая концентрация переходов в операциях.

В машиностроении изменением можно назвать ввод новой детали в производство, несколько отличной от уже производимых, или написание технологии на другое оборудование из-за перегрузки в настоящее время нужного.

Идея муравьиного алгоритма – моделирование поведения муравьёв, связанного с их способностью быстро находить кратчайший путь от муравейника к источнику пищи и адаптироваться к изменяющимся условиям, находя новый кратчайший путь. При своём движении муравей метит путь феромоном, и эта информация используется другими муравьями для выбора пути. Это элементарное правило поведения и определяет способность муравьёв находить новый путь, если старый оказывается недоступным.

Метод муравьиных колоний можно отнести к методам машинного обучения с подкреплением. По результатам работы метода происходит изменение состояния системы (графа решений), позволяющее описывать исследуемый объект. В отличие от классических методов обучения с подкреплением, метод муравьиных колоний обеспечивает более долгую сходимость, но при этом обладает прозрачностью. Текущие результаты работы алгоритма легко интерпретируются и могут быть использованы аналитиками для проверки адекватности и принятия более сложных решений [5].

Как правило, колония муравьёв следует наикротчайшим путём, вдруг на пути возникает преграда. Муравьи с равной вероятностью будут обходить её со всех сторон. Те муравьи, которые случайно выберут кратчайший путь, будут быстрее его проходить, и за несколько секунд он будет более наделён феромоном [2]. Движение муравьёв определяется концентрацией феромона, значит, остальные будут идти этим путём, продолжая обогащать его феромоном до тех пор, пока он по какой-либо причине не станет недоступен [3].

Положительная обратная связь приводит к тому, что большая часть муравьёв будет идти по короткому маршруту, а моделирование испарения феромона – отрицательной обратной связи – гарантирует нам, что найденное локально оптимальное решение не будет единственным – муравьи будут искать и другие пути [4]. Если мы моделируем процесс такого поведения на некотором графе, рёбра которого представляют собой возможные пути перемещения муравьёв, в течение определённого времени, то наиболее обогащённый феромоном путь по рёбрам этого графа и будет являться решением задачи, полученным с помощью муравьиного алгоритма [6].

Самым главным правилом при подборе и выборе порядка операций является правило: Между технологическими операциями существует связь, описываемая функцией $M_i: P_i \rightarrow P_{i+1}$, т.е. поверхность с параметрами более низкого качества P_i преобразуется в поверхность с параметрами более высокого качества P_{i+1} посредством перехода M_i . Особенно важно, чтобы данные переходы не были лишними – это увеличивает затраты времени и денег на технологическую операцию. Подбор операций должен быть таким, чтобы стремилось к минимуму машинное время. На рисунке 1 приведён пример удаления лишних операций, ненужных для изготовления детали.

Предлагаемый вариант наглядно показать поведение муравьёв при выборе технологических операций – поместить их на свободное поле графов, где каждый граф несёт в себе информацию о технологических параметрах (режимы резания, время, форма детали после операции). После чего привести эталонный – типовой технологический процесс похожей детали. Муравьи будут анализировать формы детали на каждом этапе производства и сравнивать с реальными условиями задачи [7] – заготовка, межпереходные и чистовые размеры, механические характеристики металла.

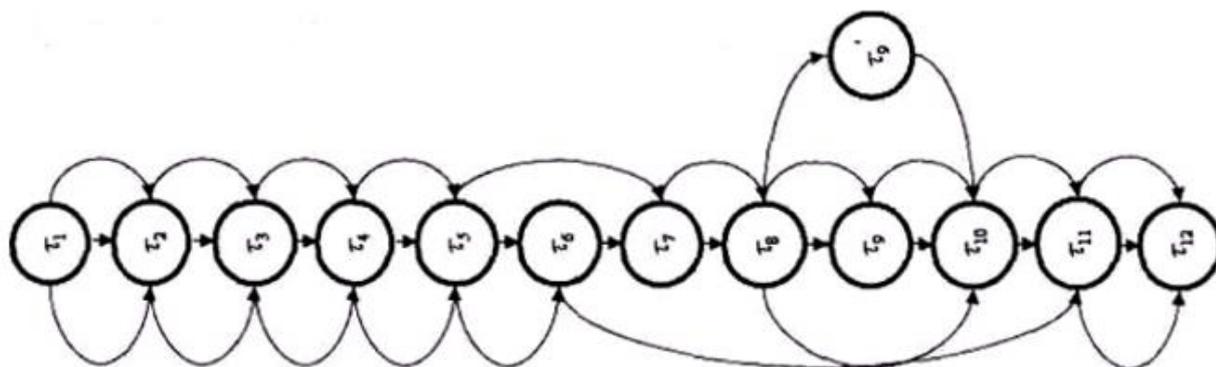


Рисунок 1. Взаимосвязь технологических операций и последовательность их выполнения:

1 – заготовительная, 2 – протягивание базового отверстия, 3 и 4 – черновое и чистовое точение контура зубчатого колеса, 5 и 6 – черновая и чистовая нарезка зубьев, 7 – объемная закалка, 8 – шлифование базового отверстия, 9 – шевингование зубьев, 10 – притирка зубьев, 11 – мойка, 12 – контроль технических требований

Figure 1. The relationship of technological operations and the sequence of their execution:

1 – preparation, 2 – stretching of the base hole, 3 and 4 - roughing and finishing turning of the contour of the gear wheel, 5 and 6 – roughing and finishing cutting of teeth, 7 – volumetric hardening, 8 – grinding of the base hole, 9 – moving of teeth, 10 – lapping of teeth, 11 – washing, 12 – control of technical requirements

Результаты исследования и их обсуждение

Возможно подключение данной системы с системой, отслеживаемой загруженность оборудования [8, 9] в цехе в режиме реального времени, для улучшения экономического эффекта маршрута, уменьшая убытки от простаивающих станков.

Предлагаемый вариант наглядно показать поведение муравьёв при выборе технологических операций – поместить их на свободное поле графов, где каждый граф несёт в себе информацию о технологических параметрах (режимы резания, время, форма детали после операции). После чего привести эталонный – типовой технологический процесс похожей детали. Муравьи будут анализировать формы детали на каждом этапе производства и сравнивать с реальными условиями задачи [7] – заготовка, межпереходные и чистовые размеры, механические характеристики металла.

Возможно подключение данной системы с системой, отслеживаемой загруженность оборудования [8, 9] в цехе в режиме реального времени, для улучшения экономического эффекта маршрута, уменьшая убытки от простаивающих станков.

Детали типа полый цилиндр представляют собой цилиндр с центральным отверстием. Главными геометрическими параметрами данного объекта являются длина, диаметр и толщина стенки, либо же внутренний диаметр отверстия. Каждая поверхность может быть исполнена в разных степенях точности – ква-

литетами точности на размер – и с разными классами точности – шероховатостью поверхности. Для обеспечения данных характеристик подбираются необходимые технологические операции, а под них оборудование и режущий инструмент.

Первоначально дано пустое поле графов, на котором расположено несколько видов технологических операций обработки деталей из металла, в каждой операции заложена информация о процессе – режимы резания, какие размеры деталь приобретёт после этой операции, машинное время. Задача муравьиной колонии – как можно экономным способом выстроить цепочку [10, 11] технологических операций так, чтобы на выходе получилась годная деталь, отвечающая на все требования чертежа по геометрическим размерам и механическим свойствам.

Приведём пример. На чертеже приведена втулка, с центральным отверстием по девятому качеству точности, наружная поверхность не обрабатывается, заготовка для детали – пруток круглого сечения. Колония муравьёв считывает из базы данных стандартный маршрут обработки втулки с точным центральным отверстием, заготовка – отливка, поковка: зенкерование – зенкерование – растачивание – развертывание, в случае, если заготовка – пруток круглого сечения, к этим операциям следует добавить первоначальное сверление. Схема поля графов представлена на рисунке 2.

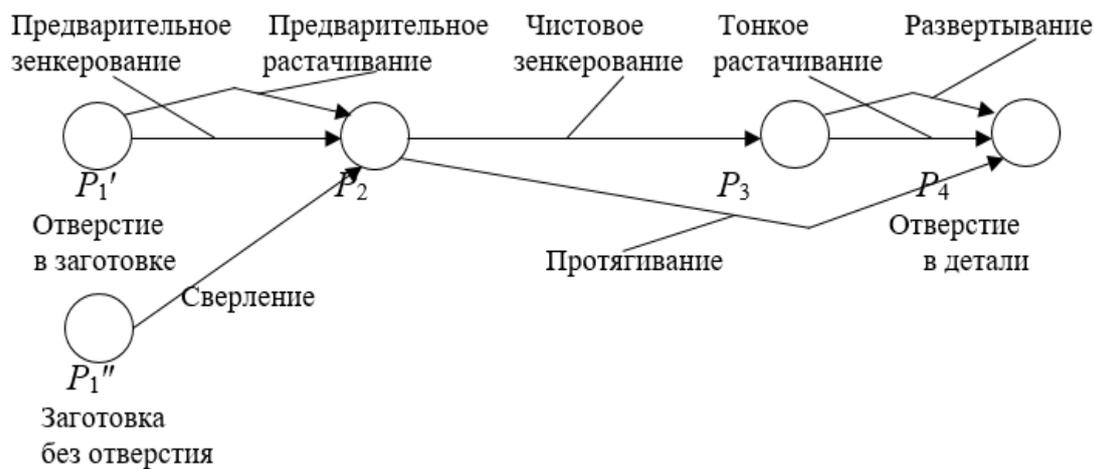


Рисунок 2. Пример построения процесса с условием заготовки

Figure 2. An example of building a process with a blank condition

Заключение

Данная система значительно поможет инженерам-технологам и прочим специалистам, ведущим технологические процессы на заводах серийного производства не отвлекаться на создание однотипных процессов - занимающих много времени на составление и утверждение, внедрение - на несложные, но однотипные и многочисленные детали с минимальными изменениями. Кроме экономии вре-

мени на документообороте возможны экономии машинного времени при построении новых, более оптимальных технологических процессов. Кроме того, возможно не только построение с нуля технологических процессов, но и внесение изменений в технологическую документацию, адаптируясь под новые требования заказчика к изделию.

Литература

1. Судаков, В.А. Алгоритмы ускорения работы модификации метода муравьиных колоний для поиска рационального назначения сотрудников на задачи с нечетким временем выполнения / В.А. Судаков, Ю.П. Титов, А.М. Батьковский // *Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование»*, 2020, Т2. С. 56-64.
2. Титов, Ю.П. Модификации метода муравьиных колоний для разработки программного обеспечения решения задач многокритериального управления поставками / Ю.П. Титов // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2017. Т. 13. № 2. С. 64-74. <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.2.222>
3. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed Optimization by Ant Colonies // *Proc. First Eur. Conf. Artific. Life, Paris, France, F. Varela and P. Bourguine (Eds.), Elsevier Publishing*. 1992. P. 134-142.
4. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. An Investigation of some Properties of an Ant Algorithm // *Proc. Parallel Probl. Solving from Nature Conf. (PPSN 92), Brussels, Belgium, R. Manner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing*. 1992. P. 509-520.
5. Сеницын, И. Н., Титов Ю.П. Инструментальное программное обеспечение анализа и синтеза стохастических систем высокой доступности (XV) // *Системы высокой доступности*. – 2021. – Т. 17. – № 4. – С. 24-33. – DOI 10.18127/j20729472-202104-02. <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/222>
6. Титов Ю.П. Опыт моделирования планирования поставок с применением модификаций метода муравьиных колоний в системах высокой доступности // *Системы высокой доступности*. 2018. Т. 14. № 1. с. 27-42. <https://statecon.rea.ru/jour/article/view/1480>
7. Судаков В.А., Титов Ю.П. Батьковский А.М. Алгоритмы ускорения работы модификации метода муравьиных колоний для поиска рационального назначения сотрудников на задачи с нечетким временем выполнения.// *Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование»*, 2020, Т2 (16), с. 338-350 <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202002.338-350>

8. Судаков В.А., Титов Ю.П. Применение модифицированного метода муравьиных колоний для поиска рационального назначения сотрудников на задачи с применением нечетких множеств // Статистика и экономика, Т. 17. № 3. с. 79-91, 2020 <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2020-3-79-91> <https://statecon.rea.ru/jour/article/view/1480>
9. Павленко А.И. Титов Ю.П. Сравнительный анализ модифицированных методов муравьиных колоний Научно-практический журнал «Прикладная информатика» №4(40) 2012. - М., "Синергия ПРЕСС", 2012 с. 100-112
10. Хахулин Г.Ф. Титов Ю.П. Система поддержки решений запасных частей летательных аппаратов военного назначения. Известия самарского научного центра российской академии наук. Том 16 № 1(5) 2014г. Самарский научный центр РАН, 2014 с. 1619-1624
11. Mokrozub, V. G. Standardization of Statement of Multiproduct Chemical Plant Designing Problems / V. G. Mokrozub, S. V. Karpushkin, E. N. Malygin // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 55, No. 5-6. – P. 500-507. – DOI 10.1007/s10556-019-00652-3. – EDN NDQRQI.

References

1. Sudakov, V.A. Algorithms for accelerating the work of the modification of the ant colony method to search for the rational assignment of employees to tasks with a fuzzy execution time / V.A. Sudakov, Yu.P. Titov, A.M. Batkovsky // International Scientific Journal "Modern Information Technologies and IT Education", 2020, T2. pp. 56-64.
2. Titov, Yu.P. Modifications of the ant colony method for software development for solving problems of multicriteria supply management / Yu.P. Titov // Modern information technologies and IT education. 2017. Vol. 13. No. 2. С. 64-74. <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.2.222>
3. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed Optimization by Ant Colonies // Proc. First Eur. Conf. Artific. Life, Paris, France, F. Varela and P. Bourguine (Eds.), Elsevier Publishing. 1992. P. 134-142.
4. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. An Investigation of some Properties of an Ant Algorithm // Proc. Parallel Probl. Solving from Nature Conf. (PPSN 92), Brussels, Belgium, R. Manner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing. 1992. P. 509-520.
5. Sinitsyn, I. N., Titov Yu.P. Instrumental software for analysis and synthesis of stochastic high availability systems (XV) // High availability systems. – 2021. – Vol. 17. – No. 4. – pp. 24-33. – DOI 10.18127/j20729472-202104-02.
6. Titov Yu.P. Experience in modeling supply planning using modifications of the ant colony method in high availability systems // High availability systems. 2018. Vol. 14. No. 1. pp. 27-42.
7. Sudakov V.A., Titov Yu.P. Batkovsky A.M. Algorithms for accelerating the work of modifying the ant colony method to search for rational assignment of employees to tasks with fuzzy execution time.// International Scientific Journal "Modern Information Technologies and IT Education", 2020, T2 (16), pp. 338-350 <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202002.338-350>
8. Sudakov V.A., Titov Yu.P. Application of the modified ant colony method to search for rational assignment of employees to tasks using fuzzy sets // Statistics and Economics, vol. 17, No. 3. pp. 79-91, 2020 <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2020-3-79-91> <https://statecon.rea.ru/jour/article/view/1480>
9. Pavlenko A.I. Titov Yu.P. Comparative analysis of modified methods of ant colonies Scientific and practical journal "Applied Informatics" No.4(40) 2012. - М., "Synergy PRESS", 2012 pp. 100-112
10. Khakhulin G.F. Titov Yu.P. Decision support system for spare parts of military aircraft. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Volume 16 No. 1(5) 2014. Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014 pp. 1619-1624
11. Mokrozub, V. G. Standardization of Statement of Multiproduct Chemical Plant Designing Problems / V. G. Mokrozub, S. V. Karpushkin, E. N. Malygin // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 55, No. 5-6. – pp. 500-507. – DOI 10.1007/s10556-019-00652-3. – EDN NDQRQI

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Минин Антон Алексеевич	студент - магистр, Тамбовский государственный технический университет, кафедра Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении, m.anton7701@mail.ru
Немтинов Владимир Алексеевич	д.т.н., профессор, Тамбовский государственный технический университет, кафедра Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении, nemtinov.va@yandex.ru ORCID 0000-0003-2917-3610 Scopus AuthorID 6603614090

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Minin Anton Alekseevich	Master's student, Tambov State Technical University, Department of Computer-integrated Systems in Mechanical Engineering, m.anton7701@mail.ru
Nemtinov Vladimir Alekseevich	DSc, Professor, Tambov State Technical University, Department of Computer-integrated Systems in Mechanical Engineering, nemtinov.va@yandex.ru ORCID 0000-0003-2917-3610 Scopus AuthorID 6603614090

статья поступила в редакцию 04.09.2023	одобрена после рецензирования 14.09.2023	принята к публикации 25.09.2023
the article was submitted 04.09.2023	approved after reviewing 14.09.2023	accepted for publication 25.09.2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАТ-БОТОВ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Наталья Александровна Епрынцева ✉

eprnat@mail.ru

Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова, 67А, ул. Карла Маркса, г. Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы применения чат-ботов в электронной коммерции. Цифровые технологии, в частности чат-боты, являются первоклассным звеном взаимодействия между компаниями (брендами) и потребителями. Использование искусственного интеллекта в коммерции стремительно растет. Одной из отраслей, которая быстро внедрила чат-ботов на базе искусственного интеллекта в свое обслуживание клиентов, является индустрия электронной коммерции. Чат-боты с помощью нейронных сетей анализируют весь процесс покупки товара от момента определения ее причины, возможности отказа от приобретения товара и проведения прогноза темпов роста помогают анализировать причины покупки товара клиентом, причины его отказа, прогнозировать дальнейшее развитие рынка и его значимость. Они с легкостью способны заменить специалиста благодаря имитации его действий при выполнении определенных действий, при этом значительно уменьшая силы и время, затраченные на покупки.

Ключевые слова: чат-бот, электронная коммерция, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, программа, клиент.

Для цитирования: Епрынцева Н. А. Использование чат-ботов в электронной коммерции. // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 37-39.

Review article

USING CHATBOTS IN E-COMMERCE

Natalia A. Epryntseva ✉

eprnat@mail.ru

Voronezh branch of "The Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov", 67a, Karl Marx Str., Voronezh, 394030, Russia

Annotation. This article discusses the use of chatbots in e-commerce. Digital technologies, in particular chatbots, are a first-class link of interaction between companies (brands) and consumers. The use of artificial intelligence in commerce is growing rapidly. One of the industries that has quickly introduced artificial intelligence-based chatbots into its customer service is the e-commerce industry. Chatbots use neural networks to analyze the entire process of purchasing goods from the moment its cause is determined, the possibility of refusing to purchase goods and making a forecast of growth rates help to analyze the reasons for the purchase of goods by the customer, the reasons for his refusal, predict further market development and its significance. They are easily able to replace a specialist by imitating his actions when performing certain actions, while significantly reducing the effort and time spent on purchases.

Keywords: chatbot, e-commerce, artificial intelligence, machine learning, neural networks, program, client.

For citation: Epryntseva N. A. Using chatbots in e-commerce. *Ingenerye tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 37-39. (In Russ.).

Введение

Чат-бот – компьютерная программа, имитирующая человеческую речь с помощью искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект – наука и технология, основанная на таких дисциплинах, как информатика, биология, психология, лингвистика, математика, машиностроение. Одно из главных направлений искусственного интеллекта – разработка компьютерных функций, связанных с человеческим интеллектом, таких как: рассуждение, обучение и решение проблем [1]. Это позволяет машинам взаимодействовать с людьми в закрытом домене посредством письменного текста или голосового вза-

имодействия, с помощью других людей или без них. Соответственно, чат-бот – это форма искусственного интеллекта с возможностью обработки естественного языка, что делает его интеллектуальной компьютерной программой, способной отвечать на вопросы, задаваемые людьми. [2].

Основная часть

Одной из отраслей, которая быстро внедрила чат-ботов на базе искусственного интеллекта в свое обслуживание клиентов, является индустрия электронной коммерции. В связи с возросшим спросом на онлайн-покупки и растущим числом клиентов, обращающихся за поддержкой 24/7, чат-боты стали ценным

инструментом для компаний электронной коммерции, обеспечивающим эффективное обслуживание клиентов. Эти интеллектуальные виртуальные помощники могут обрабатывать несколько запросов одновременно, предоставлять мгновенные ответы и даже предлагать персонализированные рекомендации на основе истории покупок клиента.

Еще одной отраслью, которая использовала возможности чат-ботов на базе искусственного интеллекта, является банковский сектор. Банки используют чат-ботов для улучшения обслуживания своих клиентов, предоставляя помощь в режиме реального времени с запросами по счетам, историей транзакций и даже обнаружением мошенничества. Помимо предоставления быстрых ответов, некоторые банки также интегрировали технологию распознавания голоса в свои чат-боты, чтобы клиенты могли безопасно совершать транзакции с помощью голосовых команд.

В целом чат-боты на базе искусственного интеллекта зарекомендовали себя как инновационное решение для различных отраслей, стремящихся оптимизировать свои операции по обслуживанию клиентов. Благодаря достижениям в области обработки естественного языка (NLP) и алгоритмов машинного обучения эти виртуальные помощники постоянно совершенствуются в своей способности понимать сложные запросы и предлагать персонализированные решения, что делает их бесценным активом для компаний, ищущих экономически эффективные способы предоставления исключительного опыта работы с клиентами. Еще одним ключевым примером использования чат-ботов на базе искусственного интеллекта в электронной коммерции являются рекомендации по продуктам. Анализируя поведение клиента в интернете и историю покупок, чат-боты могут предлагать персонализированные рекомендации по продуктам, адаптированные к его уникальным предпочтениям. Это не только улучшает общий опыт покупок, но и помогает увеличить продажи за счет продвижения товаров, которые покупатели с большей вероятностью купят.

Наконец, чат-ботов на базе искусственного интеллекта также можно использовать для отслеживания заказов и уведомлений о доставке. Предоставляя обновления статуса заказа или доставки в режиме реального времени, чат-боты могут помочь уменьшить беспокойство и неопределенность среди клиентов, одновременно повышая прозрачность и подотчетность в цепочке поставок.

Далее рассмотрим проблемы и риски, которые могут встретиться при применении чат-ботов в электронной коммерции с использованием искусственного интеллекта. Одной из таких проблем является понимание различных запросов клиентов, реакция на них. Несмотря на то, что чат-боты ускоряют время отклика и повышают качество работы с клиентами, они приводят к отстранению потенциальных клиентов, так как их ответы будут общими или неактуальными. Следовательно, необходимы определенные вложения для разработки алгоритмов чат-ботов. Тогда они смогут работать со всеми запросами клиентов и адаптироваться к различным ситуациям.

Информационная безопасность и конфиденциальность данных электронной коммерции связанными с взаимодействием чат-ботов представляют собой риск безопасности, что является также одной из проблем. Чат-боты собирают огромное количество конфиденциальной информации от клиентов, включая личные данные, такие как имена, адреса и платежная информация. Это делает их привлекательной мишенью для киберпреступников, которые могут попытаться проникнуть в систему и украсть эти ценные данные. Компании должны убедиться, что их протоколы безопасности достаточно надежны для защиты от кибератак, обеспечивая при этом быстрое и удобное обслуживание клиентов.

Наконец, существует риск, связанный со слишком большой зависимостью от чат-ботов на базе искусственного интеллекта в ущерб человеческому взаимодействию. Хотя эти алгоритмы могут эффективно справляться со многими рутинными задачами, клиентам все еще может потребоваться индивидуальное внимание или помощь при более сложных запросах или проблемах. Чрезмерная зависимость от автоматизации может со временем привести к снижению уровня удовлетворенности клиентов, поскольку клиенты требуют более прямого взаимодействия с человеческими представителями, которые могут проявить сочувствие и предложить решения, зависящие от контекста.

Далее рассмотрим перспективы на будущее. Будущее обслуживания клиентов в электронной коммерции выглядит многообещающим с появлением чат-ботов на базе искусственного интеллекта. Эти чат-боты предназначены для предоставления персональной поддержки и содействия клиентам, что значительно улучшает их общее впечатление от покупок. Они способны выполнять множество задач, таких как ответы на распространенные

вопросы, предоставление рекомендаций по продуктам и даже совершение покупок.

Одним из основных преимуществ использования чат-ботов в обслуживании клиентов является то, что они доступны 24/7. Клиентам не придется ожидать рабочего времени сотрудников или совершать звонки. Чат-боты предоставят своевременную и качественную поддержку в любое время суток, что бесспорно повысит оценку сервиса клиентов.

В скором будущем чат-боты на базе искусственного интеллекта будут и дальше развиваться, что приведет к более мощным и качественным их возможностям.

Выводы

Технология искусственного интеллекта постоянно развивается, а это означает, что всегда есть новые способы ее использования для улучшения обслуживания клиентов. Возможности безграничны - от персонализированных рекомендаций по продуктам на основе истории посещенных страниц до использования программного обеспечения для распознавания лиц для беспрепятственного оформления заказа. Таким образом, мы можем ожидать, что в будущем искусственный интеллект будет играть еще большую роль в обслуживании клиентов электронной коммерции.

Литература

1. Епрынцева Н.А., Соколова А.В., А.А. Руднева А.А. Искусственный интеллект и бизнес-процессы// Перспективы и проблемы инновационного развития социально-экономических систем. Материалы VII Национальной научно-практической конференции научных сотрудников, специалистов, преподавателей, аспирантов. Воронеж, 2021.
2. Епрынцева Н.А. Разработка чат-бот в социальной сети «ВКонтакте» для образовательной организации // Инженерный вестник Дона, 2023, №9. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8708.

References

1. Epryntseva N.A., Sokolova A.V., A.A. Rudneva A.A. Artificial intelligence and business processes// Prospects and problems of innovative development of socio-economic systems. Materials of the VII National Scientific and Practical Conference of researchers, specialists, teachers, postgraduates. Voronezh, 2021.
2. Epryntseva N.A. Development of a chatbot on the VKontakte social network for an educational organization // Engineering Bulletin of the Don, 2023, No.9. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8708.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Епрынцева Наталья Александровна	к.т.н., доцент, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Воронежский филиал, кафедра информационных технологий в экономике (Воронеж), eprnat@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)
Epryntseva Natalia Alexandrovna	PhD, Associate Professor, Plekhanov Russian University of Economics, Voronezh Branch, Department of Information Technologies in Economics (Voronezh), eprnat@mail.ru

статья поступила в редакцию 05.09.2023	одобрена после рецензирования 15.09.2023	принята к публикации 28.09.2023
the article was submitted 05.09.2023	approved after reviewing 15.09.2023	accepted for publication 28.09.2023

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ СКЛАДСКОГО УЧЕТА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Максим Юрьевич Щеглов

1

maxsheglov2001@yandex.ru

Владимир Алексеевич Немтинов✉

1

nemtinov.va@yandex.ru

¹Тамбовский государственный технический университет, ул. Ленинградская д. 1, г. Тамбов, 392000, Россия, кафедра Компьютерно-интегративные системы в машиностроении».

Аннотация: ведущее место в агропромышленном комплексе занимает сельское хозяйство, так как оно играет важную роль в жизни общества, являясь основополагающей. Сельское хозяйство, а именно его отрасли, такие как растениеводство и полеводство производят подавляющее большинство продуктов питания и сырья для многих промышленных отраслей. В настоящее время бизнес-процессы в сельском хозяйстве нельзя представить без применения в нем систем автоматизации, информатизации и оптимизации производственных бизнес-процессов. Внедряемые в отрасль электронные инновации позволяют значительно увеличить не только производственные мощности, но и объемы реализации продукции. В статье рассматривается актуальность автоматизации документооборота в организации сельскохозяйственного профиля. Для решения задачи была составлена схема бизнес-процессов в организации АО «Дубовое», в частности схема бизнес-процессов работы склада. Приведена схема движения документов в организации АО «Дубовое», спроектирована усовершенствованная схема документооборота, облегчающая работу сотрудников и сокращая временные издержки. На базе программного обеспечения «1С: Предприятие» разработана программа складского учета, позволяющая сократить ошибки человеческого фактора, в более короткие сроки вести учет документации, учет продукции, формировать отчеты. В статье посчитаны и приведены все затраты на разработку и внедрения программы.

Ключевые слова: документооборот, бизнес-процессы, автоматизации складского учета, «1С: Предприятие».

Для цитирования: Щеглов М. Ю., Немтинов В. А. Автоматизация бизнес-процессов складского учета для сельскохозяйственной организации. // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 40-47.

Original article

AUTOMATION OF WAREHOUSE ACCOUNTING BUSINESS PROCESSES FOR AN AGRICULTURAL ORGANIZATION

Maxim Yu. Shcheglov

1

maxsheglov2001@yandex.ru

Vladimir A. Nemtinov

1

nemtinov.va@yandex.ru

¹Tambov State Technical University, Leningradskaya str., 1, Tambov, 392000, Russia, Department of Computer Integrative Systems in Mechanical Engineering

Abstract: agriculture occupies a leading place in the agro-industrial complex, as it plays an important role in the life of society, being fundamental. Agriculture, namely its branches such as crop and field production, produce the vast majority of food and raw materials for many industrial sectors. Currently, business processes in agriculture cannot be imagined without the use of automation, informatization and optimization of production business processes in it. The electronic innovations introduced into the industry will significantly increase not only production capacities, but also sales volumes. The article considers the relevance of document management automation in the organization of agricultural profile. To solve the problem, a diagram of business processes in the organization of Dubovoye JSC was drawn up, in particular, a diagram of the business processes of the warehouse. The scheme of the movement of documents in the organization of Dubvooye JSC is given, an improved document management scheme is designed, which facilitates the work of employees and reduces time costs. On the basis of the 1C: Enterprise software, a warehouse accounting program has been developed that allows reducing human factor errors, keeping records of documentation, accounting for products, and generating reports in a shorter time. The article calculates and shows all the costs for the development and implementation of the program.

Key words: document management, business processes, automation of warehouse accounting, «1C: Enterprise»

For citation: Shcheglov M. Yu., Nemtinov V.A. Automation of warehouse accounting business processes for an agricultural organization. *Ingenerye tehnologii = Engineering technologies.* 2023; (3): 40-47. (In Russ.).

Введение

При управлении хозяйственной деятельностью промышленного предприятия на всех уровнях принятия решений приходится оперировать с большим объемом разнообразной информации, в том числе связанных с реализацией технологических процессов производства продукции. [1].

В настоящее время – в условия применения информационных технологий эффективное управление производством требует постоянного совершенствования работы с все возрастающим объемом информации, представленной в различных формах документов [2]. Информация, содержащаяся в документах, становится основой для принятия управленческих решений, она служит как доказательство их исполнения, так и источником для анализа, а также является важным материалом для поиска необходимой информации. От качества документации во многом зависит успех управленческой деятельности. Кроме того, во многих случаях

документирование является законным требованием и регламентируется актами государственного управления, что позволяет обеспечивать законность и контроль. [3 - 7].

Анализ функционирования предприятия

В работе анализ функционирования деятельности предприятия рассмотрен на примере одного из ведущих предприятий Тамбовского региона в сельском хозяйстве АО «Дубовое». Основным продуктом выступают: плодовые семечковые, ягодные, зерновые и озимые культуры. На территории организации есть специализированные холодильные комплексы способные хранить продукцию долгий срок в исходном качестве.

На рисунке 1 показана функциональная диаграмма основного бизнес-процесса производства и реализации сельскохозяйственной продукции с механизмами и методами управления участвующими в этом процессе [8].

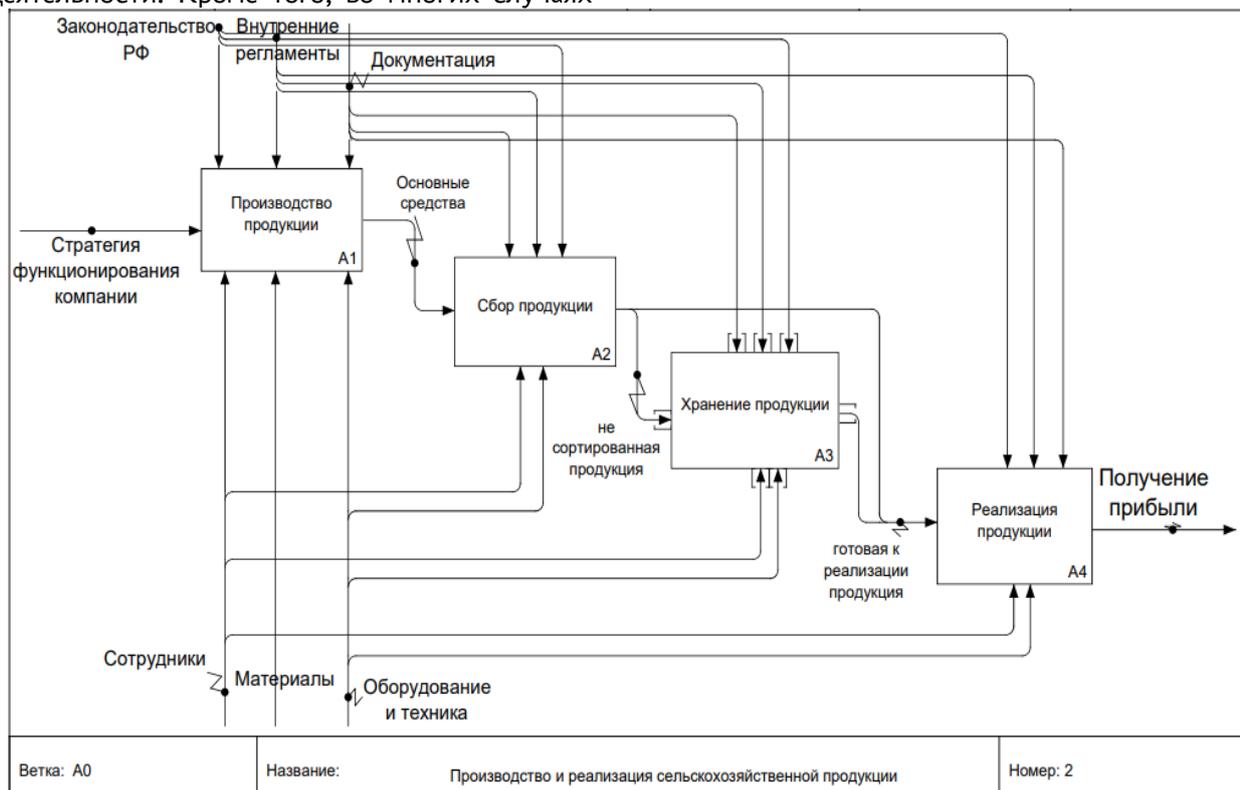


Рисунок 1. Схема функционирования предприятия АО «Дубовое» в нотации IDEF0

Figure 1. The scheme of functioning of the Dubovoye JSC enterprise in IDEF0 notation

Иерархическая структура процессов при производстве сельскохозяйственной продукции в АО «Дубовое» приведена на рисунке 2. Тут наглядно видны все бизнес-процессы организации, а также связи между ними.

В качестве примера отдельно рассмотрим процесс хранения готовой продукции (см. рисунок 3). На схеме отображено, какие документы, персонал, оборудование участвуют в осуществлении этого процесса.

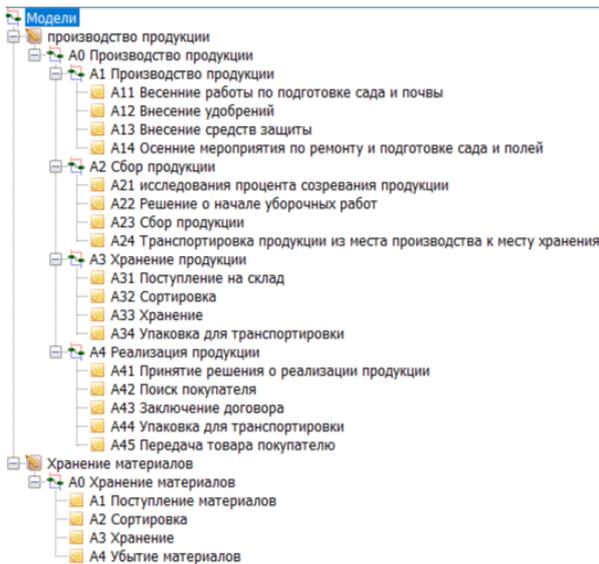


Рисунок 2. Иерархическая структура процессов при производстве сельскохозяйственной продукции в АО «Дубовое»

Figure 2. Hierarchical structure of processes in the production of agricultural products in Dubovoye JSC

Из основных документов можно выделить накладные на поступление и реализацию продукции, где ведется учет движения продукции в организации. Акт инвентаризации, который служит для учета списанной из-за ненадлежащего качества продукции. Товароматериальные отчеты, которые служат для учета прихода и реализации продукции за указанный период времени.

Схемы выполнены с помощью специализированного ПО «Ramus Educational» версии 1.2.5, которая поддерживает сразу две популярных методологии: DFD и IDEF0 [9 - 10].

Во всех перечисленных процессах участвуют склады различного предназначения. Для хранения готовой продукции, также продажа происходит непосредственно со склада так как это оптовая база. Для производства и прочих нужд используются материально-технические склады.

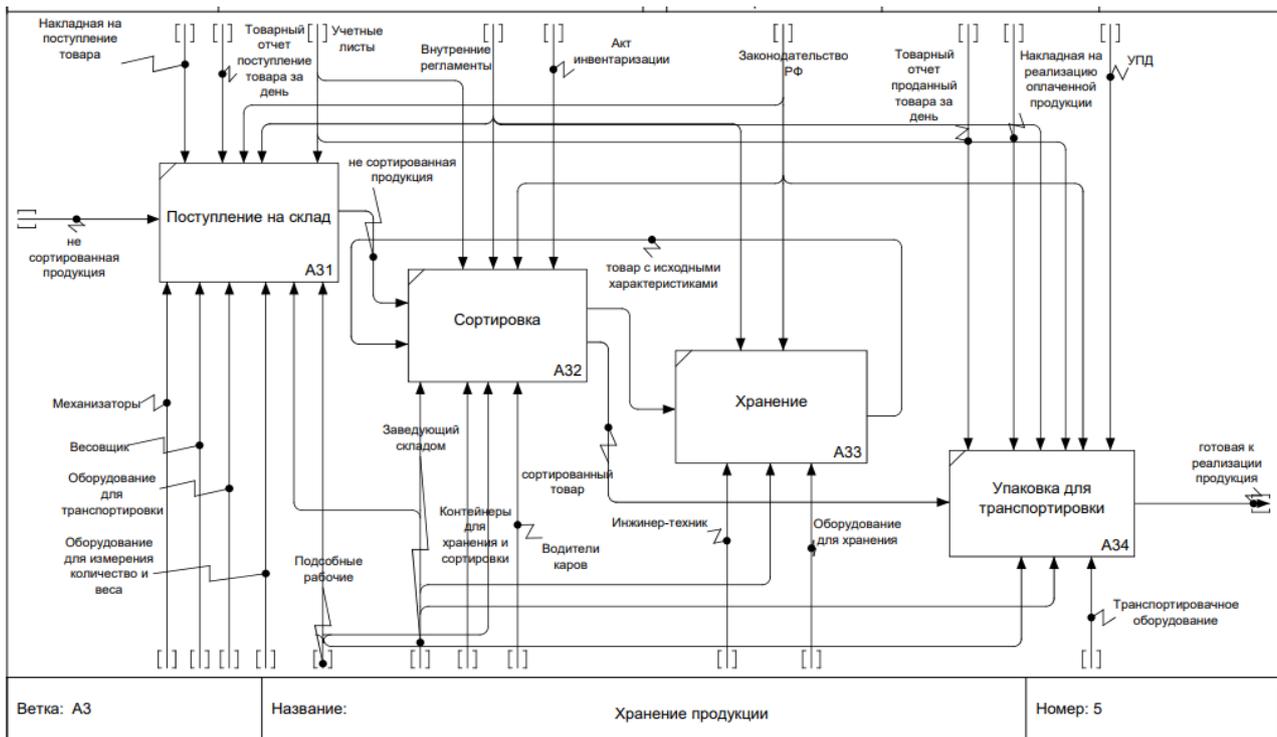


Рисунок 3. Бизнес-процесс хранения продукции

Figure 3. Business process of product storage

На рисунке 4 демонстрируется документационный процесс на предприятии АО «Дубовое» между складскими помещениями и административным зданием, где принимаются все управленческие решения, ведется учет и осуществляется расчет использованных данных. В

организации более 30 складов, для удобства на схеме они были объединены в логические группы в соответствии с использованием там одинаковых документов и близким территориальным расположением.

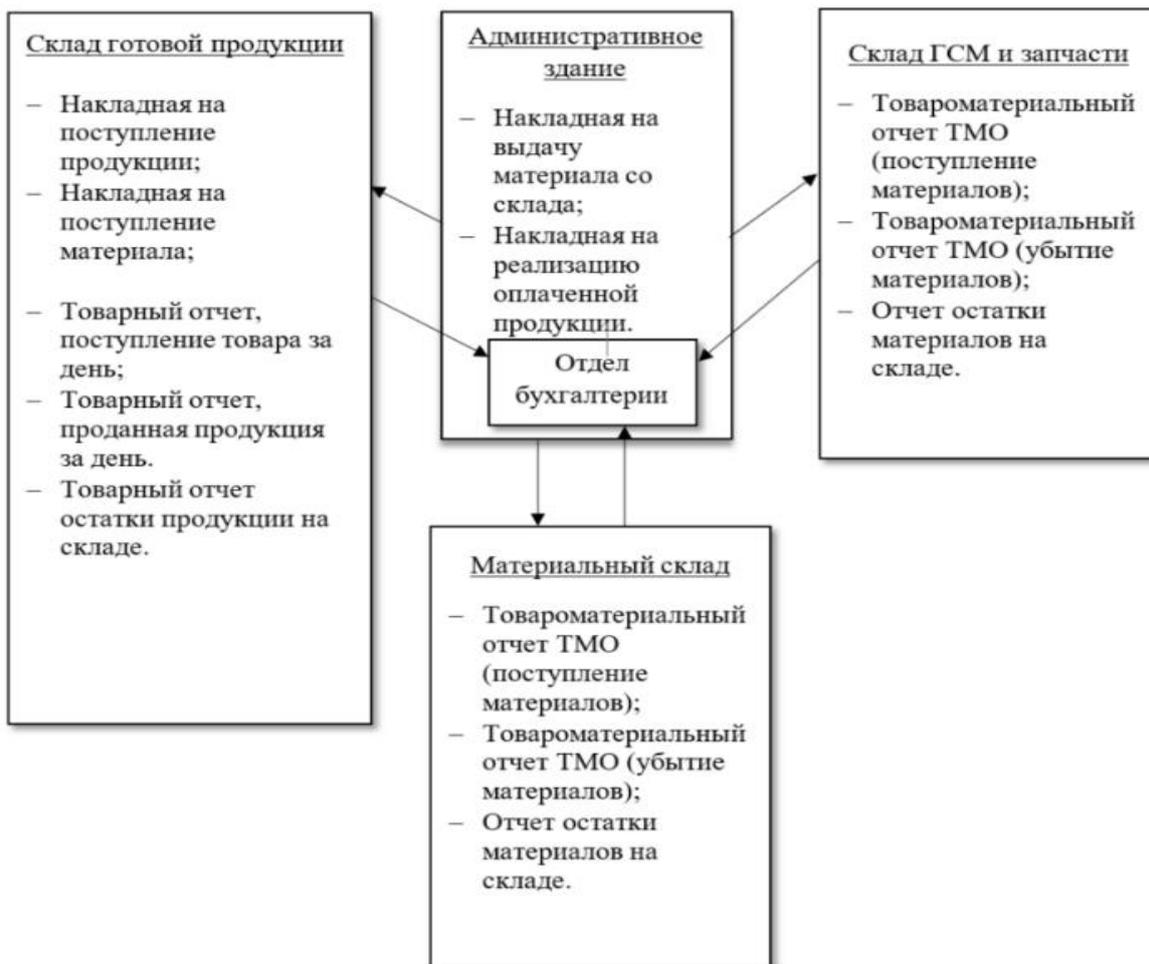


Рисунок 4. Схема движения документов и информации в организации АО «Дубовое»

Figure 4. Flow chart of documents and information in the organization of JSC Dubovoye

В центре рисунка 4 находится административное здание с отделом бухгалтерии. В рамках организационной структуры, внутренние документы, прошедшие предварительную обработку и несущие важную информацию, непременно направляются в отдел бухгалтерии. Именно здесь происходит их внесение в специальную базу данных, что позволяет эффективно работать с информацией и бережно сохранять ее. При этом, первичные документы в ряде случаев заполняются вручную и доставляются в центр обработки на личном транспорте или даже в некоторых случаях пешком сотрудниками организации.

На деле расстояние между складами, и административным зданием, с бухгалтерией значительное, что влияет на удобство и скорость работы организации не в лучшую сторону. То есть документы от которых на прямую зависит деятельность организации могут составляться и доставляться от половины рабочего дня до нескольких дней. Причиной та-

кой задержки является удаленность зданий друг от друга, а также отсутствие электронного документооборота и готовых прикладных решений для формирования отчетов. Эта ситуация серьезно затрудняет работу организации, поэтому требуется внедрение современных систем и технологий, которые позволят сократить время выполнения задач и обеспечить более эффективный документооборот.

Разработка системы электронного документооборота для коммерческой организации

Для удобства работы, была разработана программа для автоматизации ведения складского учета и документооборота в организации АО «Дубовое» с помощью средств разработки программного обеспечения «1С: Предприятие». На рисунке 5 показана новая усовершенствованная схема потока документации между складами и административным зданием.

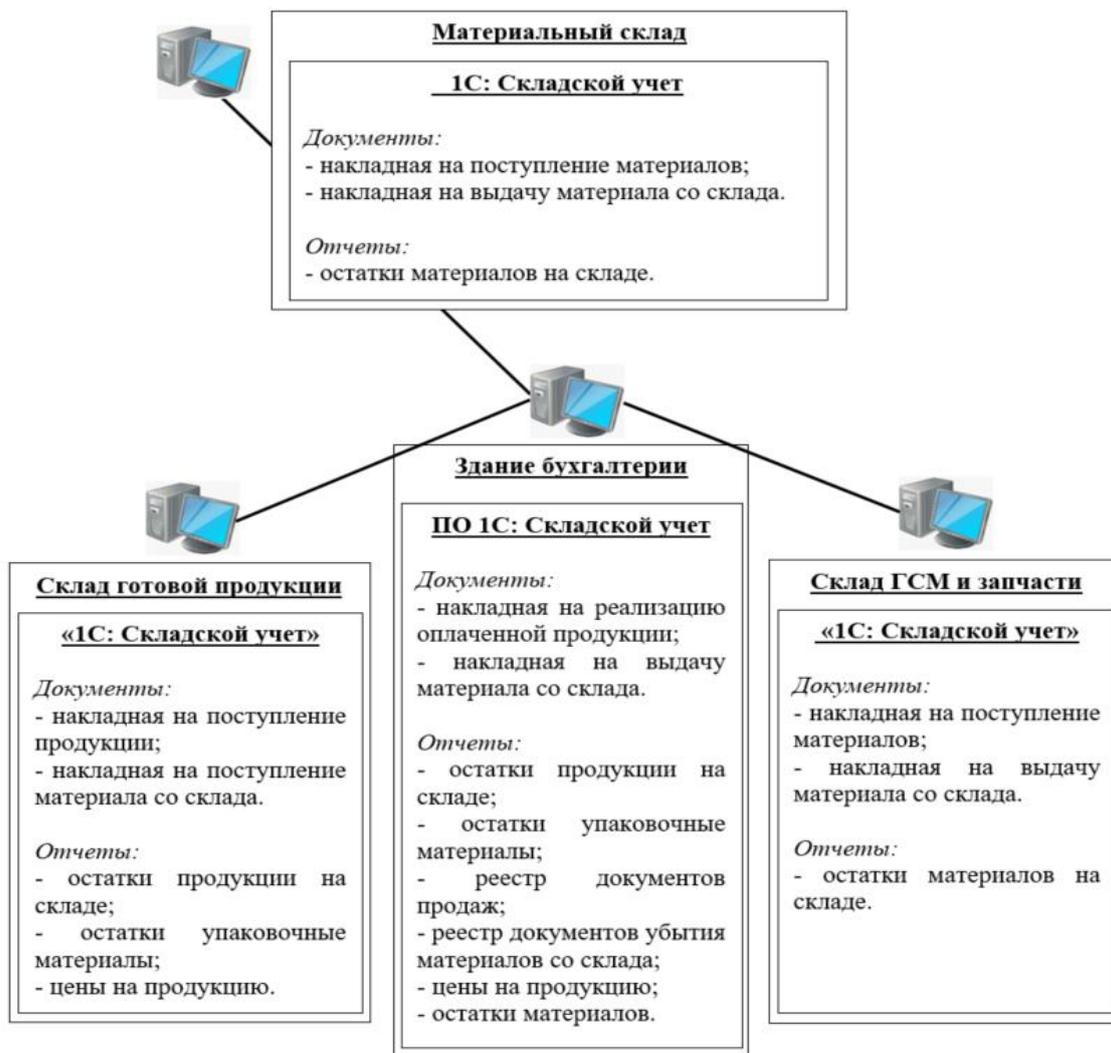


Рисунок 5. Усовершенствованная схема потока документации в программе «1С: Предприятие. Управление складом»

Figure 5. An improved flow chart of documentation in the «1С: Enterprise program. Warehouse Management»

Причем, независимо от того в каком организационном объекте находится сотрудник, ему предоставляется доступ ко всем функциям системы: документам, отчетам в соответствии с его правами доступа. К примеру администратору открыт полный доступ ко всем возможным функциям программы, а заведующему складом открыт доступ к разделу «Учет материалов» для формирования накладных на получение и выдачу материалов, отчет о остатках материалов на складе, а также доступна функция создания новой номенклатуры и склада. Такое разделение ролей не загружает программу лишней информацией и дает доступ необходимым функциям в соответствии с должностью сотрудника.

На рисунке 6 представлен интерфейс созданной программы «1С: Предприятие. Управление складом», в разделе бухгалтерия со сформированном отчетом «Движение продукции на складе». На желтом фоне расположены

основные разделы в соответствии с должностью сотрудника, ниже расположены функциональные ссылки для формирования новых документов и данных, а также просмотра их списка [11- 16].

Вся созданная в программе информация хранится в таблицах реляционной базы данных «1С: Предприятие». Для сохранности информации с определенной периодичностью создается резервная копия данных.

1. На первом этапе определяются главные цели и задачи внедрения системы электронного документооборота (СЭД). Также проводится расчет бюджета и определение сроков выполнения проекта;

2. Второй этап предполагает детальное изучение текущих процессов организации и выявление их слабых мест и проблемных зон, которые могут быть устранены в результате внедрения СЭД;

3. На третьем этапе разрабатывается подробное техническое задание для разработки системы электронного документооборота. Кро-

ме того, производится выбор самой подходящей СЭД с учетом требований и целей компании;

Склад / Камера хранения	Продукт	Количество кг Начальный остаток	Количество кг Приход	Количество кг Расход	Количество кг Конечный остаток
Холодильник	Яблоко сорт: Антей		4 010,000	5,000	4 005,000
Камера хранения №1	Яблоко сорт: Лигол		500,000		500,000
Холодильник	Яблоко сорт: Беркутовское		2 400,000		2 400,000
Холодильник	Яблоко сорт: Ветеран		1 900,000	205,000	1 695,000
Итого					8 600,000

Рисунок 6. Интерфейс программы «1С: Предприятие. Управление складом»

Figure 6. Interface of the «1С: Enterprise program. Warehouse Management»

4. На четвертом этапе происходит заключение договора с профессиональным интегратором СЭД, который будет отвечать за поставку и внедрение системы в организацию;

5. После заключения договора интегратор приступает к разработке системы электронного документооборота, учитывая все требования и техническое задание;

6. На шестом этапе в СЭД начинают загружаться первоначальные данные и реестры организации для полноценной работы системы;

7. Перед окончательным внедрением СЭД проводятся предварительные испытания, которые помогают выявить и устранить возможные ошибки и проблемы в работе системы;

8. Чтобы обеспечить эффективное использование СЭД, проводится обучение сотрудников, которые будут работать с системой;

9. После обучения персонала система электронного документооборота внедряется в опытную эксплуатацию для проверки ее работоспособности и функционала;

10. Проводится анализ работы СЭД с учетом поставленных целей и задач, а также оценка ее эффективности;

11. На данном этапе система электронного документооборота оценивается по определенным критериям эффективности, которые были установлены заранее;

12. В случае выявления недостатков или несоответствий в работе СЭД проводится необ-

ходимая доработка программного обеспечения для оптимальной работы системы;

13. На данном этапе регламенты работы с СЭД оптимизируются и улучшаются с целью повышения эффективности и комфортности использования системы;

14. Окончательным этапом внедрения СЭД является оформление приказа о вводе системы электронного документооборота в постоянную эксплуатацию.

Затраты на использование и разработку программы. Так как пользователей всего будет 5, то стоимость лицензии составит 47 600 рублей в год. Средняя цена разработки такой конфигурации составляет: 100 000 рублей + установка 1500 рублей + обучение персонала 1000 рублей. Получается первоначальная сумма составит более 150 000 рублей, дальше каждый год продление лицензии будет составлять 47 600 рублей, а обновление и техническая поддержка от 2800 рублей в час.

Выводы

Авторами предложена усовершенствованная схема потока документации в программе «1С: Предприятие, которая позволяет значительно упростить и ускорить документооборот в организации, снизить риски потери важной информации, снизить ошибки человеческого фактора и улучшить условия управленческой деятельности.

В работе приведены схемы бизнес-процессов функционирования сельскохозяйственной организации АО «Дубовое», приведена усовершенствованная схема потока доку-

ментации, продемонстрирована актуальность использования систем электронного документооборота.

Литература

1. Барихин, А.Б. Делопроизводство и документооборот. Практическое пособие / А.Б. Барихин. М. : Высш. школа, 2017. 28 с.
2. Саттон, М. Дж. Д. «Корпоративный документооборот: принципы, технологии, методология внедрения»/ М. Дж. Д.. Саттон. М.: Энергоиздат, 2019. 65 с.
3. Analysis of decision-making options in complex technical system design / V. Nemtinov, A. Zazulya, V. Kapustin, Y. Nemtinova // Journal of Physics: Conference Series, Tambov, 14–16 ноября 2018 года. Vol. 1278. – Tambov: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012018. – DOI 10.1088/1742-6596/1278/1/012018.
4. Использование Интернета при информационной поддержке принятия решений по управлению промышленным предприятием / В. А. Немтинов, А. М. Манаенков, В. В. Морозов, Е. С. Егоров // Прикладная информатика. – 2010. – № 4(28). – С. 8-12.
5. Мокрозуб, В. Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, С. Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 3. – С. 68 – 73.
6. О подходе комплексного использования информационных технологий для исследования микро-технологических объектов / В. А. Немтинов, Ю. В. Немтинова, А. А. Пчелинцева, А. М. Манаенков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. – № 5(107). – С. 28-33.
7. Немтинов, В. А. Использование системы моделирования динамических процессов для оперативного управления промышленным производством / В. А. Немтинов, Ю. В. Немтинова // Химическая промышленность сегодня. – 2007. – № 7. – С. 43-48.
8. Громов, А.И. Управление бизнес-процессами: современные методы. монография / А.И. Громов, А. Фляйшман, В. Шмидт // Юрайт. – 2016. – С.– 367.
9. Джестон, Д. Управление бизнес-процессами. Практическое руководство по успешной реализации проектов / Д. Джестон, Й. Нелис // Символ. – 2015. – С.– 512.
10. Репин, В.В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / В.В. Репин // Манн, Иванов и Фербер. – 2013. – С.– 112.
11. Бурьянов М. Как в современных условиях обеспечить эффективную деятельность склада / М. Бурьянов // Логистика. – 2022. – № 4. – С. 10-12.
12. Волгин В. В. Склад. Логистика. Управление. Анализ : произв.-практ. изд. / В. В. Волгин // Дашков и К. – 2013. – С. 723.
13. Диденко В. В. Автоматизация складских процессов - путь к снижению операционных затрат на складе / В. В. Диденко // Логистика. – 2021. – № 8. – С. 12-14.
14. Абрамс Р. Бизнес-план на 100%. Стратегия и тактика эффективного бизнеса / Р. Абрамс. // Альпина Паблишер. – 2019. – С. 486.
15. Манукян Д. В. Автоматизация склада от А до Я / Д. В. Манукян // Логистика. – 2020. – № 12. – С.6-8.
16. Гаджинский А. М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика : учеб.-практическое пособие. / А. М. Гаджинский // Проспект. – 2007. – С. 173.

References

1. Barikhin, A.B. Office management and document management. Practical guide / A.B. Barikhin. M. : Higher School, 2017. 28 p.
2. Sutton, M. J. D. "Corporate document management: principles, technologies, implementation methodology" / M. J. D. Sutton, M.: Energoizdat, 2019. 65 p.
3. Analysis of decision-making options in complex technical system design / V. Nemtinov, A. Zazulya, V. Kapustin, Y. Nemtinova // Journal of Physics: Conference Series, Tambov, November 14-16, 2018. Vol. 1278. – Tambov: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012018. – DOI 10.1088/1742-6596/1278/1/012018.
4. The use of the Internet with information support for decision-making on the management of an industrial enterprise / V. A. Nemtinov, A.M. Manaenkov, V. V. Morozov, E. S. Egorov // Applied Informatics. – 2010. – № 4(28). – Pp. 8-12.

5. Mokrozub, V. G. Information and logical models of technical objects and their representation in information systems / V. G. Mokrozub, V. A. Nemtinov, S. Ya. Egorov // Information technologies in design and production. - 2010. – No. 3. – pp. 68-73.
6. On the approach of integrated use of information technologies for the study of chemical and technological objects / V. A. Nemtinov, Yu. V. Nemtinova, A. A. Pchelintseva, A.M. Manaenkov // Bulletin of Computer and Information Technologies. – 2013. – № 5(107). – Pp. 28-33.
7. Nemtinov, V. A. The use of a dynamic process modeling system for operational management of industrial production / V. A. Nemtinov, Yu. V. Nemtinova // Chemical industry today. - 2007. – No. 7. – pp. 43-48.
8. Gromov, A.I. Business process management: modern methods. monograph / A.I. Gromov, A. Fleishman, V. Schmidt // Yurait. – 2016. – p.– 367.
9. Jeston, D. Business process management. Practical guide to the successful implementation of projects / D. Jeston, J. Nelis // Symbol. – 2015. – p.– 512.
10. Repin, V.V. Business processes. Modeling, implementation, management / V.V. Repin // Mann, Ivanov and Ferber. – 2013. – p. 112.
11. Buryanov M. How to ensure efficient warehouse operation in modern conditions / M. Buryanov // Logistics. - 2022. – No. 4. – pp. 10-12.
12. Volgin V. V. Warehouse. Logistics. Management. Analysis : proc.-practical edition / V. V. Volgin // Dashkov and K. – 2013. – p. 723.
13. Didenko V. V. Automation of warehouse processes - a way to reduce operational costs in a warehouse / V. V. Didenko // Logistics. – 2021. – No. 8. – pp. 12-14.
14. Abrams R. 100% business plan.Strategy and tactics of effective business / R. Abrams. // Alpina Publisher. – 2019. – p. 486.
15. Manukyan D. V. Warehouse automation from A to Z / D. V. Manukyan // Logistics. - 2020. – No. 12. – pp.6-8.
16. Gadzhinsky A.M. Modern warehouse. Organization, technologies, management and logistics : textbook-practical guide. / A.M. Gadzhinsky // Prospect. – 2007. – p. 173.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Щеглов Максим Юрьевич	студент - магистр, Тамбовский государственный технический университет, кафедра Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении, maxsheglov2001@yandex.ru 0009-0009-9766-0227
Немтинов Владимир Алексеевич	д.т.н., профессор, Тамбовский государственный технический университет, кафедра Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении, nemtinov.va@yandex.ru ORCID 0000-0003-2917-3610 Scopus AuthorID 6603614090

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Shcheglov Maxim Yurievich	Master's student, Tambov State Technical University, Department of Computer-integrated Systems in Mechanical Engineering, maxsheglov2001@yandex.ru 0009-0009-9766-0227
Nemtinov Vladimir Alekseevich	DSc, Professor, Tambov State Technical University, Department of Computer-integrated Systems in Mechanical Engineering, nemtinov.va@yandex.ru ORCID 0000-0003-2917-3610 Scopus AuthorID 6603614090

статья поступила в редакцию 04.09.2023	одобрена после рецензирования 18.09.2023	принята к публикации 29.09.2023
the article was submitted 04.09.2023	approved after reviewing 18.09.2023	accepted for publication 29.09.2023

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Елена Алексеевна Хромых ✉	1	helen_hrom@mail.ru
Юлия Александровна Сафонова	1	kulakova7@yandex.ru
Михаил Александрович Толубаев	1	TolubaevMikhail@yandex.ru

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра Информационных технологий, моделирования и управления, 19, пр-кт Революции, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Внедрение информационных систем на предприятиях позволяет повысить эффективность производства и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Работа посвящена проектированию информационной системы оценки качества продукции нефтехимической промышленности. Проведено моделирование предметной области с применением структурно-функционального подхода. При этом использованы нотации Integration Definition for Function Modeling (IDEF0, IDEF3) и Data Flow Diagram (DFD). В рамках моделирования установлен функционал разрабатываемой системы, а также основные требования к интерфейсу пользователя. Модель наглядно отражает функции, выполняемые каждым участником и модулем информационной системы, а также организацию хранения данных и движение потоков данных в информационной системе. Рассмотрен алгоритм обработки данных, позволяющий лицу, принимающему решение, на основании порогового решающего правила сделать вывод о качестве продукции. Для этого при помощи эксперта разработана система признаков, описывающая качественные характеристики продукции, а также значения нормы для каждой характеристики, которые должны храниться в базе данных информационной системы. Разработка указанной модели позволит перейти к следующим этапам создания информационной системы. Разрабатываемая информационная система оценки качества продукции может применяться в лабораториях контроля качества на предприятиях нефтехимического комплекса.

Ключевые слова: функциональное проектирование, информационная система, оценка качества продукции

Для цитирования: Хромых Е.А., Сафонова Ю.А., Толубаев М.А. Функциональный подход в проектировании информационной системы оценки качества продукции. // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 48-58.

Original article

A FUNCTIONAL APPROACH TO THE DESIGN OF AN INFORMATION SYSTEM FOR PRODUCT QUALITY ASSESSMENT

Elena A. Khromykh ✉	1	helen_hrom@mail.ru
Julia A. Safonova	1	kulakova7@yandex.ru
Mikhail A. Tolubaev	1	TolubaevMikhail@yandex.ru

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, Department of Information Technology, Modeling and Management, 19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The introduction of information systems at enterprises makes it possible to increase production efficiency and competitiveness of products. The work is devoted to the design of an information system for evaluating the quality of petrochemical industry products. The modeling of the subject area using a structural and functional approach is carried out. The Integration Definition for Function Modeling (IDEF0, IDEF3) and Data Flow Diagram (DFD) notations are used. As part of the simulation, the functionality of the system under development is established, as well as the basic requirements for the user interface. The model clearly reflects the functions performed by each participant and module of the information system, as well as the organization of data storage and the movement of data flows in the information system. The data processing algorithm is considered, which allows the decision-maker to make a conclusion about the quality of products based on the threshold decision rule. To do this, with the help of an expert, a system of signs has been developed that describes the quality characteristics of products, as well as the norm values for each characteristic, which should be stored in the database of the information system. The development of this model will allow us to move on to the next stages of creating an information system. The developed information system for product quality assessment can be used in quality control laboratories at petrochemical enterprises.

Keywords: functional design, information system, product quality assessment

For citation: Khromykh E.A., Safonova Yu.A., Tolubaev M.A. A functional approach to the design of an information system for product quality assessment. *Ingenerye tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 48-58. (In Russ.).

Введение

Сегодняшний уровень развития информационных технологий изменяет традиционные представления об организации производства и бизнеса. Для повышения эффективности работы предприятий и организаций в них всё чаще используют информационные системы (ИС).

Сегодня каждая фирма и каждое производство должны иметь современную информационную систему контроля и оперативного управления. Она позволит автоматизировать производственный процесс и связанный с ним документооборот, способствуя снижению себестоимости выпускаемой продукции и повышению конкурентоспособности предприятия [1].

Правильно спроектированная ИС помогает предприятию рациональнее вести производство, при этом сокращается трудоёмкость процессов, а также затраты времени на обработку информации об этих процессах.

Для грамотных внесений изменений и корректировок в процессы ведения производства необходимо иметь представление о том, как устроены действующие на предприятии процессы. Поэтому при проектировании ИС моделируется весь ход работы, позволяющий понимать реализуемые процессы и вести эффективную управленческую деятельность [2].

Технологический процесс производства продукции имеет сложную организацию технологического оборудования, а также средств сбора и обработки информации, управляющих устройств и исполнительных механизмов.

Брак получаемого продукта может быть обусловлен как нарушениями технологии производства, условий хранения и транспортировки, так и низким качеством исходных компонентов. При одних и тех же параметрах протекания технологического процесса можно получить продукт различного качества в зависимости от качества ингредиентов. Поэтому актуальной задачей является оперативная диагностика качества готовой продукции по информации о компонентах.

Возможным решением этой задачи является внедрение систем автоматизированной диагностики качества продукции в лабораториях и в центрах сертификации продукции.

Использование информационных технологий позволит сформировать базу данных образцов продукции для определения качества.

Материал и методы исследования

Для контроля качества продукции предприятий нефтехимической промышленности используются лаборатории контроля качества, оснащенные современным оборудованием. Их деятельность регламентируется нормативной документацией (утвержденные ГОСТы, ОСТы, ТУ). В таких лабораториях имеется в наличии лабораторное оборудование, средства индивидуальной защиты, а также эталонные образцы для определения качества продукции.

Контроль качества продукции включает следующие стадии:

- оценка качества упаковки;
- определение нормативного документа, по которому будет проводиться контроль;
- проведение контроля с использованием необходимого оборудования и инструментов;
- заключение по результатам контроля о качестве продукции.

Требуется разработать систему поддержки принятия решений (СППР) для анализа качества продукции. Перед СППР ставится задача по собранной в лаборатории информации оценить качество и соответствие стандартам готовой продукции [3].

Информационная система должна выполнять следующие функции:

- хранение информации о качественных характеристиках, количестве имеющейся на складе предприятия продукции и потребителях;
- корректировку информации;
- предоставление отсортированной и обработанной информации в виде, удобном пользователю;
- информационную поддержку ЛПР (лицу, принимающему решение) при определении степени пригодности продукции для использования (качественная или брак).

В работе смоделирована предметная область контроля качества продукции для предприятия, выпускающего химическую продукцию. При моделировании использован структурно-функциональный подход. Структура модели изображена на рисунке 1.

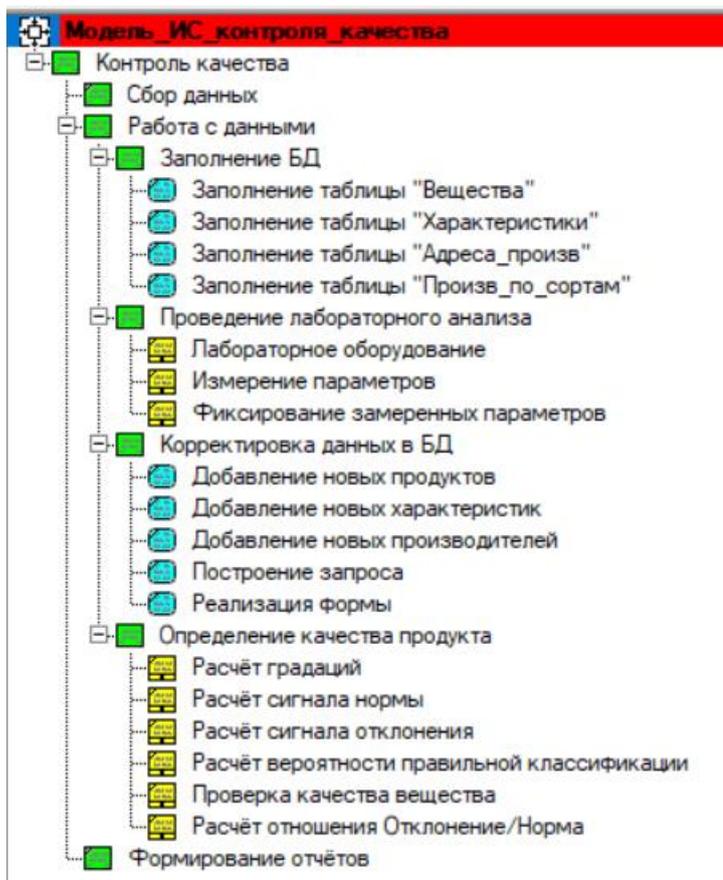


Рисунок 1. Структура модели «Контроль качества»

Figure 1. Structure of the "Quality Control" model

Контекстная диаграмма «Контроль качества» представлена на рисунке 2. Описание функциональных блоков и стрелок кон-

текстной диаграммы «Контроль качества» приведено в таблицах 1 и 2 соответственно.

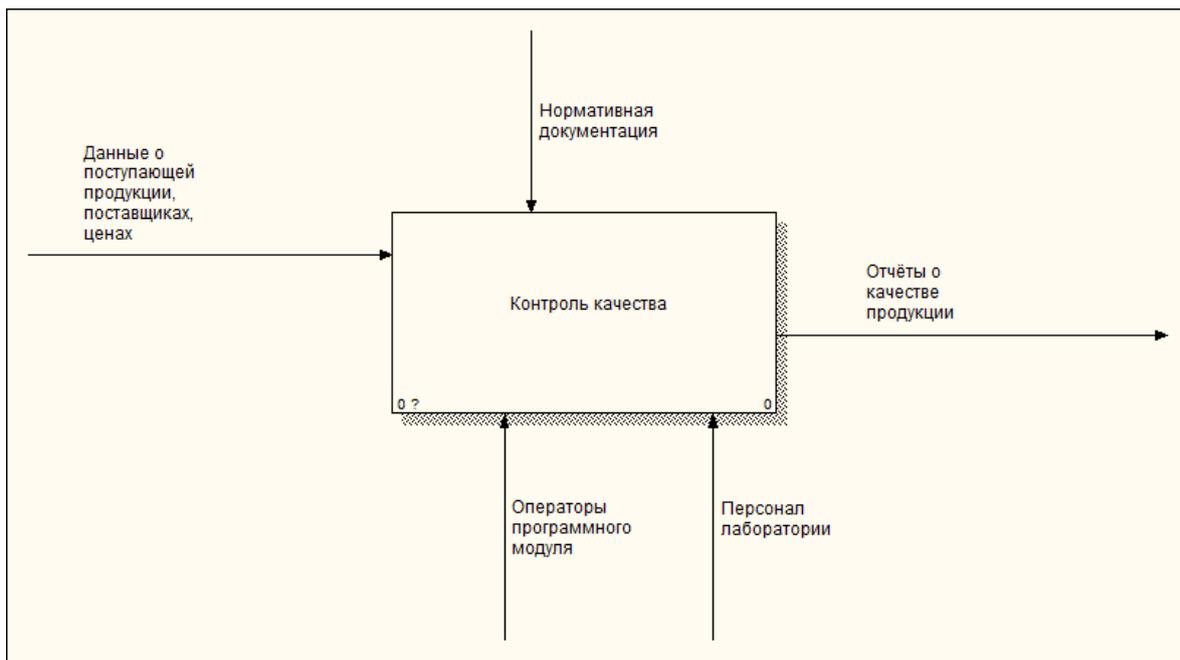


Рисунок 2. Контекстная диаграмма «Контроль качества»

Figure 2. Context diagram "Quality control"

Таблица 1. Описание функциональных блоков контекстной диаграммы «Контроль качества»
 Table 1. Description of the functional blocks of the context diagram "Quality Control"

Название функционального блока / Name of the function block	Описание / Description
Контроль качества	Отдел контроля качества производства

Таблица 2. Описание стрелок контекстной диаграммы «Контроль качества»
 Table 2. Description of the arrows of the context diagram "Quality control"

Название стрелки / The name of the arrow	Описание стрелки / Description of the arrow	Тип стрелки / Arrow Type
Данные о поступающей продукции, поставщиках, ценах	Информация о количестве закупок веществ, адресах их поставщиков, и ценах за розницу или опт	Вход
Нормативная документация	Сверка процесса по нормативным документам	Управляющее воздействие
Операторы программного модуля	Исполнители, взаимодействующие с ИС	Механизм
Персонал лаборатории	Исполнители, взаимодействующие с химическими реактивами	Механизм
Отчёты о качестве продукции	Интерпретация выводов о качестве в бумажном или электронном формате	Выход

Контекстная диаграмма «Контроль качества» декомпозирована в диаграмму типа IDEF0, состоящую из 3-х объектов: сбор данных, работа с данными, формирование отчётов (рисунок 3).

Описание функциональных блоков и стрелок диаграммы декомпозиции «Контроль качества» приведено в таблицах 3 и 4 соответственно.

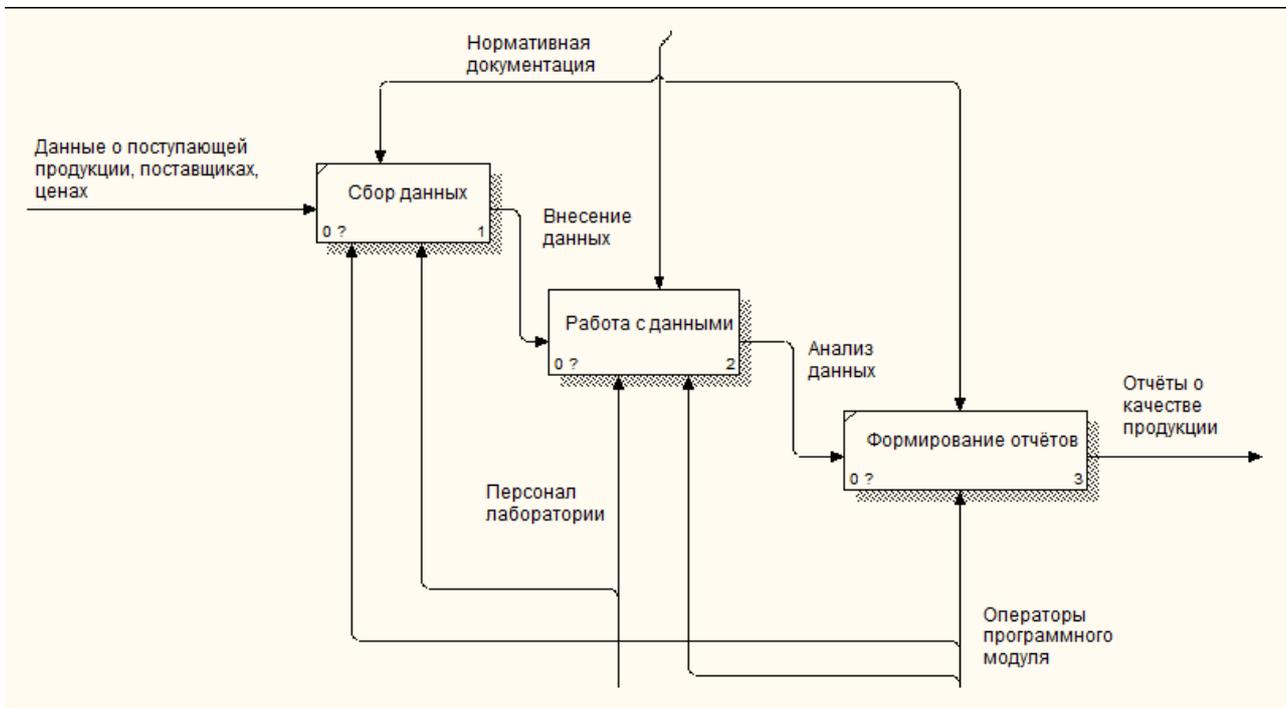


Рисунок 3. Декомпозиция диаграммы «Контроль качества»

Figure 3. Decomposition of the "Quality Control" diagram

Таблица 3. Описание функциональных блоков диаграммы декомпозиции «Контроль качества»
 Table 3. Description of the functional blocks of the decomposition diagram "Quality control"

Название функционального блока / Name of the function block	Описание / Description
Сбор данных	Накопление сведений о поступающих веществах
Работа с данными	Обработка полученных данных
Формирование отчётов	Получение заключения о качестве вещества и её интерпретация

Таблица 4. Описание стрелок диаграммы декомпозиции «Контроль качества»
 Table 4. Description of the arrows of the decomposition diagram "Quality control"

Название стрелки / The name of the arrow	Начало стрелки / The beginning of the arrow	Тип начала стрелки / The type of the beginning of the arrow	Окончание стрелки / The end of the arrow	Тип окончания стрелки / Arrow end type
Данные о поступающей продукции, поставщиках, ценах	Граница диаграммы	Управляющее воздействие	Сбор данных	Вход
Нормативная документация	Граница диаграммы	Управляющее воздействие (ветка стрелки)	Сбор данных	Вход
			Работа с данными	
			Формирование отчётов	
Персонал лаборатории	Граница диаграммы	Механизм (ветка стрелки)	Сбор данных	Вход
			Работа с данными	
Операторы программного модуля	Граница диаграммы	Механизм (ветка стрелки)	Сбор данных	Вход
			Работа с данными	
			Формирование отчётов	
Отчёты о качестве продукции	Формирование отчётов	Выход	Граница диаграммы	Выход
Внесение данных	Сбор данных	Выход	Работа с данными	Вход
Анализ данных	Работа с данными	Выход	Формирование отчётов	Вход

Следующим уровнем декомпозиции является выполненная в нотации IDEF0 диаграмма «Работа с данными», состоящая из 4-х блоков: заполнение БД, проведение лабораторного анализа,

расторного анализа, корректировка данных в БД, определение качества продукта, (рисунок 4).

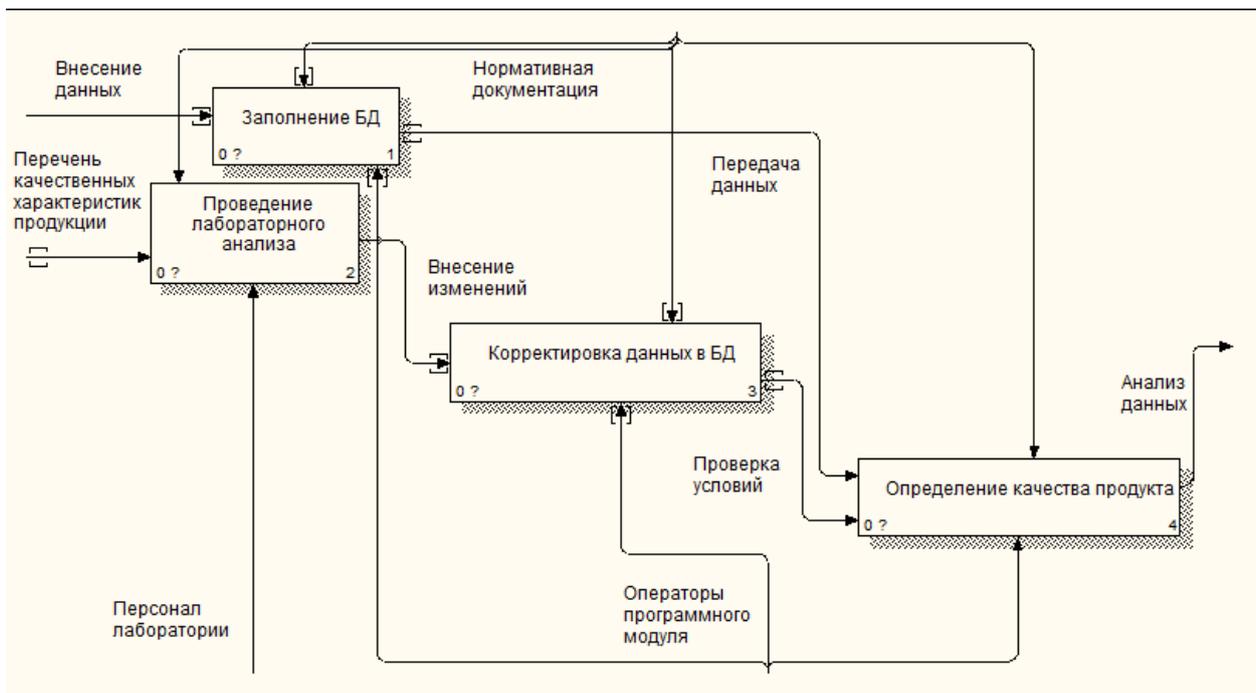


Рисунок 4. Декомпозиция диаграммы «Работа с данными»
 Figure 4. Decomposition of the "Working with data" diagram

Диаграммы «Заполнение БД» (рисунок 5) и «Корректировка данных в БД» (рисунок 6) были декомпозированы в диаграммы типа DFD.

Проведение лабораторного анализа разделено на 3 этапа, которые отражены на соответствующей диаграмме (рисунок 7).

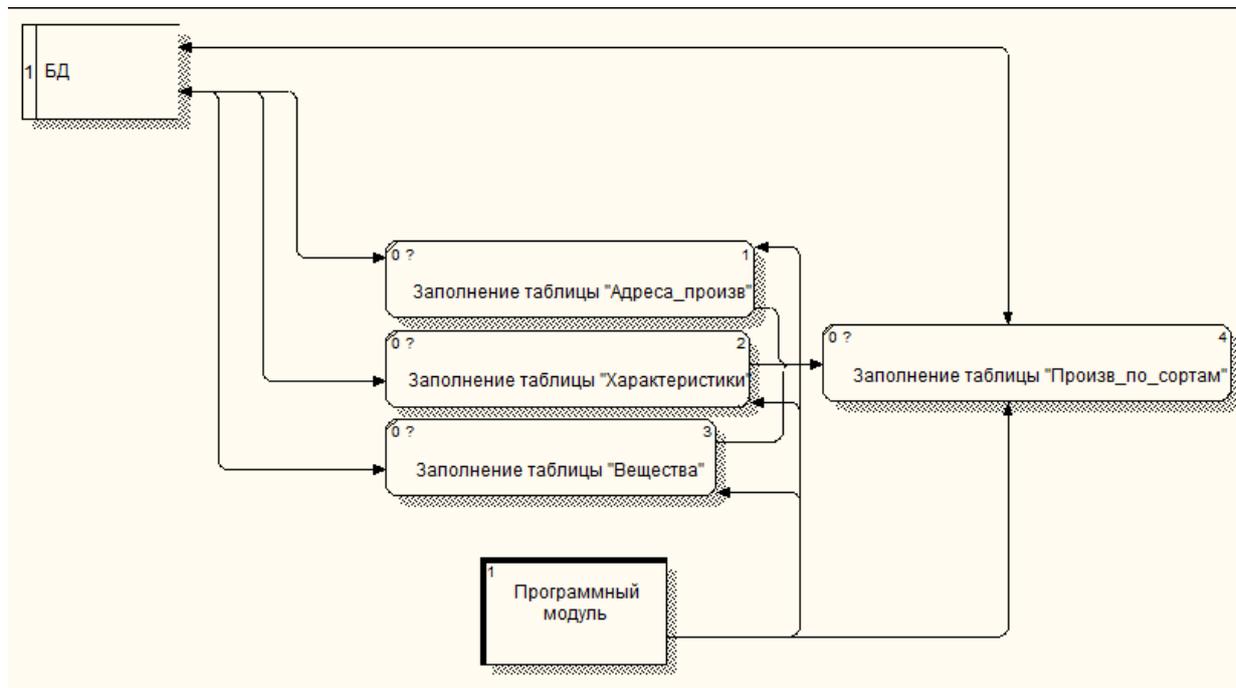


Рисунок 5. Декомпозиция диаграммы «Заполнение БД»
Figure 5. Decomposition of the "Filling in the database" diagram

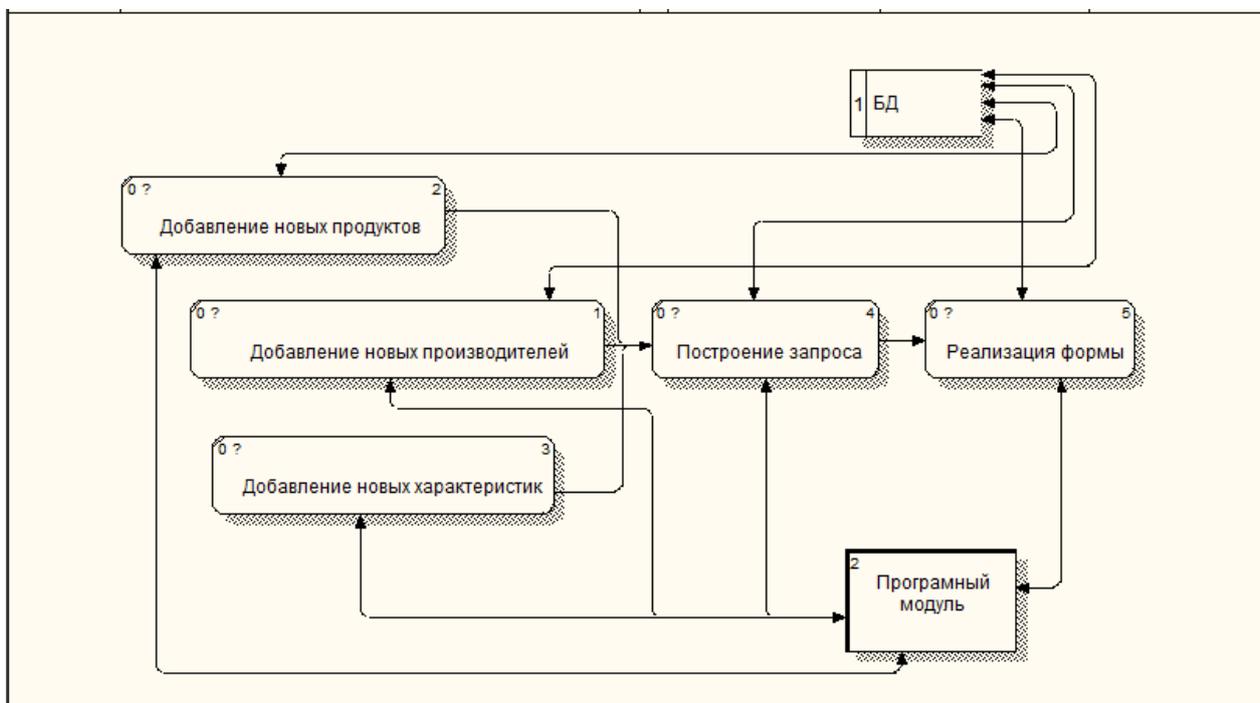


Рисунок 6. Декомпозиция диаграммы «Корректировка данных в БД»
Figure 6. Decomposition of the chart "Data correction in the database"

Диаграмма «Проведение лабораторного анализа» выполнена в нотации IDEF3. Внешними объектами, взаимодействующими с процессом, являются персонал лаборатории и нормативная документация, с учётом которой

строится весь процесс. Используя лабораторное оборудование, реализуются измерения параметров, за которыми следует их фиксация и передача операторам программного модуля для дальнейшей работы с этими данными.

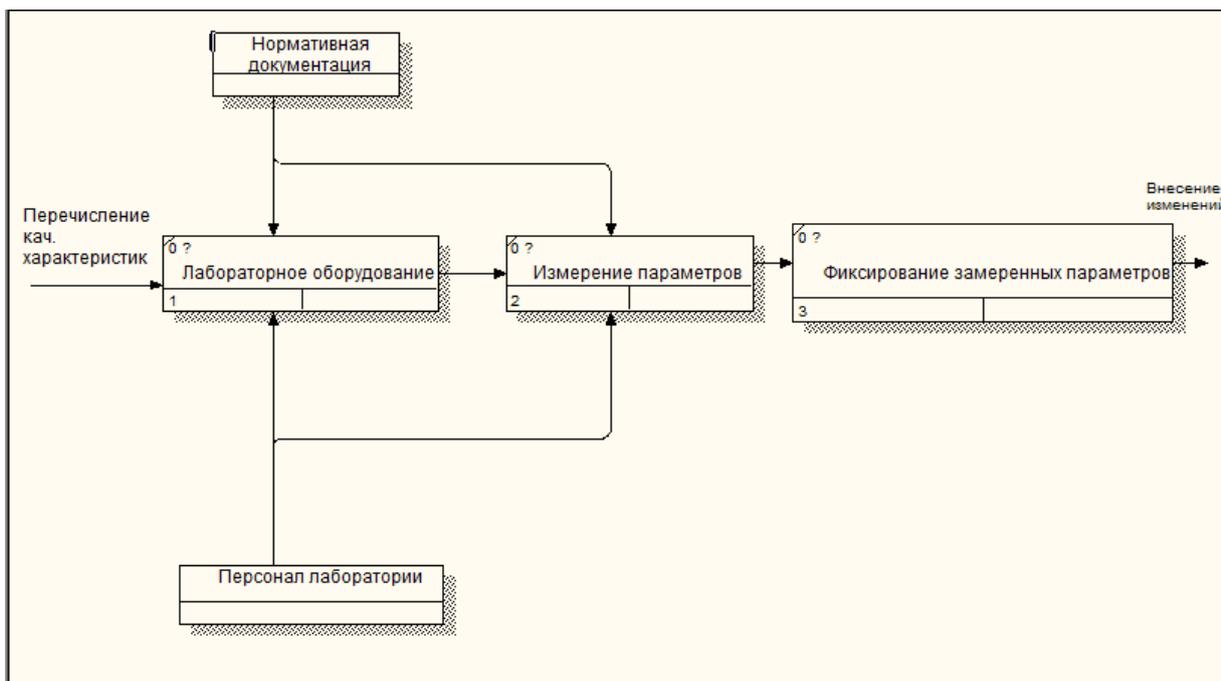


Рисунок 7. Декомпозиция диаграммы «Проведение лабораторного анализа»

Figure 7. Decomposition of the diagram "Laboratory analysis"

Описание функциональных блоков и «Проведение лабораторного анализа» приве- стрелок диаграммы декомпозиции дено в таблицах 5 и 6 соответственно.

Таблица 5. Описание функциональных блоков диаграммы декомпозиции «Проведение лабораторного анализа»
Table 5. Description of the functional blocks of the decomposition diagram "Laboratory analysis"

Название функционального блока / Name of the function block	Описание / Description
Нормативная документация	Сверка процесса по нормативным документам
Персонал лаборатории	Исполнители, взаимодействующие с химическими реактивами
Лабораторное оборудование	Оборудование для измерения показателей вещества
Измерение параметров	Измерение реальных параметров предоставленных веществ
Фиксирование замеренных параметров	Запись замеренных показателей химических веществ

Таблица 6. Описание стрелок диаграммы декомпозиции «Проведение лабораторного анализа»
Table 6. Description of the arrows of the decomposition diagram "Laboratory analysis"

Название стрелки / The name of the arrow	Начало стрелки / The beginning of the arrow	Тип начала стрелки / The type of the beginning of the arrow	Окончание стрелки / The end of the arrow	Тип окончания стрелки / Arrow end type
Перечисление кач. характеристик	Граница диаграммы	Управляющее воздействие	Лабораторное оборудование	Вход
-	Нормативная документация	Управляющее воздействие (ветка стрелки)	Лабораторное оборудование	Вход
-	Лабораторное оборудование	Механизм (ветка стрелки)	Измерение параметров	Вход
-	Измерение параметров	Выход	Фиксирование замеренных параметров	Вход
-	Персонал лаборатории	Механизм (ветка стрелки)	Лабораторное оборудование	Вход
Внесение изменений	Фиксирование замеренных параметров	Выход	Граница диаграммы	Выход

Проверка качества реализована с помощью ИС, использующей информацию, хранящуюся в базе данных (рисунок 8). Диаграмма

«Определение качества продукта» также выполнена в нотации IDEF3.

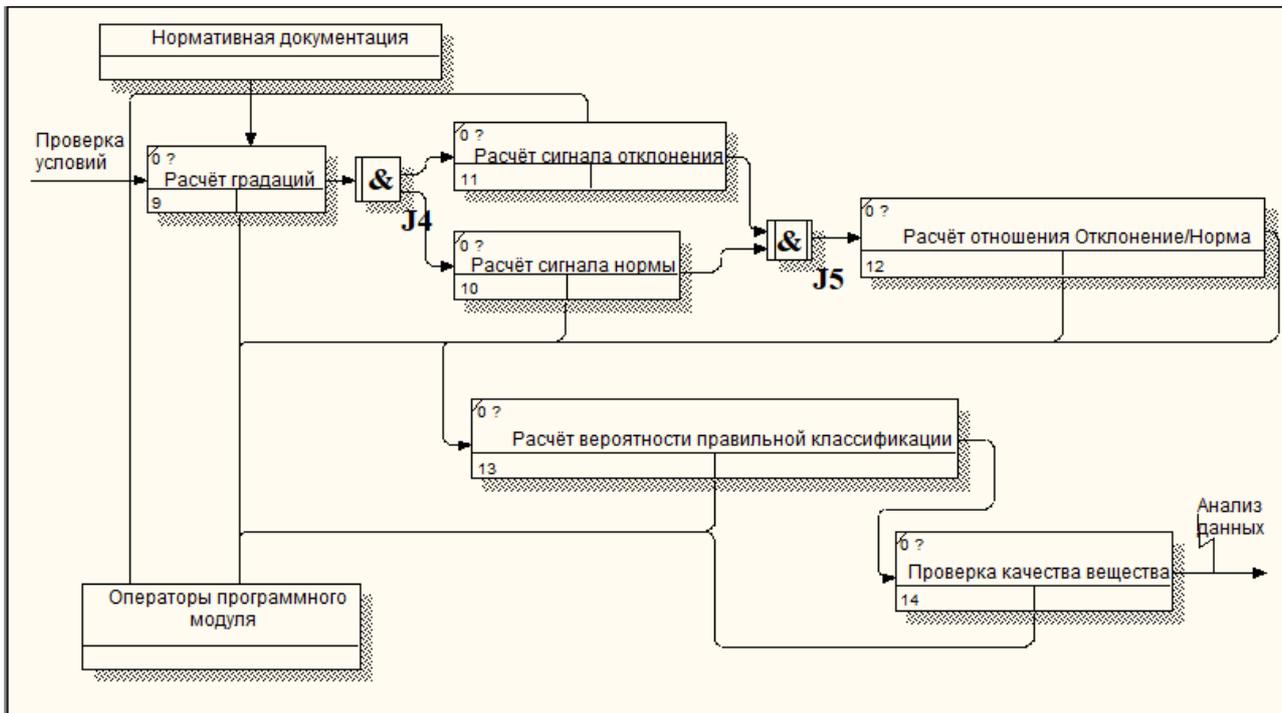


Рисунок 8. Декомпозиция диаграммы «Определение качества продукта»
 Figure 8. Decomposition of the "Product quality determination" diagram

Описание функциональных блоков и стрелок диаграммы декомпозиции

«Определение качества продукта» приведено в таблицах 7 и 8 соответственно.

Таблица 7. Описание функциональных блоков диаграммы декомпозиции «Определение качества продукта»
 Table 7. Description of the functional blocks of the decomposition diagram "Product quality determination"

Название функционального блока / Name of the function block	Описание / Description
Нормативная документация	Сверка процесса по нормативным документам
Операторы программного модуля	Исполнители, взаимодействующие с ИС
Расчёт градаций	Вычисление числа градаций вещества
Расчёт сигнала отклонения	Вычисление сигнала отклонения вещества
Расчёт сигнала нормы	Вычисление сигнала нормы вещества
Расчёт отношения Отклонение/Норма	Вычисление значения отношения Отклонение/Норма для вещества
Расчёт вероятности правильной классификации	Сравнение отношения Отклонение/Норма с заданным диапазоном
Проверка качества вещества	Получение результата о качестве на основе расчёта вероятности правильной классификации

Таблица 8. Описание стрелок диаграммы декомпозиции «Определение качества продукта»
 Table 8. Description of the arrows of the decomposition diagram "Product quality determination"

Название стрелки / The name of the arrow	Начало стрелки / The beginning of the ar- row	Тип начала стрелки / The type of the be- ginning of the arrow	Окончание стрелки / The end of the arrow	Тип окончания стрелки / Arrow end type
Проверка условий	Граница диаграммы	Управляющее воз- действие	Расчёт градаций	Вход
-	Нормативная доку- ментация	Управляющее воз- действие	Расчёт градаций	Вход
-	Операторы про- граммного модуля	Механизм (ветка стрелки)	Расчёт градаций	Вход
			Расчёт сигнала откло- нения	
			Расчёт сигнала нормы	
			Расчёт отношения От- клонение/Норма	
			Расчёт вероятности правильной классифи- кации	
Проверка кач-ва веще- ства				
-	Расчёт градаций	Выход	Расчёт сигнала откло- нения	Вход
-	Расчёт градаций	Выход	Расчёт сигнала нормы	Вход
-	Расчёт сигнала от- клонения	Выход	Расчёт отношения От- клонение/Норма	Вход
-	Расчёт сигнала нор- мы	Выход	Расчёт отношения От- клонение/Норма	Вход
-	Расчёт отношения Отклонение/Норма	Выход	Расчёт вероятности правильной классифи- кации	Вход
-	Расчёт вероятности правильной класси- фикации	Выход	Проверка качества ве- щества	Вход
Анализ данных	Проверка качества вещества	Выход	Граница диаграммы	Управляющее воздействие

Рассмотрим подробнее процесс определения качества продукта, представленный на диаграмме рисунка 8.

Решение о качестве продукции принимается ИС на основе порогового решающего правила. Рассмотрим алгоритм, являющийся основой обработки информации [3].

Поясним представление состояния продукта с помощью его характеристик. Будем называть определенный продукт системой. Качество продукта соответствует определенному состоянию системы, которое в свою очередь определяется набором признаков (характеристик), принимающих конкретные численные значения.

Можно выделить два состояния системы: качественное и некачественное. Это состояние определяется численным значением признаков системы. Значения этих признаков (характеристик) хранятся в базе данных. Вес (значимость) каждой характеристики неодинаков. Он может быть оценен, например, в баллах. Таким образом, с помощью баллов определя-

ется вклад каждой характеристики в общую оценку продукта. Чем больше баллов, тем более значима характеристика.

Существует много способов количественной оценки характеристик. Следует отметить, что характеристики имеют разные размерности (например, одна измеряется в процентах, другая – в г/кг, третья – в условных единицах и т.д.). Сравнивать такие характеристики неудобно, поэтому следует перейти к безразмерным величинам. Для этого используют градации.

Расчет градаций выполняется следующим способом. Состояние системы (продукта) можно представить в виде набора N признаков, сформированных при помощи эксперта, обладающего многолетним опытом работы. Каждый из признаков может принимать n фиксированных состояний (градаций). Таким образом, N – число характеристик продукта, n – число градаций каждого признака. Вычисление числа градаций осуществляется по формуле:

$$n = \begin{cases} 2, & \text{если значение характеристики в норме} \\ \frac{X - X_{\min}}{\Delta X} + 1, & \text{если значение характеристики} > \text{max значения нормы} \\ \frac{X_{\max} - X}{\Delta X} + 1, & \text{если значение характеристики} < \text{min значения нормы} \end{cases}$$

где x – реальное значение характеристики;

X_{\min} – минимальное значение нормы для данной характеристики;

X_{\max} – максимальное значение нормы для данной характеристики;

Δx – шаг изменения значения каждого признака (минимальная единица шкалы).

Количество градаций в случае нормы n составляет значение 2, т.к. достаточно знать 2 градации для любого признака – его среднее нормальное значение и границу нормы.

Далее рассчитывается ряд показателей:

– $C_n = N$ сигнал нормы (равен числу признаков);

– $C_o = \sum_{i=1}^N \log_2 n_i$ сигнал отклонения (сумма двоичных логарифмов градаций по всем признакам в случае отклонения от нормы);

– $G_o = \frac{C_o}{C_n}$ отношение отклонение/норма.

Пороговое решающее правило позволяет решить находится ли система (продукт) в нормальном состоянии или существует отклонение от нормы, а также оценить вероятность правильного распознавания состояния системы.

На основании рассчитанных показателей рассчитывается вероятность правильной классификации состояния:

$$P = e^{-\frac{\ln 2}{G_o^2}}.$$

За диапазон нормы принимается значение вероятности P от 0 до 0,5. Превышение порогового значения говорит о некачественности продукта.

Данный алгоритм должен быть реализован в разрабатываемой ИС. Обработанная по этому алгоритму информация передаётся для дальнейшего формирования отчётов о качестве конечной продукции.

Результаты исследования и их обсуждение

Результатом данной работы является модель разрабатываемой информационной системы оценки качества продукции, выпускаемой предприятиями нефтехимической промышленности. Модель имеет несколько уровней декомпозиции и использует для представления процессов в системе нотации IDEF0, DFD и IDEF3. Диаграммы IDEF0 и IDEF3 позволяют наглядно отразить протекающие в лаборатории процессы и алгоритмы обработки данных, позволяющие ЛПП сделать вывод о качестве исследуемой продукции. Диаграммы DFD иллюстрируют движение потоков данных в ИС и их хранение. Разработанная модель позволит перейти к следующим этапам создания информационной системы.

Выводы

В работе была разработана модель для информационной системы оценки качества продукции, которая может быть использована в лабораториях контроля качества.

Литература

1. Зараменских, Е. П. Управление жизненным циклом информационных систем : учебник и практикум для вузов / Е. П. Зараменских. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 497 с. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/511960>.
2. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник и практикум для вузов / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Г. А. Левочкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 423 с. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/533823>.
3. Балашова, Е. А. «Проектирование информационных и управляющих систем поддержки принятия решений. Практикум» / Е.А. Балашова, В.К. Битюков, Е. А. Хромых, Е.А. Саввина. ВГУИТ. Воронеж, 2016.

References

1. Zaramenskikh, E. P. Information systems lifecycle management : textbook and workshop for universities / E. P. Zaramenskikh. — 2nd ed. — Moscow : Yurayt Publishing House, 2023. — 497 p. — Text : electronic // Educational platform Yurayt [website]. — URL: <https://urait.ru/bcode/511960>.
2. Grekul, V. I. Designing information systems : textbook and workshop for universities / V. I. Grekul, N. L. Korovkina, G. A. Levochkina. — 2nd ed., reprint. and an additional one. — Moscow : Yurayt Publishing House, 2023. — 423 p. — Text : electronic // Yurayt Educational platform [website]. — URL: <https://urait.ru/bcode/533823>.
3. Balashova, E. A. "Designing information and control decision support systems. Practicum" / E.A. Balashova, V.K. Bituykov, E. A. Khromykh, E.A. Savvina. VGUI. Voronezh, 2016.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Хромых Елена Алексеевна	к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кафедра Информационных технологий, моделирования и управления, helen_hrom@mail.ru ORCID 0000-0003-1270-1851
Сафонова Юлия Александровна	к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кафедра Информационных технологий, моделирования и управления, kulakova7@yandex.ru ORCID 0000-0002-2995-1905 ID Scopus 57202280189
Толубаев Михаил Александрович	студент-магистр, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кафедра Информационных технологий, моделирования и управления, TolubaevMikhail@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)
Khromykh Elena Alekseevna	Ph.D., Associate Professor Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», Department of Information Technology, Modeling and Management, helen_hrom@mail.ru ORCID 0000-0003-1270-1851
Safonova Julia Alexandrovna	Ph.D., Associate Professor Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», Department of Information Technology, Modeling and Management, kulakova7@yandex.ru ORCID 0000-0002-2995-1905 ID Scopus 57202280189
Tolubaev Mikhail Alexandrovich	Master's student, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», Department of Information Technology, Modeling and Management, TolubaevMikhail@yandex.ru

статья поступила в редакцию
06.09.2023

одобрена после рецензирования
18.09.2023

принята к публикации
29.09.2023

the article was submitted
06.09.2023

approved after reviewing
18.09.2023

accepted for publication
29.09.2023

Научная статья

УДК 678.7-13

ОСОБЕННОСТИ ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ ГЕТЕРОПОЛИМЕРНЫХ МАЛОЭМУЛЬГАТОРНЫХ ЛАТЕКСОВ

Ольга Владимировна Боголепова ✉	1,2	helgabogolepowa@rambler.ru
Валерий Александрович Седых	1	cdxva@mail.ru
Евгений Александрович Гринфельд	2	latexes@mail.ru

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, проспект Революции, д.19., г. Воронеж, 394036, Россия

²Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука» имени академика С.В. Лебедева (Воронежский филиал ФГБУ «НИИСК»), лаборатория синтетических латексов, д. 3 «Б», ул. Менделеева, г. Воронеж, 394014, Россия

Аннотация в работе исследовались процессы пленкообразования малоэмульгаторных гетерополимерных латексов бутадиен-нитрильного, изопрен-нитрильного и бутадиен-винилиденхлорид-нитрильного, полученных затравочной сополимеризацией и высококарбокислированного латекса, перспективных для получения медицинских изделий. Рассматривалось влияние концентрации латексов, продолжительности ионного отложения, условий синерезиса гелей, адсорбционной насыщенности поверхности латексных частиц и их структуры на кинетику образования латексного геля, эластичность сырых гелей и конечных пленок в условиях технологии получения маканых изделий. Для получения тонкостенных изделий с высокими физико-механическими показателями необходимо подобрать оптимальное соотношение концентрации латекса и продолжительности ионного отложения. Оптимальная температура форм, фиксатора и латексной композиции при ионном отложении приводит к увеличению скорости процесса, повышению количества отложившегося геля и тем самым получению бездефектных пленок. Водный синерезис латексных пленок обеспечивает лучшее взаимопроникновение частиц и равномерную скорость усадки пленок без образования трещин. Гетерополимерный карбокислированный изопрен-нитрильный латекс обладает наиболее оптимальным комплексом свойств среди исследованных латексов.

Ключевые слова: пленкообразование, гетерополимерные латексы, высококарбокислированные латексы, свойства латексного геля, синерезис гелей.

Для цитирования: Боголепова О. В., Седых В. А., Гринфельд Е. А. Особенности пленкообразования гетерополимерных малоэмульгаторных латексов. // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 59-68.

Original article

FEATURES OF FILM FORMATION OF HETEROPOLYMER LOW-EMULSIFIER LATEXES

Olga V. Bogolepova ✉	1,2	helgabogolepowa@rambler.ru
Valery A. Sedykh	1	cdxva@mail.ru
Evgeny A. Grinfeld	2	latexes@mail.ru

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, Department of Technology of Organic Compounds and Polymer Processing 19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia

²Voronezh Department of the S.V. Lebedev Institute for Synthetic Rubber, laboratory of synthetic latexes, 3 «B», Mendeleeva St., Voronezh, 394014, Russia

Abstract: The work investigated the processes of film formation of low-emulsifying heteropolymer latexes of butadiene-nitrile, isoprene-nitrile and butadiene-vinylidene chloride-nitrile, obtained by seed copolymerization and highly carboxylated latex, promising for the production of medical products. The influence of latex concentration, duration of ion deposition, conditions of syneresis of gels, adsorption saturation of the surface of latex particles and their structure on the kinetics of latex gel formation, elasticity of raw gels and final films under the conditions of technology for producing dipped products was considered. To obtain thin-walled products with high physical and mechanical properties, it is necessary to select the optimal ratio of latex concentration and duration of ion deposition. The optimal temperature of the molds, fixative and latex composition during ionic deposition leads to an increase in the speed of the process, an increase in the amount of deposited gel and thereby obtaining defect-free films. Aqueous syneresis of latex films

ensures better interpenetration of particles and a uniform shrinkage rate of films without the formation of cracks. Heteropolymer carboxylated isoprene-nitrile latex has the most optimal set of properties among the studied latexes.

Keywords: film formation, heteropolymer latexes, highly carboxylated latexes, properties of latex gel, syneresis of gels.

For citation: Bogolepova O. V., Sedykh V. A., Grinfeld E. A. Features of film formation of heteropolymer low-emulsifier latexes. *Ingenernye tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 59-68. (In Russ.).

Введение

В настоящее время одними из широко применяемых материалов современного промышленного производства являются водные дисперсии полимеров – латексы. Благодаря своим конструкционным качествам они эффективно используются для изготовления различных покрытий, как основа для водоэмульсионных красок, клеев, шпатлевок, пропитки кордных материалов, бумаги и картона, а также, в производстве медицинских изделий: перчаток, катетеров, дренажных трубок, дыхательных мешков и др [1].

Удовлетворение потребности в синтетических полимерных дисперсиях и готовых изделий из них в большей степени осуществляется за счет поставок из-за рубежа. Повышенный спрос на латексы создает предпосылки для производителей в России. Становится актуальным ослабление зависимости от импорта, которое позволит обеспечить стабильное сырье для внутреннего использования. Производство водных полимерных дисперсий потенциально содействует развитию новых технологий и инноваций, способствуя созданию новых материалов и решений, что в свою очередь оказывает благоприятное влияние на развитие экономики и повышение конкурентоспособности страны.

Наиболее важным свойством латексов при производстве изделий является их пленкообразующая способность, определяемая свойствами полимера [2]. Процесс пленкообразования представляет собой ряд структурных превращений, происходящих за счет сил межмолекулярного притяжения и образования межглобулярных контактов при высушивании латексов на воздухе. Сжатие промежуточного геля (синерезис) приводит к образованию более равномерной структуры недиспергируемой пленки геля, которая после процесса сушки за счет сил аутогезии образует гомогенную пленку [3]. Ряд работ (С. С. Воюцкий, В. И. Елисеева, В. В. Верхованцев, Д.П. Трофимович, В. В. Черная, М. И. Шепелев и др.) посвящены изучению данной тематики на различных объектах [4-7], но в силу появления новых типов дисперсий среди синтетических латексов, для

их применения в производстве медицинских изделий, к которым предъявляются определенные эксплуатационные требования, появляется необходимость продолжения изучения данной области. Целью работы являлось определение закономерностей процессов пленкообразования синтетических латексов, изучение влияния различных факторов на образование латексной пленки в условиях технологии получения маканых изделий.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были выбраны гетерополимерные малоэмульгаторные бутадиен-нитрильные (БН), изопрен-нитрильные (ИН) и бутадиен-винилиденхлорид-нитрильные (БВН) латексы, полученные затравочной сополимеризацией и высококарбокислированный латекс (ВЛ), полимер которого выполняет роль оболочки частиц гетерополимерных латексов [8]. Испытуемые полимерные дисперсии были синтезированы на опытной установке экспериментального цеха Воронежского филиала ФГБУ «НИИСК». На первой стадии при сополимеризации мономеров с метакриловой кислотой в присутствии низкомолекулярного эмульгатора синтезируется затравочный латекс – высококарбокислированный сополимер (ВЛ). На второй стадии осуществлялась затравочная безэмульгаторная полимеризация основных мономеров с определенной нейтрализацией карбоксильных групп затравочного латекса, которые локализуются на поверхности частиц и обеспечивают их коллоидную устойчивость при низком содержании эмульгатора (структура частиц типа «ядро-оболочка»). Полимеризация осуществляется в полимеризаторах с охлаждением.

Оценивали коллоидно-химические свойства латексов: сухой остаток (ГОСТ 25709-83 (СТ СЭВ 3669-82), с применением инфракрасного влагомера Sartorius MA35), поверхностное натяжение (ГОСТ 20216-74), показатель водородных ионов pH (ГОСТ 28655-90), средний размер частиц и ζ -потенциал (с помощью анализатора размеров частиц ZetasizerNano фирмы MALVERN).

Выводы о структуре полимеров латексов делали на основании результатов определения вязкости по Муни (ГОСТ Р 54552-2011) и жесткости по Дефо (ГОСТ 10201-75). Свойства синтезированных латексов приведены в таблице 1.

Для формирования представления о пленкообразовании латексов оценивали стадию полимерного геля с помощью лаборатор-

ной методики определения эластичности «сырого» геля латекса (измерение удлинения пленки геля при постоянной скорости), так как на этом этапе происходит деформация агрегатов глобул - превращение капиллярной структуры в пленку, в которой локальные контакты между частицами переходят в сплошное соединение по всей их периферии, но всё ещё содержащих капиллярную воду.

Таблица 1. Коллоидно-химические и технологические свойства латексов

Table 1. Colloid-chemical and technological properties of latexes

Шифр латекса / The latex cipher	ИН	БН	БВН	ВЛ
Сухой остаток латекса, % масс. / Dry latex residue, % by weight.	45,0	40,0	43,0	35,0
Поверхностное натяжение, мН/м / Surface tension, mN/m	41,0	41,0	41,0	53,0
pH	9,0	8,8	9,0	3,7
Средний размер частиц, нм / Average particle size, nm	186,5	170,0	160,0	90,0
ζ-потенциал, мВ / ζ-potential, mV	-65	-69,0	-70,2	-61,0
Жесткость по Дефо, гс / Defoe stiffness, gs	900	1400	1000	-
Вязкость по Муни, МБ (1+4) 100 °С, усл. ед. / Mooney viscosity, МБ (1+4) 100 °С, standard units	37,0	41,0	27,0	-

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что процесс пленкообразования состоит из нескольких стадий, включающих концентрирование латекса в результате испарения воды, перехода низковязкой системы в капиллярную структуру и, за счет сил межмолекулярного притяжения, образование пленки полимера. На стадии сжатия промежуточного геля (синерезис) происходит деформирование и упорядочивание частиц, приводящие к образованию более-менее равномерной структуры недиспергируемой пленки геля, которая после процесса сушки за счет сил аутогезии образует гомогенную пленку.

Интерес представляло исследование влияния различных факторов на образование сырого геля латексов, так как величина данного показателя важна для предупреждения появления дефектов во время процесса сушки, и конечные структуру и свойства пленок.

В связи с этим исследовали закономерности влияния концентрации латекса на параметры геля и пленок для гетерополимерных латексов, синтезированных с использованием одного и того же затравочного латекса (ВЛ) с привлечением методики определения эластичности сырого геля. Так как в ядре частиц этих латексов находятся разные сополимеры, то по

их способности к пленкообразованию можно предположить о влиянии оболочки частиц на свойства геля и пленок [9].

Помимо измерения эластичности сырого геля (рисунок 1) при различных концентрациях латексов определялась толщина сухой пленки (рисунок 2), массовая доля сухого вещества геля (рисунок 3) и его толщина (рисунок 4).

Установлено, что степень разбавления латексов значительно влияет на толщину конечных пленок. Отмечается нелинейная зависимость в изменении массовой доли сухого вещества в сыром геле.

Показано, что в случае бутадиен-нитрильного и бутадиен-винилиденхлорид-нитрильного латексов при низких концентрациях образуется пленка с большей толщиной и меньшей эластичностью сырого геля в отличие от образца изопрен-нитрильного латекса.

Таким образом, среди испытуемых образцов лучшей эластичностью сырого геля обладает изопрен-нитрильный латекс. Даже при низком содержании полимера в латексе (10% масс.), получалась достаточно низкая толщина пленки, поэтому с целью проведения более детальных исследований был выбран этот образец латекса.

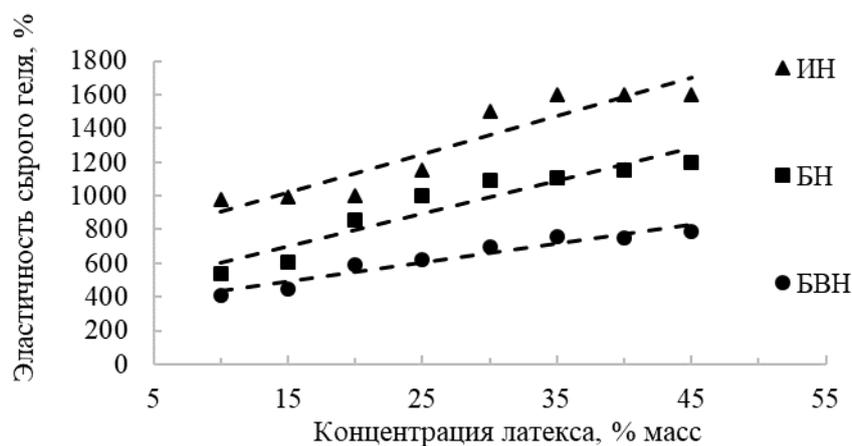


Рисунок 1. Зависимость эластичности сырого геля гетерополимерных латексов от природы и концентрации латексов

Figure 1. Dependence of crude gel elasticity of heteropolymer latexes on the nature and concentration of latexes

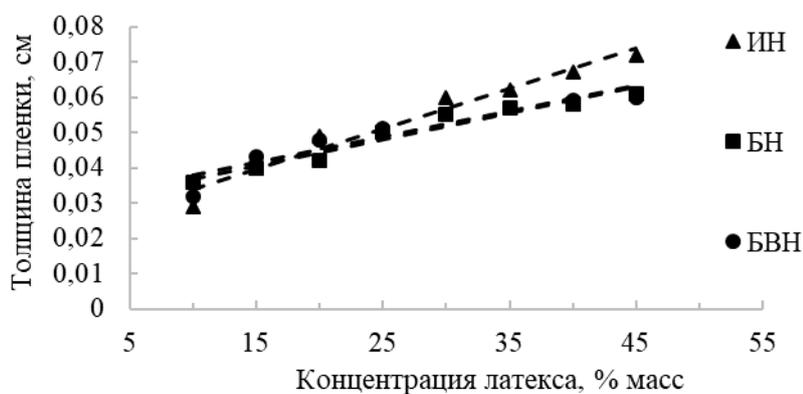


Рисунок 2. Зависимость толщины пленок гетерополимерных латексов от природы и концентрации латексов

Figure 2. Dependence of heteropolymer latex film thickness on the nature and concentration of latexes

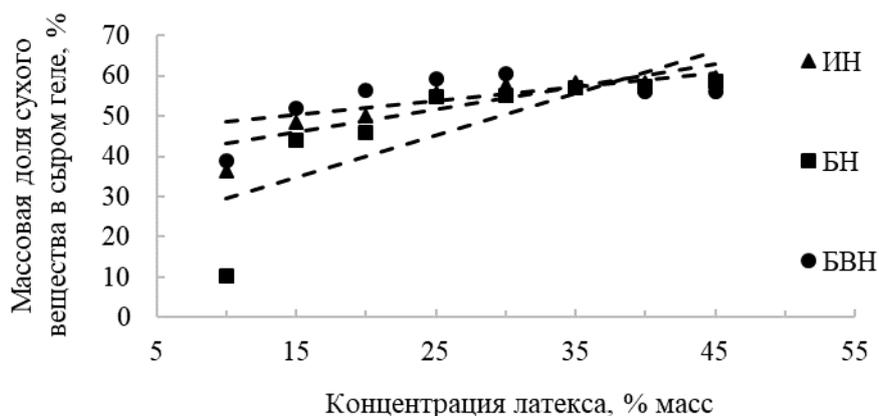


Рисунок 3. Зависимость массовой доли сухого вещества в сыром геле гетерополимерных латексов от природы и концентрации латексов

Figure 3. Dependence of the mass fraction of dry matter in the crude gel of heteropolymer latexes on the nature and concentration of latexes

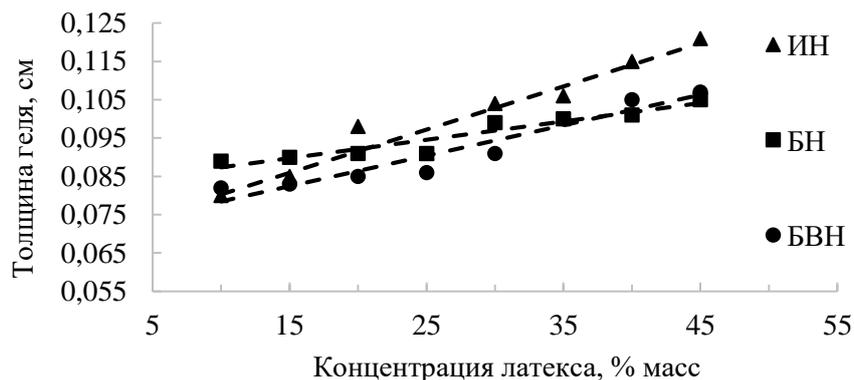


Рисунок 4. Зависимость толщины геля гетерополимерных латексов от природы и концентрации латексов

Figure 4. Dependence of gel thickness of heteropolymer latexes on the nature and concentration of latexes

Следующий этап работы заключался в исследовании влияния продолжительности ионного отложения на эластичность сырого геля, толщину геля и конечной пленки. Интерес представляли испытания на латексе с содержанием 10, 20 и 30 % масс. сухих веществ, так как при такой концентрации полимера сохранялись высокие показатели сырого геля. По методикам, описанным ранее, получали пленки, варьируя продолжительностью ионного отложения (рисунки 5-8).

Подтверждено, что с увеличением времени ионного отложения толщина конечной пленки монотонно возрастает, при этом снижается массовая доля сухого вещества в сыром геле. Это можно объяснить формированием более рыхлого геля, образование которого происходит за счет первоначального отложения плотной пленки на поверхности подложки, что снижает скорость диффузии ионов кальция в водную дисперсию полимера.

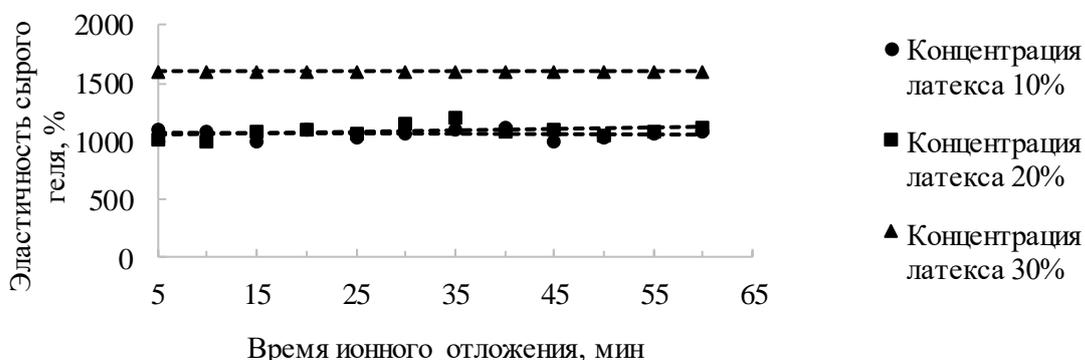


Рисунок 5. Кинетика изменения эластичности сырого геля изопрен-нитрильного латекса (ИН) по ходу ионного отложения при различных концентрациях латекса

Figure 5. Kinetics of change in elasticity of crude isoprene-nitrile latex (IN) gel along the course of ion deposition at different latex concentrations

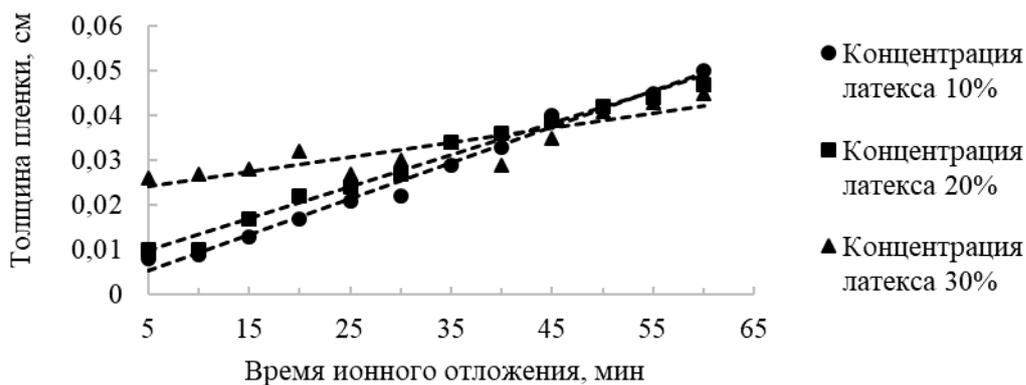


Рисунок 6. Кинетика изменения толщины пленки изопрен-нитрильного латекса (ИН) по ходу ионного отложения при различных концентрациях латекса

Figure 6. Kinetics of isoprene-nitrile latex (IN) film thickness change along the course of ion deposition at different latex concentrations

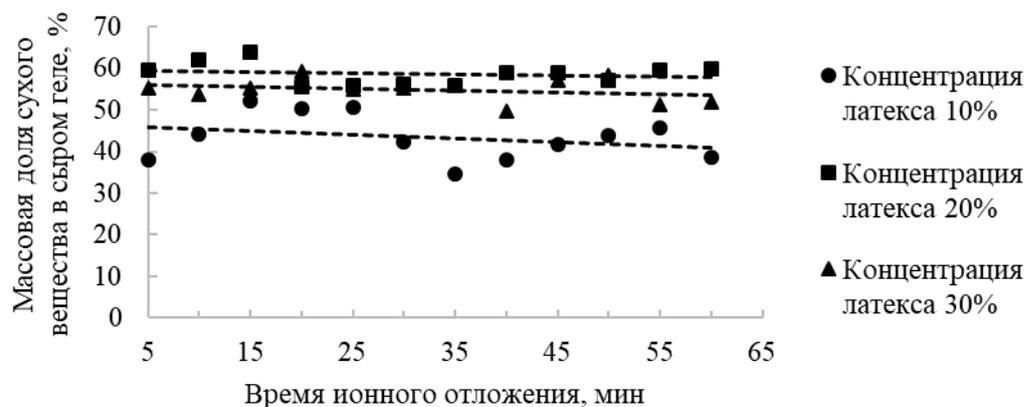


Рисунок 7. Кинетика изменения массовой доли сухого вещества в сыром геле изопрен-нитрильного латекса (ИН) по ходу ионного отложения при различных концентрациях латекса

Figure 7. Kinetics of the change in the mass fraction of dry matter in the crude gel of isoprene-nitrile latex (IN) along the course of ion deposition at different latex concentrations

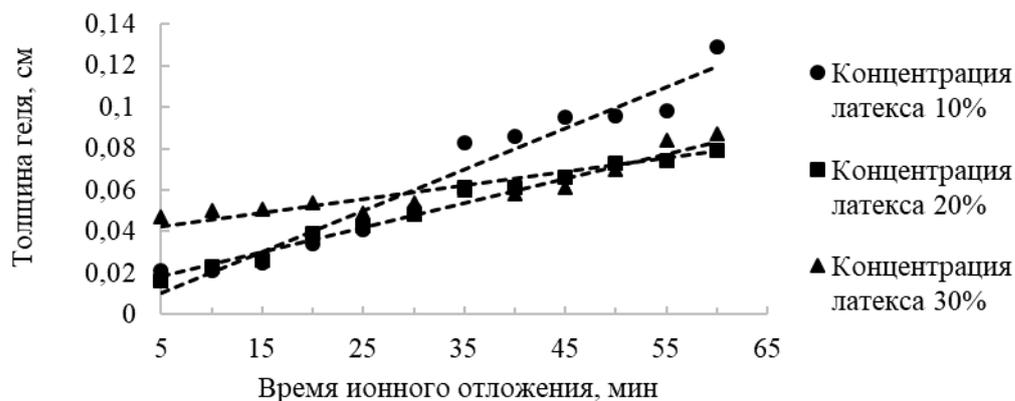


Рисунок 8. Кинетика изменения толщины сырого геля изопрен-нитрильного латекса (ИН) по ходу ионного отложения при различных концентрациях латекса

Figure 8. Kinetics of isoprene-nitrile latex (IN) crude gel thickness change along the course of ion deposition at different latex concentrations

С увеличением времени ионного отложения возрастает роль синерезиса, в течение которого происходит уменьшение поверхностной энергии, слипание глобул и, таким образом, стабилизируется толщина конечных пленок. Выявлена нелинейная зависимость толщины готовой пленки от продолжительности ионного отложения.

Далее изучалась последующая стадия - синерезис геля латекса ИН. Латексный гель получали ионным отложением из латекса с сухим остатком 45% масс., в течение 90 с. Синерезис пленок проводился в водной и воздушной среде в течение 100 мин. (рисунок 9).

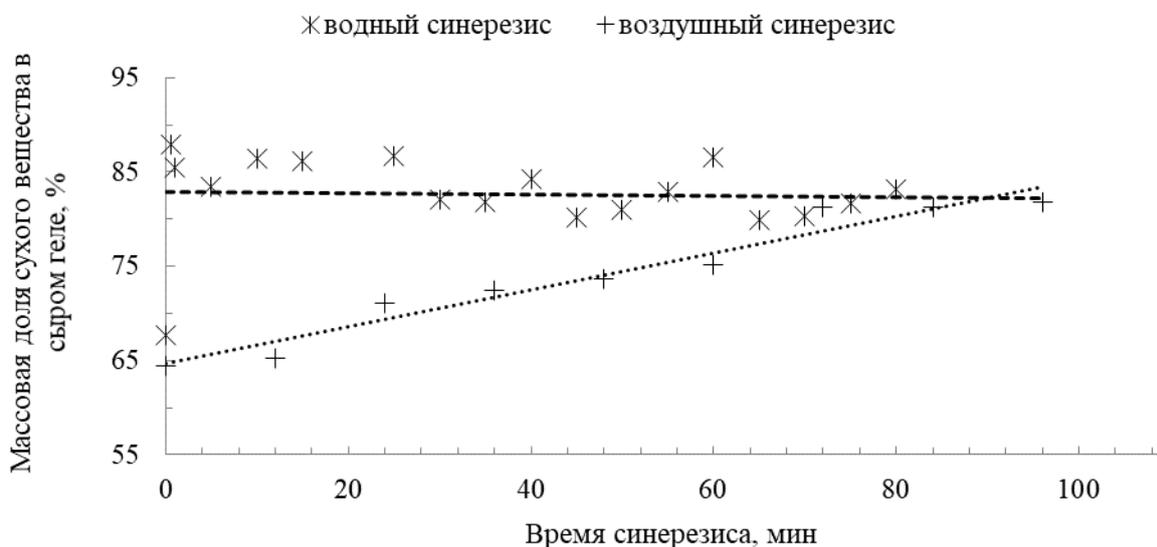


Рисунок 9. Кинетика синерезиса латексных гелей ИН в водной и воздушной среде

Figure 9. Syneresis kinetics of IN latex gels in aqueous and air environments

Показано, что водный синерезис эффективнее воздушного, так как с первых минут процесса достигается максимальное уплотнение частиц полимера, исходя из содержания сухого вещества в геле. По всей видимости, вода усиливает силы капиллярного давления, из-за которых происходит деформирование и образование гомогенной структуры пленки.

Отмечено, что повышение температуры положительно сказывается на водном синерезисе; происходит увеличение скорости движения молекул, ускоряющее процесс концентра-

ции геля и его отмывку от электролитов, эмульгаторов и других водорастворимых некаучуковых веществ, что нельзя сказать о воздушном синерезисе.

Изучили влияние адсорбционной насыщенности на эластичность сырого геля латекса. Данный параметр оценивали косвенно по величине поверхностного натяжения. Поверхностное натяжение снижали посредством введения эмульгатора алкилбензолсульфоната (сульфонола) в систему до практически 100% адсорбционной насыщенности (таблица 2).

Таблица 2. Влияние адсорбционной насыщенности глобул латекса ИН на эластичность сырого геля латекса

Table 2. Effect of adsorption saturation of latex IN globules on the elasticity of crude latex gel

Свойства / Features	Исходный / The original	Заправленный эмульгатором / Filled with emulsifier
Адсорбционная насыщенность, % / Adsorption saturation, %	60	100
Поверхностное натяжение, мН/м / Surface tension, mN/m	41,0	32,0
Эластичность сырого геля, % / Elasticity of the raw gel, %	1600	1600
Толщина геля, см / Gel thickness, cm	0,119	0,105
Толщина пленки, см / Film thickness, cm	0,074	0,069

Введение в латекс дополнительных порций эмульгатора не препятствует образованию сплошной прочной пленки, поэтому показан

уровень эластичности сырого геля остается на высоком уровне.

Превалирующую роль в коалесценции частиц принимает полимер ядра частицы, нежели оболочки. Данный вывод основан на исследовании эластичности сырого геля латекса, находящегося в оболочке частиц (ВЛ) при степени нейтрализации, используемой в процессе синтеза гетерополимерного латекса. Для сравнения в качестве нейтрализующих агентов использовались 2,5% масс. растворы гидроксида калия и водного раствора аммиака. Как видно по данным рисунка 10 сырой гель, по-

лучаемый из высококарбокислированного латекса, обладает очень высокой исходной эластичностью. При нейтрализации карбоксильных групп эластичность геля снижается, причем использование щелочи понижает исследуемый показатель в большей степени, чем использование аммиака. Это можно объяснить уменьшением плотности заряда на поверхности частиц, образованием менее гидратированных ионов, что позволяет получать более плотную и упорядоченную структуру геля.

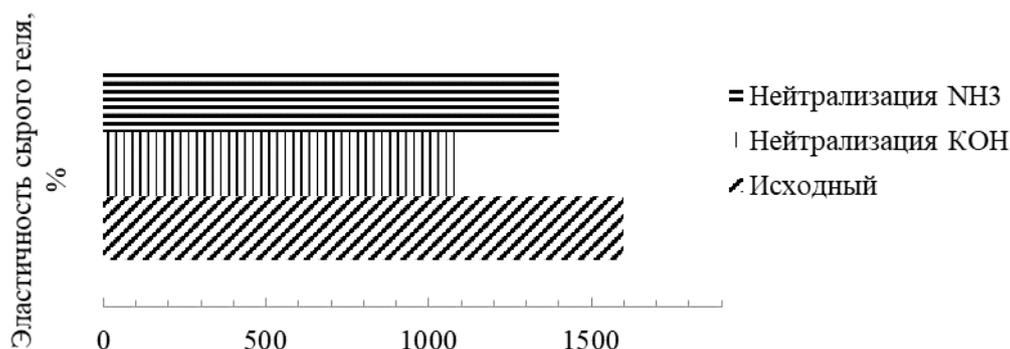


Рисунок 10. Зависимость эластичности сырого геля латекса ВЛ от природы нейтрализующего агента

Figure 10. Dependence of the elasticity of crude VL latex gel on the nature of the neutralizing agent

Выводы

Таким образом, для применения данных латексов в производстве рекомендуется следующее:

- при получении тонкостенных изделий с высокими физико-механическими показателями необходимо подобрать оптимальное соотношение концентрации латекса и продолжительности ионного отложения;
- подбор оптимальной температуры форм, фиксатора и латексной композиции при ионном отложении приводит к увеличению

скорости процесса, повышению количества отложившегося геля и тем самым получению бездефектных пленок;

- водный синерезис латексных пленок обеспечивает лучшее взаимопроникновение частиц и равномерную скорость усадки пленок без образования трещин;

- гетерополимерный карбокислированный изопрен-нитрильный латекс обладает наиболее оптимальным комплексом свойств среди исследованных латексов.

Литература

1. Гринфельд, Е. А. Состояние производства и направления исследований Воронежского филиала ФГУП "НИИСК" в области синтеза и модификации латексов / Е. А. Гринфельд // Каучук и резина. – 2009. – № 2. – С. 20.
2. Полимеризационные пленкообразователи/ Под ред. В. И. Елисеевой. - Москва: Химия, 1971. – 214 с.
3. Прокопчук Н. Р., Крутько Э. Т. Химия и технология пленкообразующих веществ:- Мн.: БГТУ, 2004. – 423 с.
4. Воюцкий С.С., Штарх Б.В. Физико-химия процессов образования пленок из дисперсий высокополимеров. - М., Гизлегпром, 1954. – 176 с.
5. Елисеева В.И., Чубарова А.В. Некоторые закономерности пленкообразования из водных дисперсий полимеров// Колл.журнал. - 1963, Т.25, №6 – 655 с.

6. Елисеева Л.А., Трофимович Д.П., Беляев О.Ф. Влияние условий формирования пленок из натурального латекса на их структуру и свойства// Каучук и резина -1974. -№ 6. - С. 16-17.
7. Пленкообразование из латексов: [Обзор] / С. А. Штейнберг, Ю. В. Грубман, В. В. Черная, М. И. Шепелев. - Москва: [б. и.], 1970. – 37 с.
8. Гринфельд, Е.А. Разработка новых латексов для изготовления гипоаллергенных медицинских перчаток / Е.А. Гринфельд, Л.К. Хватова, А.П. Один, Е.В. Галкина// Резиновая промышленность. Сырье, материалы, технология: Материалы 23-ой Российской научно-практической конференции. - М.: 2018. С.52.
9. Гринфельд Е.А., Хватова Л.К. Влияние условий получения латексов на их пленкообразование// в сб. «Резиновая промышленность, сырье, материалы, технологии» - Тезисы докладов XYIII Международной научно-практической конференции. М.: 2012 г. С.60.

References

1. Grinfeld, E. A. State of production and directions of research of the Voronezh branch of the FSUE "NIISK" in the field of synthesis and modification of latexes / E. A. Grinfeld // Rubber and Rubber. – 2009. – No. 2. – P. 20.
2. Polymerization film formers / Ed. V. I. Eliseeva. - Moscow: Chemistry, 1971. – 214 p.
3. Prokopchuk N. R., Krutko E. T. Chemistry and technology of film-forming substances:- Minsk: BSTU, 2004. - 423 с.
4. Voyutsky S.S., Shtarkh B.V. Physico-chemistry of the processes of film formation from dispersions of high polymers. - М., Gizlegprom, 1954. – 176 p.
5. Eliseeva V.I., Chubarova A.V. Some patterns of film formation from aqueous polymer dispersions // Coll. journal. - 1963, T. 25, No. 6 – 655 p.
6. Eliseeva L.A., Trofimovich D.P., Belyaev O.F. The influence of the conditions for the formation of films of natural latex on their structure and properties // Rubber and Rubber -1974. - No. 6. - P. 16-17.
7. Film formation from latexes: [Review] / S. A. Steinberg, Yu. V. Grubman, V. V. Chernaya, M. I. Shepelev. - Moscow: [b. i.], 1970. – 37 p.
8. Grinfeld, E.A. Development of new latexes for the manufacture of hypoallergenic medical gloves / E.A. Greenfeld, L.K. Khvatova, A.P. Odin, E.V. Galkin // Rubber industry. Raw materials, materials, technology: Materials of the 23rd Russian Scientific and Practical Conference. - М.: 2018. P.52.
9. Grinfeld E.A., Khvatova L.K. Influence of latex production conditions on their film formation // in collection. "Rubber industry, raw materials, materials, technologies" - Abstracts of the XYIII International Scientific and Practical Conference. М.: 2012, p. 60.

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Боголепова Ольга Владимировна	старший научный сотрудник, ВФ ФГБУ «Научно-исследовательский институт синтетического каучука» им. академика С.В. Лебедева / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», аспирант кафедры Технологии органических соединений и переработки полимеров, helgabogolepowa@rambler.ru ORCID 0000-0001-5174-5609
Седых Валерий Александрович	к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор кафедры Технологии органических соединений и переработки полимеров, cdxva@mail.ru ORCID 0000-0003-1054-6552
Гринфельд Евгений Александрович	к.х.н., ВФ ФГБУ «Научно-исследовательский институт синтетического каучука» им. академика С.В. Лебедева, заведующий лабораторией синтетических латексов, latexes@mail.ru ORCID 0000-0003-0042-7322

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>)
Bogolepova Olga Vladimirovna	Senior Researcher, Voronezh Department of the S.V. Lebedev Institute for Synthetic Rubber / Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», graduate student of the Department of Technology of Organic Compounds and Polymer Processing, helqabogolepowa@rambler.ru ORCID 0000-0001-5174-5609
Sedykh Valery Aleksandrovich	Ph.D., Associate Professor, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», Professor of the Department of Technology of Organic Compounds and Polymer Processing, cdxva@mail.ru ORCID 0000-0003-1054-6552
Grinfeld Evgeniy Aleksandrovich	Ph.D., Voronezh Department of the S.V. Lebedev Institute for Synthetic Rubber, head of the synthetic latex laboratory, latexes@mail.ru ORCID 0000-0003-0042-7322

статья поступила в редакцию 08.09.2023	одобрена после рецензирования 20.09.2023	принята к публикации 29.09.2023
the article was submitted 08.09.2023	approved after reviewing 20.09.2023	accepted for publication 29.09.2023

БЕССОЛЕВОЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАТИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ

Елена Васильевна Чурилина✉	1	churilina1978@mail.ru
Сергей Саввович Никулин	1	nikulin.nikuli@yandex.ru
Геннадий Валентинович Шаталов	1	qvshatalov@gmail.com

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

Аннотация. Показана возможность применения сополимеров N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний хлорида с малеиновой кислотой и акриламидом в процессах выделения из латексов бутадиен-стирольных каучуков. Исследовано влияние расхода данных катионных полимеров и температуры на полноту выделения каучука. Вулканизаты, полученные на основе каучуков, выделенных с применением сополимеров, соответствуют требованиям ГОСТ 15627-2019.

Ключевые слова: латекс, сополимеры на основе N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний хлорида, коагуляция, каучук.

Для цитирования: Чурилина Е. В., Никулин С. С., Шаталов Г. В. Бессолевогой метод выделения эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков с применением катионных сополимеров. // Инженерные технологии. 2023. №3. С. 69-74.

Original article

SALT-FREE METHOD FOR THE ISOLATION OF EMULSION BUTADIENE-STYRENE RUBBERS USING CATIONIC COPOLYMERS

Elena V. Churilina✉	1	churilina1978@mail.ru
Sergey S. Nikulin	1	nikulin.nikuli@yandex.ru
Gennady V. Shatalov	1	qvshatalov@gmail.com

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

Abstract. The possibility of using copolymers of N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride with maleic acid and acrylamide in the processes of separating styrene-butadiene rubbers from latexes has been shown. The effect of the consumption of these cationic polymers and temperature on the completeness of rubber separation was studied. Vulcanizates obtained from rubbers isolated using copolymers meet the requirements of State Standard GOST 15627-2019.

Keywords: latex, copolymers based on N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride, coagulation, rubber

For citation: Churilina E. V., Nikulin S. S., Shatalov G. V. Salt-free method for the isolation of emulsion butadiene-styrene rubbers using cationic copolymers. *Ingenerynye tehnologii = Engineering technologies*. 2023; (3): 69-74. (In Russ.).

Введение

В производстве синтетических каучуков основным остается бутадиен-стирольный каучук (эмульсионной и растворной полимеризации) благодаря своим прикладным свойствам. Шинная промышленность является самым крупным потребителем этого продукта [1]. Производство эмульсионных каучуков оказывает отрицательное влияние на окружающую среду, при этом основные отходы получаются на стадии их выделения [2]. Улучшение экологических показателей данной стадии технологического процесса возможно за счет применения полимерных азотсодержащих флокулянтов. Среди которых повышенное внимание заслуживают полимеры на основе N,N-диметил-

N,N-диаллиламмонийхлорида (ДМДААХ). Гомополимер поли-N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний хлорид (известный в промышленности под торговой маркой ВПК-402) успешно применяют для выделения каучуков из бутадиенового, бутадиен-стирольного и натурального латексов [3]. Однако широкое применение ВПК-402 в технологических процессах сдерживает высокая стоимость данного продукта. Использование в сополимеризации акриламида (АА) и малеиновой кислоты (МК), являющихся продуктами многотоннажного производства и недорогим сырьем для синтеза, расширяет спектр практически важных свойств продуктов на основе ДМДААХ. Известно [4], что полимеры и сополимеры АА обладают высокой флокулирующей спо-

способностью и широко используются в различных областях техники и технологии в основном для очистки природных и сточных вод. Кроме того, добавление звеньев МК, содержащей СООН -группы, изменяет плотность заряда макроцепи за счет появления отрицательных зарядов, что изменит флокулирующую способность полученных сополимеров.

Цель работы – исследование процесса выделения каучука СКС–30АРК из латексов катионными сополимерами с разной плотностью заряда.

Экспериментальная часть

Изучение процессов коагуляции проводили на образце латекса бутадиен-стирольного каучука СКС-30АРК (АО «Воронежсинтезкаучук»), имеющего следующие характеристики: сухой остаток - 20,4 мас. %, рН – 9,3, средний радиус частиц – 50,8 нм, поверхностное натяжение – 61,3 мН/м.

Применяемые в работе коагулянты – сополимеры N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний с АА (СААДМДААХ) и с МК (СМКДМДААХ) синтезировали методом свободно-радикальной сополимеризации в водном растворе в условиях термоинициирования (60 °С) в присутствии инициатора персульфата калия. Выделенные с помощью осадителя – ацетона продукты совместной полимеризации высушивали при 60–65°С в вакуумном сушильном шкафу.

Содержание звеньев ДМДААХ в сополимерах СААДМДААХ и СМКДМДААХ определяли аргентометрическим методом по методике, описанной в работе [5].

Процесс коагуляции проводили по методике, описанной в работе [6] при 20, 40 и 60 ± 1 °С. Гравиметрическим методом оценивали эффективность флокулирующего действия исследуемых полимеров по результатам взвешивания образующейся крошки каучука, предварительно промытой теплой водой и высушенной при 80-85 °С до постоянной массы. Определение вязкости по Муни каучука и других физико-механических показателей вулканизатов осуществляли согласно требованиям ГОСТ 15627-2019 (Межгосударственный стандарт. Каучуки синтетические бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРК и бутадиен-стирольный СКС-30АРК). Эти показатели сравнивали с величинами, характерными для образца, выделенного с помощью хлорида натрия [7] по традиционной технологии.

Результаты и их обсуждение

Сравнительная оценка эффективности флокулирующего действия исследованных сополимеров представлена в таблице 1. Видно, что с повышением расхода катионных полимерных коагулянтов выход образующейся крошки каучука закономерно возрастает и достигает максимальной величины, соответствующей полной коагуляции при расходе 0,3 кг на тонну каучука и 0,5-1,0 кг/т каучука для СМКДМДААХ и СААДМДААХ соответственно. Эффективность действия данных сополимеров в 5 раз больше по сравнению с промышленным ВПК-402 [8] и в 250 раз превосходит NaCl.

Падение агрегативной устойчивости системы происходит за счет нейтрализации отрицательного заряда частиц латекса катионными группами коагулянта, в результате которой происходит снижение потенциального барьера электростатического отталкивания частиц, что является главным фактором действия исследуемых сополимеров, содержащих заряженные звенья в процессе коагуляции латексов. Наличие заряда у аллильного мономера, препятствующего присоединению однопольных звеньев к растущему макрорадикалу обуславливает его меньшую активность по сравнению с акриламидом, на что указывают значения их констант сополимеризации [9], поэтому продукты обогащены звеньями АА во всем интервале составов смеси сомономеров. Сопolíмеры СМКДМДААХ в отличие от системы с акриламидом имеют в строении большее количество катионных групп (0,62 мол.доли), поскольку аллильный сомономер является более активным [10]. Действие нейтрализационного фактора дестабилизации латекса усиливается с увеличением количества катионактивных групп в макроцепях, что обуславливает меньший расход сополимера со звеньями МК.

Одним из производственных факторов, влияющим на полноту выделения каучука из латекса является температура. В работе установлено (рисунок 1), что при увеличении температуры не наблюдается существенного изменения в эффективности выделения каучука из латекса сополимером СМКДМДААХ, особенно при расходах соответствующих полной коагуляции.

Таблица 1. Влияние расхода катионных сополимеров на полноту выделения каучука из латекса
 Table 1. The effect of the consumption of cationic copolymers on the completeness of the separation of rubber from latex

Вид коагулянта / Type of coagulant	СААДМДААХ (0,35 мол.доли катионных звеньев) / SAADMDAАН (0.35 mol.fractions of cationic units)					
Расход коагулянта, кг/т каучука / Coagulant consumption, kg/t of rubber	0	0,3	0,5	1	1,5	2,5
Выход коагулюма, % / Coagulum output, %	49	91,0	95,8	94,7	96,6	-
Оценка полноты коагуляции / Assessment of the completeness of coagulation	Кнп	кнп	кп	кп	кп	-
Вид коагулянта / Type of coagulant	СААДМДААХ (0,22 мол.доли катионных звеньев) / SAADMDAАН (0.22 mol.fractions of cationic units)					
Расход коагулянта, кг/т каучука / Coagulant consumption, kg/t of rubber	0	0,3	0,5	1	1,5	2,5
Выход коагулюма, % / Coagulum output, %	49	90,2	88,3	95,2	95,4	-
Оценка полноты коагуляции / Assessment of the completeness of coagulation	Кнп	кнп	кнп	кп	кп	-
Вид коагулянта / Type of coagulant	СМКДМДААХ (0,62 мол. доли катионных звеньев) / SMKDMAАН (0.62 mol. fraction of cationic units)					
Расход коагулянта, кг/т каучука / Coagulant consumption, kg/t of rubber	0	0,1	0,2	0,3	0,6	1,5
Выход коагулюма, % / Coagulum output, %	49	63,6	90,8	98,0	97,6	96,2
Оценка полноты коагуляции / Assessment of the completeness of coagulation	Кнп	кнп	кнп	кп	кп	кп

Примечание. Расход серной кислоты 15 кг/т каучука; pH водной фазы (серума) 2,8-3,0; кнп – коагуляция неполная; кп – коагуляция полная

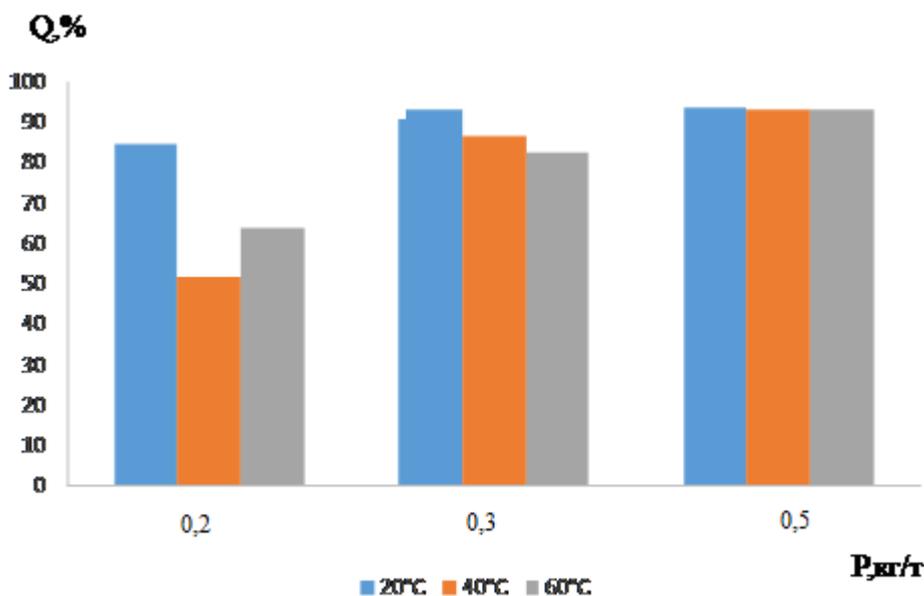


Рисунок 1. Влияние температуры на выход выделенного полимера Q из латекса SKS-30ARK от концентрации сополимера СМКДМДААХ

Figure 1. The effect of temperature on the yield of the isolated polymer Q from latex SKS-30ARK on the concentration of the copolymer SMKDMAАН

Это связано, по-видимому, с тем, что после образования нерастворимых недиссоциирующих ионно-солевых комплексов за счет взаимодействия всех отрицательно заряженных частиц, содержащихся в эмульсионной

системе, концентрация коагулянта перестает изменяться с повышением температуры.

Техническая ценность каучуков описывается их физико-механическими свойствами и получаемых на их основе вулканизатов.

Поскольку продукты взаимодействия сополимеров с эмульгатором латекса остаются в каучуке, необходимо изучение их влияния на физико-механические свойства получаемых каучуков, резиновых смесей и вулканизатов. Ис-

пытания проводили в сравнении с образцом, выделенным по традиционной технологии с помощью NaCl, выступающим для сравнения (таблица 2).

Таблица 2. Физико-механические показатели резиновых смесей и вулканизатов на основе каучука
Table 2. Physical and mechanical properties of rubber compounds and vulcanizates based on rubber

Показатели / Indicators	Норма ГОСТ 15627-2019 / Standard GOST 15627-2019	Контроль-ный образец [7] / Control sample [7]	Экспериментальный образец (коагулянт СААДМДААХ) / Experimental sample (coagulant SAADMDAАН)
Вязкость по Муни / Mooney viscosity	45-58	52,0	55,0
Пластичность по Карперу / Carrer plasticity	–	0,34	0,30
Условная прочность при растяжении, Мпа / Conditional tensile strength, МPa	не менее 22,5	22,3	24,0
Относительное удлинение при разрыве, % / Elongation at break, %	не менее 420	550	560
Относительная остаточная деформация, % / Relative residual deformation, %	не больше 20	14	12

Найдено, что в случае использования исследуемых катионных сополимеров не отмечается ухудшения качества вулканизатов и их показатели согласуются с данными для каучуков, полученных с применением известных промышленных коагулянтов, в том числе и с хлоридом натрия.

Выводы

Применение сополимеров N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний хлорида с акриламидом

и малеиновой кислотой в технологии выделения каучука из латексов выгодно с экономической точки зрения, так как позволяет повысить эффективность их коагулирующего действия в 100–200 раз по сравнению с неорганическими солями и на 25 % по сравнению с гомополимером ВПК-402. Изменение температуры существенно не влияет на выход образующейся крошки каучука.

Литература

1. Папков В.Н., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж, 2015. 315 с.
2. Тезикова С.Л. Охрана окружающей среды при производстве синтетического каучука // Каучук и резина. 2020. Т. 79. № 4. С. 204-210. EDN: RUNRFG
3. Фам К.Д., Гайдадин А.Н., Горковенко Д.А., Навроцкий В.А. Коагуляция латексов натурального каучука и поливинилхлорида // Журнал прикладной химии. 2018. Т.91. № 2. С. 273-278. EDN:YRVMSI
4. Давлюд Д.Н., Воробьева Е.В., Лаевская Е.В., Чередниченко Д.В., Воробьев П.Д. Флокулирующие и гидродинамические свойства солевых растворов акриламидных полимеров // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92. № 8. С. 1043-1050.
5. Abdiyev K.Zh., Toktarbay Zh., Zhenissova A. Zh., Zhursumbaeva M.B., Kainazarova R. N., Nuraje N. The new effective flocculants – copolymers of N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride and N,N-dimethylacrylamide // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2015. V. 480. P. 228-235 <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.04.025>.
6. Чурилина Е.В., Никулин С.С., Шаталов Г.В., Вережников В.Н., Сергеев М.В. Коагулирующая способность сополимеров на основе N,N-диаллил-N,N-диметиламмонийхлорида в процессах выделения каучуков разных марок // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 63. Вып 1. С. 53-59.

7. Никулин С.С., Пояркова Т.Н., Мисин В.М. Перспектива применения сополимера N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида с акриламидом в производстве бутадиен-стирольного каучука // Журнал прикладной химии. 2011. Т. 84. № 5. С. 853-858. EDN: OHFQFR
8. Никулина Н.С., Пугачева И.Н., Мисин В.М., Санникова Н.Ю., Вережников В.Н., Никулин С.С. Выделение бутадиен-стирольного каучука из латекса гибридным коагулянтном на основе полидиметилдиаллиламмоний хлорида и вискозного волокна // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64. № 6. С. 62-68.
9. Воробьева А.И., Прочухан Ю.А., Монаков Ю.Б. Аллиловые соединения в реакциях радикальной полимеризации // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2003. Т. 45. № 12. С. 2118-2136. EDN: ONPUXT
10. Воробьева А.И., Сагитова Д.Р., Колесов С.В., Монаков Ю.Б. Радикальная сополимеризация N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорида и малеиновой кислоты в растворителях различной природы // Журнал прикладной химии. 2009. Т.82. № 6. С. 989-994. EDN: WKHYGT <https://elibrary.ru/item.asp?id=44518017>

References

1. Papkov, V.N., Rivin, E.M., Blinov, E.V. Butadien-stirol'nye kauchuki. Sintez i svoistva (Styrene-Butadiene Rubbers. Synthesis and Properties), Voronezh: Izd. VGUIT, 2015. (in Russian).
2. Tesikova S.L. Ecological Problems of Synthetic Rubber Production // Kauchuk i rezina. 2020. V.79. N. 4. P. 204-210. (in Russian).
3. Pham Kim Dao, Gaidadin A.N., Gorkovenko D.A., Navrotskiy V.A. Coagulation of Natural Rubber and Polyvinyl Chloride Latices // Russian Journal of Applied Chemistry. 2018. V. 91. N 2. P. 320-324. <https://doi.org/10.1134/S1070427218020234>.
4. Davlyud D.N., Vorob'eva E.V., Laevskaya E.V., Cherednichenko D.V., Vorob'ev P.D. Flocculating and hydrodynamic properties of aqueous-salt solutions of acrylamide polymers // Russian Journal of Applied Chemistry. 2019. V. 92. N. 8. P. 1135-1142.
5. Abdiyev K.Zh., Toktarbay Zh., Zhenissova A. Zh., Zhursumbaeva M.B., Kainazarova R. N., Nuraje N. The new effective flocculants – copolymers of N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride and N,N-dimethylacrylamide // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2015. V. 480. P. 228-235 <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.04.025>.
6. Churilina, E.V., Nikulin, S.S., Verezhnikov, V.N. et al. Coagulating Ability of N,N-Diallyl-N,N-dimethylammonium Chloride-based Copolymers in the Separation of Rubbers of Various Grades // Russian Journal of Applied Chemistry. 2023. V. 96. N. 1. P. 44-49. <https://doi.org/10.1134/S107042722301007X>
7. Nikulin S.S., Poyarkova T.N., Misin V.M. Prospects for using the copolymer of N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride with acrylamide in production of butadiene-styrene rubber // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. V. 84. No. 5. P. 882-887. <https://doi.org/10.1134/S1070427211050247>.
8. Nikulina N.S., Pugacheva I.N., Misin V.M., Sannikova N.Yu., Verezhnikov V.N., Nikulin S.S. Extraction of rubber from latex by hybrid coagulant based on polydimethyldiallylammonium chloride and viscose fiber. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.] 2021. V. 64. N.6. P.62-68. (in Russian).
9. Vorob'eva A.I., Prochukhan Yu.A, Monakov Yu.B. Free-radical polymerization of allyl compounds // Polymer Science. Series C. 2003. Vol. 45. N 1. P. 1-6.
10. Vorob'eva A.I., Sagitova D.R., Kolesov S. V., Monakov Yu.B. Radical copolymerization of N,N-diallyl-N,N-dimethylammonium chloride and maleic acid in various solvents // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. V. 82. N 6. P. 1046-1051. <https://doi.org/10.1134/S1070427209060226>

Сведения об авторах

ФИО	Сведения (ученая степень, звание, Email, ORCID(при наличии) и другие международные идентификационные номера авторов)
Чурилина Елена Васильевна	к.х.н., доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», доцент кафедры Технологии органических соединений и переработки полимеров, churilina1978@mail.ru ORCID 0000-0002-7267-2215
Никулин Сергей Саввович	д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор кафедры Технологии органических соединений и переработки полимеров, nikulin.nikuli@yandex.ru ORCID 0000-0002-8141-8008
Шаталов Геннадий Валентинович	д.х.н., профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», член Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.24.2.287.03, gvshatalov@gmail.com ORCID 0000-0002-1865-4032

Authors information

Last name, first name, patronymic	Information (academic degree, title, Email, ORCID (if available) and other international identification numbers of the authors)
Churilina Elena Vasilyevna	PhD, Assistant professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Associate Professor of the Department of Technology of Organic Compounds and Polymer Processing, churilina1978@mail.ru ORCID 0000-0002-7267-2215
Nikuln Sergey Savvovich	DSc, Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Professor of the Department of Technology of Organic Compounds and Polymer Processing, nikulin.nikuli@yandex.ru ORCID 0000-0002-8141-8008
Shatalov Gennady Valentinovich	DSc, Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Member of the Council for the Defense of Doctoral and Candidate Dissertations, 24.2287.03, gvshatalov@gmail.com ORCID 0000-0002-1865-4032

статья поступила в редакцию 11.09.2023	одобрена после рецензирования 22.09.2023	принята к публикации 28.09.2023
the article was submitted 11.09.2023	approved after reviewing 22.09.2023	accepted for publication 28.09.2023

