



ВЕСТНИК

2023

№ 3 (98)

САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-технический журнал



ВЕСТНИК

САРАТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

2023

№ 3 (98)

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.

Выходит один раз в квартал

Сентябрь 2023 года

Учредитель и Издатель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Главный редактор
д.т.н., профессор А.А. Игнатъев

Заместитель главного редактора
д.т.н., профессор Ю.Б. Томашевский

Ответственный секретарь
к.т.н., доцент И.В. Злобина

Технический секретарь
к.т.н., доцент Е.Е. Миргородская

Редакционная коллегия:
Д.т.н., проф. А.Н. Васин (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Д.ф.-м.н., проф. С.Б. Вениг (СНИГУ имени Н.Г. Чернышевского)
Д.х.н., проф. А.В. Гороховский (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Д.ф.-м.н., проф. М.В. Жигалов (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Д.т.н., проф. О.В. Захаров (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Д.т.н., проф. А.В. Королёв (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Д.т.н., проф. В.А. Кушников (СНЦ РАН)
Д.т.н., проф. Т.Г. Насад (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. А.Ф. Резчиков (ИПУ РАН)
Д.т.н., проф. И.В. Родионов (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Чл.-корр. РАО, д.т.н., проф. А.А. Сытник (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Д.т.н., проф. А.А. Фомин (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)
Д.т.н., проф. А.В. Яковлев (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

Редактор Л.А. Скворцова
Компьютерная верстка Т.В. Семеновой
Перевод на английский язык к.филол.н. А.Х. Аскаровой

Адрес Издателя и редакции:
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77, к. 25/615
Телефон: 8 (845-2) 99-86-38
E-mail: vestnik@sstu.ru

Подписано в печать 20.09.2023 Дата выхода в свет 27.09.2023
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 12,0 Уч.-изд. л. 4,0
Тираж 500 экз. Заказ 45 Цена свободная
Отпечатано в типографии Издательства СГТУ имени Гагарина Ю.А.
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Полная электронная версия журнала
размещена в системе РИНЦ
в открытом доступе на платформе
eLIBRARY.RU

**Подписной индекс ПК664 электронной версии Каталога
и Каталога интернет-подписки АО «Почта России»**

Свидетельство о регистрации средства массовой информации **ПИ № ФС 77-65155** от 28 марта 2016 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

ISSN 1999-8341

© Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю.А., 2023

VESTNIK

**SARATOV
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY**

2023

№ 3 (98)

Scientific Journal

Since 2003

Published quarterly

September 2023

Constitutor and Editor

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Editor-in-chief

Professor A.A. Ignatiev

Editor-in-chief assistant

Professor Yu.B. Tomashevsky

Executive secretary

PhD, Associate Professor I.V. Zlobina

Technical secretary

PhD, Associate Professor E.E. Mirgorodskaya

Editorial board:

Dr. Sc., Professor A.N. Vasin (SSTU)

Dr. Sc., Professor S.B. Venig (SSU)

Dr. Sc., Professor A.V. Gorokhovskiy (SSTU)

Dr. Sc., Professor M.V. Zhigalov (SSTU)

Dr. Sc., Professor O.V. Zakharov (SSTU)

Dr. Sc., Professor A.V. Korolev (SSTU)

Dr. Sc., Professor V.A. Kushnikov (Scientific center of RAS)

Dr. Sc., Professor T.G. Nasad (SSTU)

Corresponding member of RAS, Dr. Sc., Professor
A.F. Rezhnikov (ISP RAS)

Dr. Sc., Professor I.V. Rodionov (SSTU)

Corresponding member of RAE,

Dr. Sc., Professor A.A. Sytnik (SSTU)

Dr. Sc., Professor A.A. Fomin (SSTU)

Dr. Sc., Professor A.V. Yakovlev (SSTU)

Editor L.A. Skvortsova

Computer-based page-proof T.V. Semenova

Rendering: PhD (Philology) A.H. Askarova

Editorial office: 25/615 77, Politechnicheskaya Street
Saratov, 410054 Russia

Phone: +7 (845-2) 99-86-38

E-mail: vestnik@sstu.ru

Print date: 20.09.2023. Date of publication 27.09.2023

Format 60×84 1/8 Offset-Print

Conventional printed sheet 12,0 Publication base sheet 4,0

Circulation: 500 printed copies Order 45

Publisher and Editorial Address:

77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

Registration Certificate of mass media *PI № FS 77-65155* of
28 March 2016 issued by the Federal Service for Supervision of
Communications, Information Technology, and Mass Media

eLIBRARY.ru

**Subscription index IIK664 in the electronic version of the Catalog
and the Catalog of the Internet subscription of JSC «Russian Post»**

ISSN 1999-8341

© Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

- Безруков А.И, Голубев В.Д, Зилов И.Д., Лавринова В.В., Хворостухина Е.В.**
ПРИМЕНЕНИЕ ИГРОВОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИМУЛЯТОРА ЭКОСФЕРЫ 5
- Игнатьев А.А., Добряков В.А., Ревякин В.А.**
МИНИМИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
НА КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ
НА ПРЕЦИЗИОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТАНКАХ
НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА 20
- Трегубова Е.В., Ерюшев П.А., Кожанов Р.В., Миргородская Е.Е., Митяшин Н.П.**
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ С НЕЧЕТКИМИ ПАРАМЕТРАМИ 31
- Олейникова А.В., Олейников А.А.**
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КВОТИРОВАНИЯ ВЫЛОВА ВОДНЫХ
БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ..... 40

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Васин А.Н., Изнаиров Б.М., Решетникова О.П., Еременко В.С.**
КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ 56
- Гулиева Л.А., Кошуро В.А., Фомин А.А.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ ТИТАНОВЫХ БЛОКОВ МЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ
И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ИНДУКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ..... 67

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

- Ганиев И.Н., Зокиров Ф.Ш., Файзуллоев Р.Дж., Аминова Н.А.**
АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА
AlTi_{0.1}, МОДИФИЦИРОВАННОГО БАРИЕМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl..... 76
- Пулин В.Ф., Суринская Т.Ю., Рыжова Е.В., Пулин О.В., Элькин П.М.**
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
БОРАЗОТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРОВ..... 89

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATIONS

- Bezrukov A.I., Golubev V.D., Zilov I.D., Lavrinova V.V., Khvorostukhina E.V.**
APPLICATION OF GAME-BASED ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TO DEVELOP AN ECOSPHERE SIMULATOR 5
- Ignatiev A.A., Dobryakov V.A., Revyakin V.A.**
SYSTEM APPROACH USED TO MINIMIZE THE IMPACT OF OSCILLATIONS
ON MACHINING QUALITY OF PARTS BY PRECISION AUTOMATED MACHINES 20
- Tregubova E.V., Eryushev P.A., Kozhanov R.V., Mirgorodskaya E.E., Mityashin N.P.**
DEVELOPMENT OF AN OPTIMAL POWER DISTRIBUTION
ALGORITHM FOR A SMART GRID WITH FUZZY PARAMETERS 31
- Oleinikova A.V., Oleinikov A.A.**
IMPROVEMENT OF THE QUOTAS FOR CATCH OF AQUATIC BIOLOGICAL
RESOURCES BASED ON THE ONTOLOGICAL MODEL 40

MECHANICAL ENGINEERING

- Vasin A.N., Iznaïrov B.M., Reshetnikova O.P., Eremenko V.S.**
DESIGN VARIETIES OF WORK SUPPORTING MEANS
FOR CENTERLESS GRINDERS 56
- Gulieva L.A., Koshuro V.A., Fomin A.A.**
STUDY OF POROUS TITANIUM BLOCKS FOR MEDICAL PURPOSE, FORMED BY
THE ADDITIVE METHOD AND SUBSEQUENT INDUCTION THERMAL TREATMENT
INDUCTION THERMAL TREATMENT OF POROUS TITANIUM BLOCKS FOR
MEDICAL PURPOSE FORMED BY THE ADDITIVE METHOD 67

CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

- Ganiev I.N., Zokirov F.Sh., Faizulloev R.J., Aminova N.A.**
ANODE BEHAVIOR OF ALUMINUM CONDUCTOR ALLOY AlTi_{0.1} 6
MODIFIED WITH BARIUM IN A NaCl ELECTROLYTE MEDIUM 74
- Pulin V.F., Surinskaya T.Yu., Ryzhova E.V., Pulin O.V., Elkin P.M.**
QUANTUM CHEMICAL ANALYSIS PHYSICAL PARAMETERS OF
BORON-NITROGEN COMPOUNDS AND THEIR APPLICATION
TO INCREASE THE RESISTANCE OF POLYMERS 89

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 004.832.28

**А.И. Безруков, В.Д. Голубев, И.Д. Зилов,
В.В. Лавринова, Е.В. Хворостухина**

ПРИМЕНЕНИЕ ИГРОВОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИМУЛЯТОРА ЭКОСФЕРЫ

Аннотация. Данная статья описывает процесс разработки компонентов компьютерной игры с использованием игрового искусственного интеллекта. В статье рассматриваются различные аспекты разработки, включая выбор платформы, проектирование приложения, создание игровых механик и алгоритмов игрового искусственного интеллекта. Рассматриваются основные подходы, используемые в игровом искусственном интеллекте, такие как алгоритм на основе системы полезностей, конечные автоматы, нейронные сети и эволюционные алгоритмы. Описывается процесс создания и применения игрового искусственного интеллекта на основе алгоритма функции полезности и процедурная генерация интерфейса и ландшафта, а также возможности развития разрабатываемой платформы.

Ключевые слова: игровой искусственный интеллект, Unity 3D, разработка игровых приложений, функция полезности, конечные автоматы, нейронные сети, эволюционные алгоритмы, симулятор экосферы, процедурная генерация

**A.I. Bezrukov, V.D. Golubev, I.D. Zilov,
V.V. Lavrinova, E.V. Khvorostukhina**

APPLICATION OF GAME-BASED ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DEVELOP AN ECOSPHERE SIMULATOR

Abstract. This paper describes the process of developing components to a computer game using game-based artificial intelligence. The paper covers various aspects of the design, including platform selection, application design, creation of game mechanics, and

game-based artificial intelligence algorithms. The main approaches used in the game-based artificial intelligence are considered. They are the utility-based algorithm, finite state machines, neural networks, and evolutionary algorithms. In this paper, we describe the process of creating and applying game-based artificial intelligence using the utility function algorithm. We also use procedural interface and landscape generation techniques, as well as development of our applications.

Keywords: *game-based artificial intelligence, Unity 3D, game application development, utility function, finite state machines, neural networks, evolutionary algorithms, ecosystem simulator, procedural generation*

Введение

Игровой искусственный интеллект (AI) является одной из наиболее востребованных и быстрорастущих областей развития искусственного интеллекта [1-2]. Современные игры стали интерактивными и весьма реалистичными, причем последнее относится не только к их визуальному представлению, но и к поведению персонажей игры. Это, в свою очередь, ведет к необходимости совершенствования интеллекта и адаптивных возможностей игровых персонажей (противников для игроков). Кроме того, игровой AI также может использоваться для автоматизации создания уровней сложности, принятия персонажами решений и формирования игровых стратегий, позволяющих игрокам улучшить игровой опыт.

В настоящее время существуют различные методы и подходы для реализации игрового искусственного интеллекта. Некоторые из них включают использование алгоритмов поиска и планирования, машинного обучения, нейронных сетей, эволюционных алгоритмов и др.

В данной статье рассматриваются основные подходы и инструменты, которые авторы использовали для создания симулятора экосферы – игрового приложения, имитирующего поведение животных в реальной среде обитания, а также описана роль игрового AI в различных жанрах игр и рассмотрены некоторые проблемы и перспективы развития этой области.

1. Классификация подходов к созданию игрового искусственного интеллекта

В современном мире видеоигр и компьютерных игр искусственный интеллект (AI) играет ключевую роль в создании реалистичных и захватывающих игровых опытов. Существует множество подходов к созданию игрового AI, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. В этой статье мы рассмотрим несколько популярных подходов к построению игрового AI [1].

1.1. Алгоритмы на основе системы полезностей

Алгоритмы на основе системы полезностей (Utility-based AI) – это подход к созданию AI, который основан на принципе максимизации функции полезности. Рассмотрим ряд параметров, которые влияют на принятие решений AI, например здоровье персонажа, расстояние до цели, количество боеприпасов и т. д. AI использует их для вычисления функции полезности каждого действия, возможного в данных условиях, для конкретного персонажа.

Данный подход применяется в таких играх как RPG (*Role-Playing Game*) и стратегии в реальном времени, где AI, управляющий персонажем и сценарием игры, должен принимать множество решений на основе различных факторов, а сценарий игры не предусматривает мгновенной реакции персонажей (т. е. у AI есть время на выбор решения).

Однако этот подход будет менее эффективен в таких играх, где персонаж должен быстро принимать решения (например, в играх типа «стрелялки от первого лица»). В табл. 1 приведены примеры правил применения функции полезности для различных действий персонажа.

Таблица 1

Правила применения функции полезности для различных действий

Действие персонажа	Условия
Поиск помощи	Если видим противника и здоровье ниже среднего значения
Бегство	Если здоровье близко к нулю и не видим союзника
Атака	Если видим противника и здоровье равно максимуму
Патрулирование	Если противник не виден

1.2. Конечные автоматы

Конечные автоматы (Finite State Machines) – это подход к созданию AI, может использоваться в играх, эволюцию которых можно рассматривать как последовательность переходов между определенным (конечным) количеством состояний. Каждое состояние автомата соответствует конкретному действию персонажа, а переходы между состояниями определяются текущими условиями игры.

Например, если персонаж видит врага, то AI переводит его в состояние «атаки», а если здоровье персонажа упало до определенного уровня, то AI переводит персонажа в состояние «побега». При этом могут быть использованы модели недетерминированного или вероятностного автомата, что добавит в игру элемент неожиданности и сделает ее более реалистичной.

Данный подход применяется в играх, где AI должен принимать решения на основе небольшого количества переменных, а время на принятие решения сильно ограничено. Он может быть особенно эффективен в играх с простой механикой, таких как платформеры и аркады. На рис. 1 приведены примеры некоторых правил перехода персонажа из одного состояния в другое в зависимости от обстоятельств.

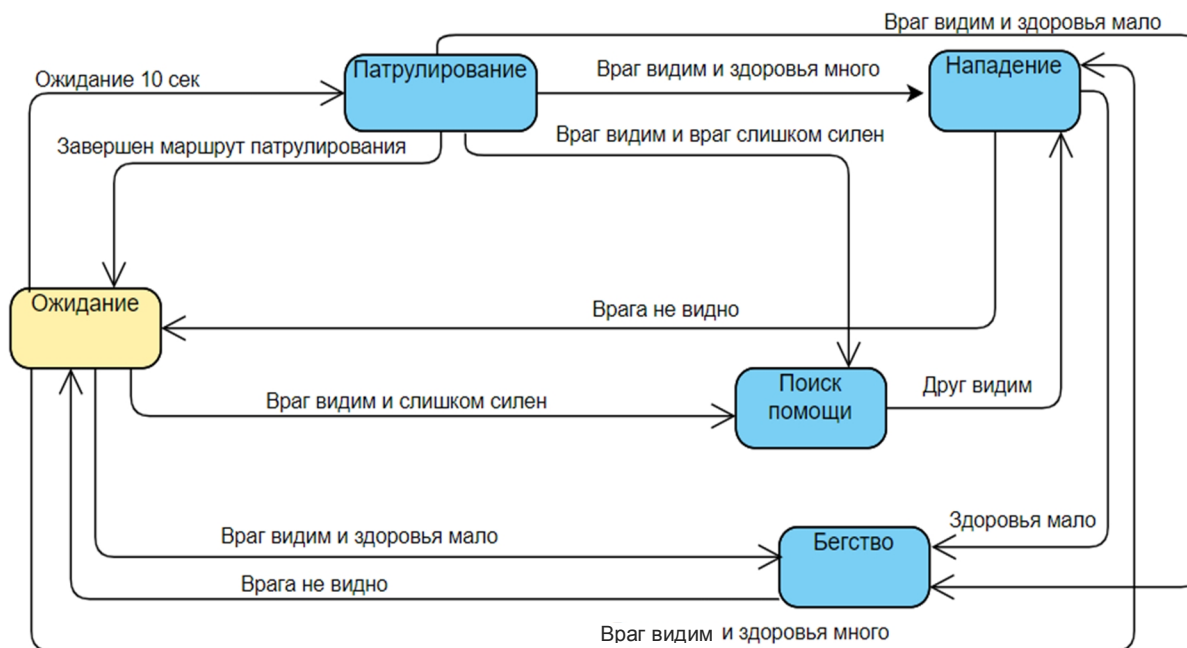


Рис. 1. Пример конечного автомата

1.3. Нейронные сети

Нейронные сети (Artificial Neural Networks) – это перспективный подход к созданию AI, который имитирует работу человеческого мозга, способного анализировать свой опыт и учиться. В играх нейронные сети могут использоваться для обучения AI, чтобы он мог улучшать свои навыки и стратегии на основе собственного опыта.

Так, например, игровой ИИ может проанализировать предыдущие атаки игрока и адаптировать свое поведение, блокируя комбинации, которые повторяет игрок. Это заставит игрока действовать более разнообразно и придумывать что-то новое. Например, в известной игре Mortal Combat (симулятор боев) если игрок использует один и тот же боевой приём несколько раз, то компьютер начинает его блокировать и контратаковать.

Однако нейронные сети имеют ряд недостатков, которые могут затруднить их использование для реализации игрового искусственного интеллекта. Один из них – это высокие требования к вычислительным ресурсам.

Нейронные сети требуют мощных аппаратных компонентов, таких как центральные процессоры или специализированные ускорители ИИ, больших объемов долговременной и оперативной памяти и определенной архитектуры аппаратного обеспечения. Кроме того, нейронные сети являются «черным ящиком», что может повлечь неожиданное поведение персонажей игры. Перед использованием нейронные сети должны быть обучены, что также накладывает дополнительные требования на разработку программы. Таким образом, нейронные сети – это мощный и перспективный инструмент при создании игрового AI, однако в некоторых ситуациях их возможности являются избыточными.

1.4. Эволюционные алгоритмы

Эволюционные алгоритмы – направление в ИИ, в котором при поиске наилучшего решения AI моделирует процессы биологической эволюции. Эти алгоритмы зачастую используются в задачах оптимизации, когда область допустимых решений имеет сложную структуру, поэтому классические методы оптимизации в таких случаях неприменимы. К этому классу алгоритмов, в частности, относится генетический алгоритм.

Суть метода выбора оптимальной стратегии поведения AI основана на использовании методов естественной эволюции (наследование, мутация, отбор и кроссинговер). Этот подход заключается в создании популяции решений с различными стратегиями и поведением и оценке их эффективности на основе выбранных разработчиком критериев.

Лучшие решения отбираются, и на их основе создаются новые популяции, наследующие комбинацию признаков лидеров с некоторыми изменениями (мутациями). Процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнута стратегия AI, близкая к оптимальной. Этот подход применяется в играх, где AI должен адаптироваться к сложным и изменяющимся условиям, таким как стратегии в реальном времени и симуляторы. Он может быть особенно полезен в играх, где трудно определить оптимальную стратегию другими методами. В реальных играх, как правило, используются различные комбинации описанных подходов. Далее мы рассмотрим возможности применения метода вычисления функции полезности для создания AI, управляющего персонажами симулятора экосферы.

2. Разработка симулятора экосферы

Покажем пример реализации игрового AI на примере симулятора экосферы, который представляет собой модель природной среды, в которой проживают и взаимодей-

Информационные технологии и телекоммуникации

ствуют два вида животных (волки и овцы) и произрастают растения. Перечислим основные функциональные требования к приложению:

- в игре должны быть два типа персонажей, управляемых AI;
- игра должна эмулировать поведение и взаимодействие животных в реальной среде;
- пользователь имеет инструменты для влияния на данную экосферу, но и сама экосфера развивается по своим правилам;
- игра должна быть с 3D-графикой;
- камера игры должна поддерживать масштабирование, повороты и движение;
- в начале игры Карта местности должна создаваться алгоритмом процедурной генерации.

2.1. Инструментальные средства

Существует множество инструментальных средств, которые можно использовать для реализации игрового AI. Перечислим наиболее популярные из них.

Unity – это один из самых популярных игровых движков, который включает инструменты для создания игрового AI.

Например, в Unity есть инструменты для создания искусственного интеллекта, такие как MLAgents [2-3], которые в своей основе используют технологию machine learning [4, 5], управляющую поведением персонажей, а также предоставляют возможности для создания и обучения нейронных сетей.

Unreal Engine – это другой популярный игровой движок, который имеет инструменты для создания игрового AI. Unreal Engine включает функции для реализации простых и сложных поведений AI, включая поддержку нейронных сетей.

Это лишь некоторые примеры инструментальных средств, которые можно использовать для реализации игрового AI. В зависимости от конкретной игры и ее требований могут потребоваться другие инструменты и технологии.

В качестве инструментального средства для решения рассматриваемой задачи был выбран движок Unity, так как он прост в использовании, а также предоставляет все необходимые ресурсы для создания игры разработчику. Для разработки используется универсальный язык программирования C#.

2.2. Программная реализация

В качестве подхода для реализации игрового AI был выбран алгоритм функции полезности. Приведем основные правила, которые в нём используются (табл. 2).

Правила, используемые для реализации алгоритма полезности

Действие	Условие полезности
Есть (питаться)	Уровень голода достигает 3; видима еда
Убегать	Видим противник
Искать еду	Уровень голода больше 0; еда невидима
Исследовать местность	Уровень голода равен 0
Размножаться	Уровень голода равен 0, есть такая же особь в пределах видимости

Для реализации симулятора экосферы, а именно игрового приложения, моделирующего взаимоотношения животных в реальном мире, необходимо построить диаграмму классов, которая будет описывать основные характеристики и действия животных (см. рис. 2).

Для реализации алгоритма полезности в симуляторе экосферы необходимо выполнить следующие шаги.

1. Определить список возможных действий, которые может совершить животное в экосфере, например поиск еды, поиск воды, охота, размножение и т. д.

2. Определить критерии, на основе которых будет оцениваться полезность каждого действия. В качестве критериев будем использовать следующие факторы: количество получаемых ресурсов, время, затрачиваемое на выполнение действия, риск потери здоровья или жизни персонажа и т. д.

3. Задать вес каждого критерия для всех животных, в каждой ситуации и для каждого действия, чтобы определить относительную важность данного фактора при выборе действия. В процессе использования приложения веса могут уточняться.

4. Программно реализовать функцию, которая будет вычислять полезность каждого действия на основе заданных критериев и их весов. Полезность будем считать равной сумме произведений входных весов для конкретных сущностей и коэффициентов, зависящих от внутренних модификаторов действия (сложившихся обстоятельств). Действие с наибольшей полезностью будет выбрано для выполнения.

На рис. 3 представлена структура классов, реализующих алгоритм полезности. Сначала создается класс Action, который содержит значения для каждого критерия (ресурсы, время, риск) и метод GetUtility, вычисляющий полезность действия на основе весов каждого критерия.

Возможны различные варианты реализации классов, наследуемых от класса Action. В нашем случае класс EatAction наследует Action и имеет свои дополнительные поля, которые характеризуют конкретное действие. Метод GetUtility переопределен в

Информационные технологии и телекоммуникации

каждом классе, чтобы учитывать дополнительные поля при вычислении полезности. Например, EatAction имеет два дополнительных поля: hungerSatisfaction и healthBenefit, которые отображают удовлетворение голода и пользу для здоровья соответственно. По аналогии описываются другие компоненты функции полезности.

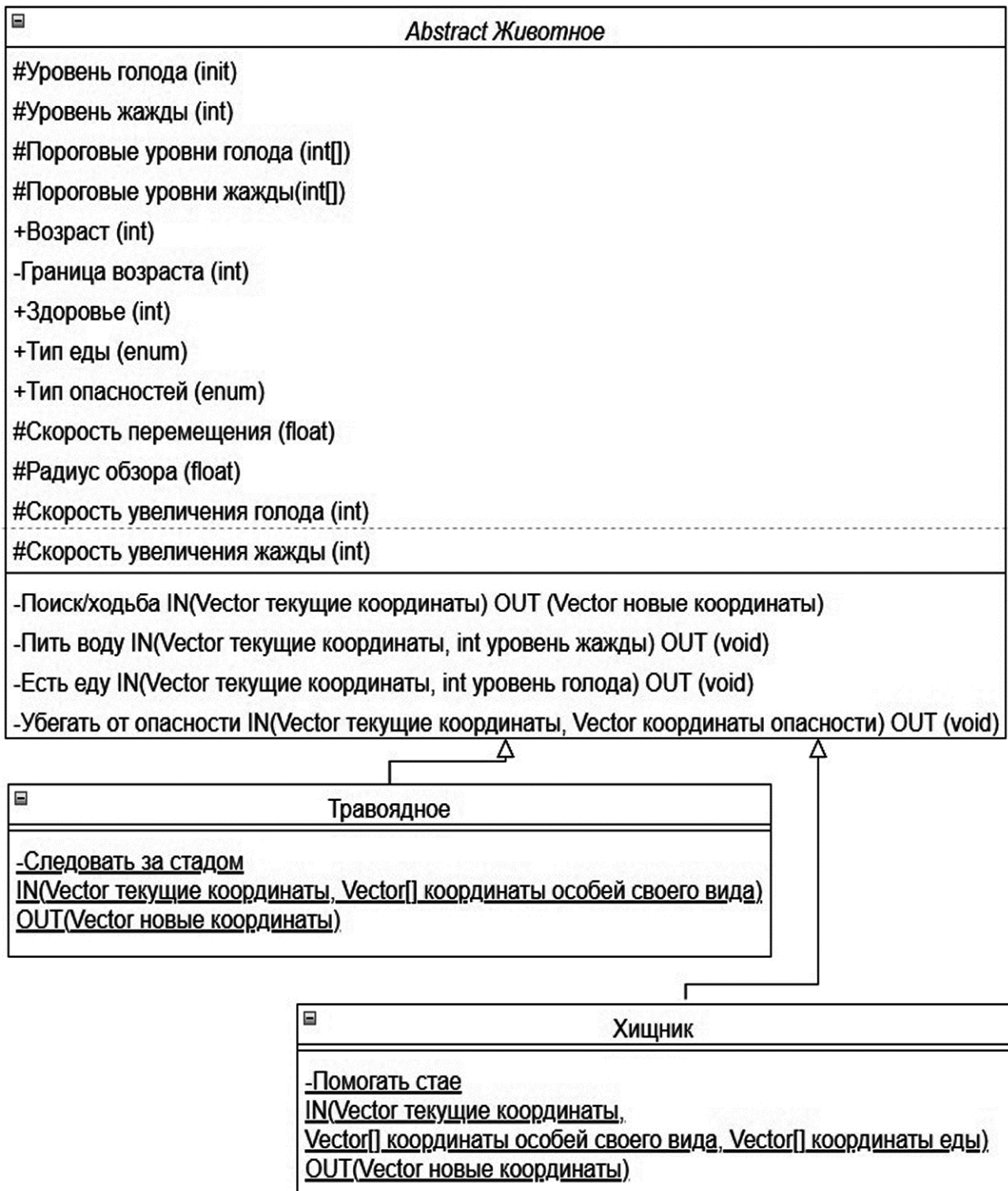


Рис. 2. Основные характеристики и действия животных

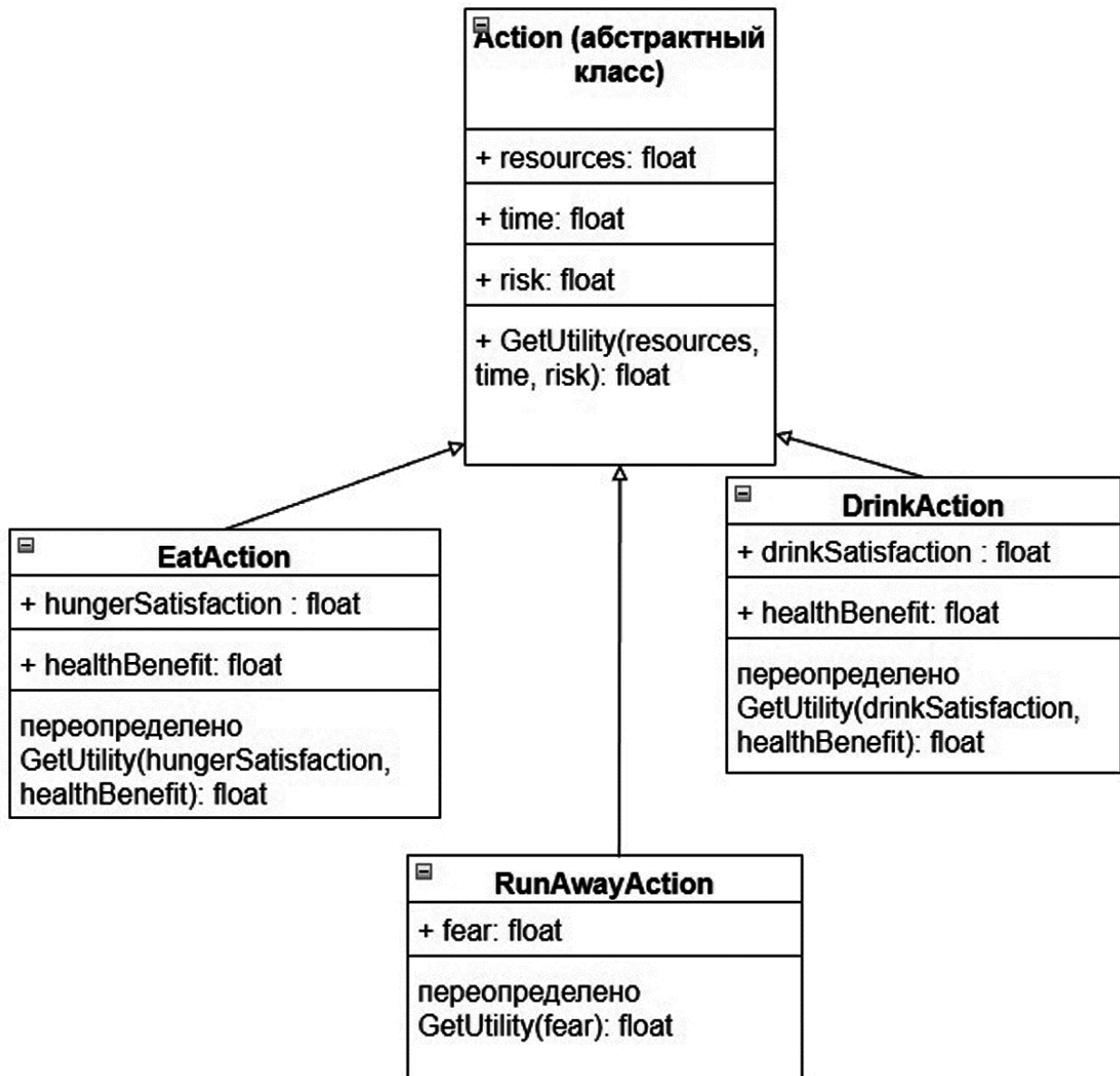


Рис. 3. Структура классов алгоритма полезности

Каждый класс имеет конструктор, который инициализирует все поля, включая унаследованные из класса Action. В методе GetUtility значение каждого поля действия умножается на соответствующий ему весовой коэффициент. Сумма этих произведений является общей полезностью.

Весовые коэффициенты задаются внешним кодом (в меню редактирования выбираем нужный тип животного, в котором уже заданы веса каждого действия) в каждый момент игры.

Довольно часто в игровых приложениях применяют алгоритмы процедурной генерации [5,6]. Их использование позволяет значительно сократить ресурсы, которые это приложение будет затрачивать, а также увеличивает возможности игрового приложения.

Процедурная генерация – это метод динамического создания контента с помощью алгоритмов, использующих математические методы и случайные числа для создания разнообразного и уникального контента [7].

В игровой индустрии она применяется для создания уровней, предметов, персонажей и других игровых элементов. Этот метод позволяет создавать большое количество контента за короткий промежуток времени.

Генерация происходит в реальном времени, поэтому разработчикам не требуется ничего заранее подготавливать или компилировать – изменения сразу перестраивают созданный мир. В нашем примере алгоритмы процедурной генерации используются для создания интерфейса.

Сформулируем требования к интерфейсу разрабатываемого приложения.

Требования к главному меню:

- должно иметь кнопку «перейти в меню животные»;
- должно иметь кнопку «выйти из меню» в виде крестика;
- обеспечить возможность появления других функций.

Требования к меню создания животных:

- должно иметь кнопку «вернуться в главное меню»;
- должно иметь кнопки для создания разных видов животных (необходимо учесть, что с развитием приложения в игре могут появиться новые виды животных);
- приложение должно быть гибким и развиваемым. Должна быть возможность появления новых функций (возможностей).

Перед началом работы над алгоритмом генерации интерфейса было необходимо подготовить базовые компоненты, схему которых можно увидеть на рис. 4.

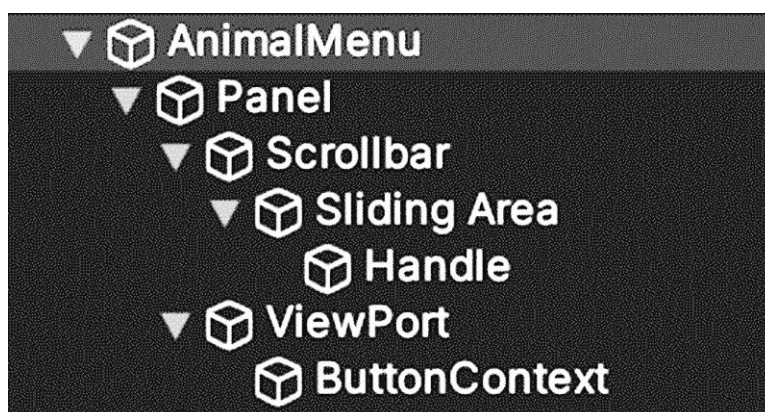


Рис. 4. Схема компонентов

Далее была реализована функция Start, генерирующая меню животных. Если меню животных больше размера панели, то появляется Scroll Bar (полоса прокрутки)

и Sliding Area (перемещаемая область), которые позволяют пользователю перемещаться по списку животных. Компонент Panel содержит кнопки: View Port, вызывающие список типов животных.

Функция Start срабатывает при запуске игры и создает кнопки с заданными настройками, количество кнопок зависит от количества видов существ, все они задаются заранее в исходных кодах приложения. При создании кнопки указывается обработчик событий onClick, чтобы при нажатии на эту кнопку вызывался метод Initial Position скрипта Animal Creation Service. Скрипт привязывается к объекту сцены Animal Menu и задает ему необходимые параметры.

В процессе разработки появлялись новые функции и требования к интерфейсу, которые без труда добавлялись в меню. Так, например, были добавлены кнопки для создания новых видов животных и кнопка в виде круговой диаграммы, при нажатии на которую появляется статистика по видам животных – количество особей каждого вида. На данный момент интерфейс имеет следующий вид (см. рис. 5, 6).

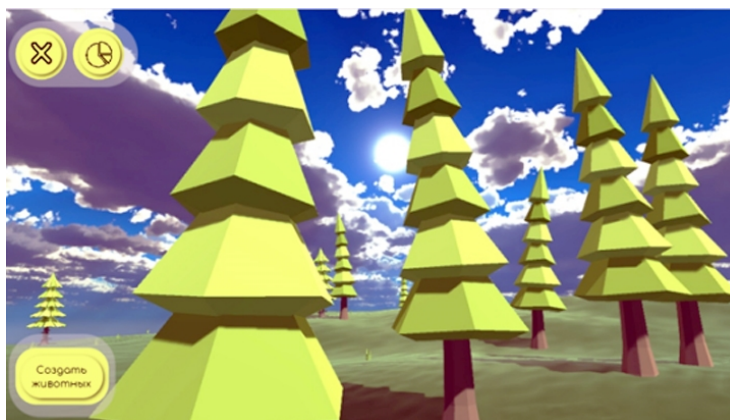


Рис. 5. Главное меню

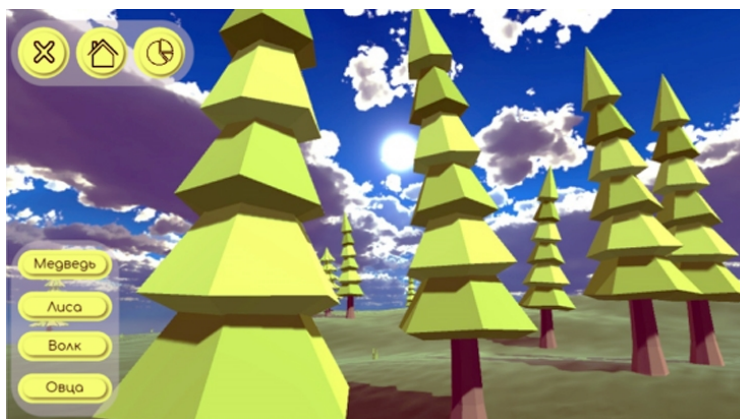


Рис. 6. Меню животные

На рис. 7 показан пример работы симулятора экосферы, а именно взаимодействие животных друг с другом. Здесь видно, как волки отделились от стада овцы, которая пытается убежать от волков. Волки пытаются её окружить, чтобы ей не удалось убежать. Данный пример показывает, как локальный ИИ каждого волка взаимодействует с глобальной ИИ стаи.



Рис. 7. Охота волков на овцу

На рис. 8 представлен процесс генерации ландшафта процедурным способом в программе World Machine. Здесь можно настроить размер карты, сид мира (уникальный параметр генерации), параметры холмистости, эрозии почвы, рек и другие свойства. Выбирая различные комбинации параметров, разработчик может динамически создавать ландшафт в соответствии с идеей игры. Так, используя эту простую систему настроек, можно реализовать гористую местность, устье реки, лесную зону, луг и т. д.

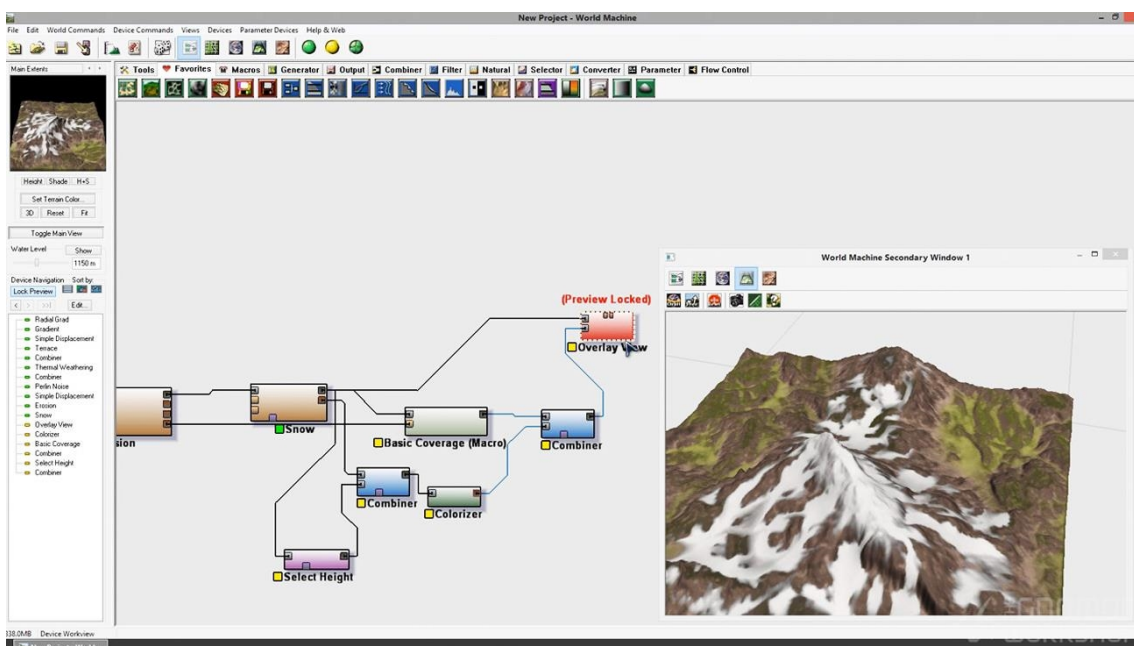


Рис. 8. Генерация карты в World Machine

Заключение

В настоящей работе описано игровое приложение, разработанное на платформе Unity 3D и реализующее один из подходов создания AI – метод функции полезности.

Использование алгоритма полезности позволило реализовать поведение персонажей-животных, весьма похожее на поведение реальных животных. Например, задавая количество хищников и травоядных, пользователь может видеть, как при изменении количества животных одного вида меняется популяция другого вида.

В частности, если пользователь добавит очень много волков, то они съедят всю популяцию овец, что впоследствии приведет к вымиранию самих волков. С другой стороны, слишком малая популяция волков позволит овцам размножаться до тех пор, что им не хватит корма. Овцы начнут голодать, и их популяция будет постепенно сокращаться.

Данное приложение является демонстрационным примером реализации игрового AI, может применяться в качестве учебного-методического материала при изучении дисциплин, связанных с разработкой игр, а также оно может быть использовано в качестве развлекательного и обучающего приложения для детей младшего школьного возраста как иллюстрация необходимости бережного отношения к природным экосистемам.

Список источников

1. Питер Норвиг, Стюарт Рассел. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд.: пер. с англ. Москва: ООО «Изд. дом Вильямс», 2016.
2. Curtis Bennett, Dan Violet Sagmiller. Unity AI Programming Essentials. Packt Publishing, 2014.
3. Джозеф Хокинг. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. 2-е междунар. изд. 2018.
4. Бонд Джереми Гибсон. Unity и C#. Геймдев от идеи до реализации. Санкт-Петербург: Piter, 2020.
5. Runevision. Rune Skovbo Johansen. Procedural world potentials: The simulation, functional and planning approaches. URL: <https://blog.runevision.com/2015/08/procedural-world-potentials-simulation.html> (дата обращения: 03.06.2022).

6. Шорт Тани и Адамс Гарна. Процедурная генерация в гейм-дизайне. Москва: ДМК Пресс, 2020.

7. Документация Unity. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html> (дата обращения: 06.06.2022).

Сведения об авторах

Безруков Алексей Иосифович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksey I. Bezrukov – PhD (Economics), Associate Professor, Department of Information and Communication Systems and Software Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Голубев Владислав Дмитриевич – бакалавр кафедры «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladislav D. Golubev – Undergraduate student, Department of Information and Communication Systems and Software Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Зилов Иван Дмитриевич – бакалавр кафедры «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Ivan D. Zilov – Undergraduate student, Department of Information and Communication Systems and Software Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Лавринова Валентина Васильевна – бакалавр кафедры «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Valentina V. Lavrinova – Undergraduate student, Department of Information and Communication Systems and Software Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Хворостухина Екатерина Владимировна –
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Информационно-
коммуникационные системы и программная
инженерия» Саратовского государственного
технического университета
имени Гагарина Ю.А.

Ekaterina V. Khvorostukhina –
PhD (Physics and Mathematics)
Associate Professor,
Department of Information
and Communication Systems
and Software Engineering, Yuri Gagarin
State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 01.06.2023, принята к опубликованию 08.09.2023

А.А. Игнатьев, В.А. Добряков, В.А. Ревякин

**МИНИМИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
НА КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ
НА ПРЕЦИЗИОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТАНКАХ
НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

Аннотация. Рассматривается применение системного подхода к вопросу минимизации влияния колебательных процессов на точность деталей, обработанных на прецизионных автоматизированных станках. Выделены четыре направления применения виброконтроля на станках. Указано на необходимость снижения влияния внешних и внутренних возмущений. Основное внимание уделено снижению колебаний в системе «резец-деталь» за счет выбора режима резания по максимальному значению запаса устойчивости динамической системы, определяемому из ее передаточной функции, которая вычисляется из полученного математического соотношения, связывающее ее с автокорреляционной функцией колебаний.

Ключевые слова: автоматизированная обработка, виброконтроль, минимизация колебаний, системный подход, передаточная функция, запас устойчивости, автокорреляционная функция, точность деталей

A.A. Ignatiev, V.A. Dobryakov, V.A. Revyakin

**SYSTEM APPROACH USED TO MINIMIZE
THE IMPACT OF OSCILLATIONS ON MACHINING QUALITY
OF PARTS BY PRECISION AUTOMATED MACHINES**

Abstract. Application of the system approach to minimize the impact of oscillations on the accuracy of parts processed by precision automated machines is considered. The authors focus on the four trends of vibration control utilized by machine tools. The necessity for reducing the impact of external and internal disturbances is emphasized. The main attention is paid to reduction of vibrations in the «cutter-machine part» system due to the cutting mode chosen in terms of the maximum stability margin in the dynamic system. The given peak value is determined from its transfer function, which is calculated based on the obtained mathematical relation connecting it with the autocorrelation function of oscillations.

Keywords: automated processing, vibration control, vibration minimization, system approach, transfer function, stability margin, autocorrelation function, accuracy of machine parts

Введение

При производстве высокоточных наукоемких изделий для авиа-, приборо- и машиностроения, химической и энергетической промышленности, а также для оборонно-промышленного комплекса необходимо изготавливать детали изделий с высоким качеством, что обеспечивает их высокую надежность в условиях эксплуатации [1, 2]. Технологический процесс производства изделий, включающий изготовление деталей, сборку и контроль продукции и оборудования, должен быть направлен на минимизацию затрат времени с условием обеспечения заданного качества изделий.

Несмотря на широкое внедрение аддитивных технологий для изготовления деталей, их обработка на автоматизированных металлорежущих станках (АМС) занимает значительное место [3, 4]. Известно, что на качество обработанных поверхностей деталей (макро- и микрогеометрические параметры точности и физико-механическое состояние поверхностного слоя) влияет значительное число детерминированных и стохастических факторов [5-7]. Одним из таких факторов, оказывающих существенное влияние на качество обработки на прецизионных АМС, являются колебательные процессы в динамической системе (ДС), причем основной вклад вносят колебания в паре «резец – деталь» [8-10]. Необходимо отметить, что уровень и спектр колебаний зависят как от технического состояния станка, так и от назначенных значений параметров режима обработки, поэтому оценка реального динамического качества АМС требуется для выбора режима резания.

Методической основой динамики станков являются работы В.А. Кудинова [11], В.А. Попова [12], С.С. Кедрова [13], в которых рассматриваются как теоретические, так и практические аспекты исследований. На практике оценка влияния виброакустических (ВА) колебаний выполняется при проведении виброконтроля основных узлов и специальных динамических испытаний станков [14-16]. Следует отметить, что для оценки взаимосвязи ВА колебаний с качеством прецизионной обработки необходим учет влияния комплекса различных внешних и внутренних факторов, что определяет необходимость применения системного подхода как начальной фазы прикладного системного анализа.

Цель работы – обоснование целесообразности применения системного подхода к вопросу минимизации влияния колебательных процессов на качество деталей при обработке на прецизионных автоматизированных станках.

Организация контроля и анализа колебательных процессов в динамической системе станка на основе системного подхода

В соответствии с системным подходом к проблеме обеспечения технологической надежности прецизионных АМС, рассмотренным в работе [17], предлагается применить его

положения к вопросу контроля и анализа ВА характеристик станков как основных показателей их динамического качества, в значительной степени определяющего параметрическую надежность станков. Анализ научно-технической информации [18-22] и собственные исследования авторов [7, 10, 17, 23] позволяют выделить четыре основных направления в области контроля и анализа вибраций станков на этапах жизненного цикла.

1. Виброконтроль, направленный на объективную оценку и повышение динамического качества конструкции и охватывающий все три этапа жизненного цикла станков (разработка, изготовление, эксплуатация). Осуществляются расчет и измерение спектра вибраций при тестовых воздействиях и в условиях эксплуатации, идентификация математической модели объекта и источников повышенной виброактивности (внешних и внутренних), исследование взаимосвязи динамического качества АМС с точностью обработанных деталей.

2. Виброконтроль, направленный на контроль технического состояния АМС, осуществляется на этапе производства. Выполняются сравнительный анализ, разработка требований и норм на допустимый уровень вибраций станков исходя из заданных параметров качества обработки и санитарных норм, необходимых для приемо-сдаточных испытаний и сертификации АМС; разрабатываются стандартные методики и другие нормативные материалы для оценки динамического качества станков.

3. Виброконтроль технического состояния АМС, направленный на диагностирование и охватывающий два этапа жизненного цикла (производство и эксплуатацию). Осуществляются сбор данных по ВА характеристикам для оценки качества изготовления и сборки отдельных узлов и станка в целом, вибродиагностика станков с учетом режимов эксплуатации для оценки фактического технического состояния качества настройки и ремонта, что необходимо для обеспечения работы автоматизированного оборудования и перехода на гибкое обслуживание по техническому состоянию.

4. Виброконтроль, направленный на оптимизацию режима резания по параметрам качества поверхности обработанных деталей и периода стойкости инструмента и охватывающий этап эксплуатации. Осуществляется оперативная оценка взаимосвязи вибраций с указанными выше параметрами по разработанной методике или специальные динамические испытания станков (в большинстве случаев в автоматизированном режиме с использованием компьютера) и реализуется управление качеством технологического процесса.

Если рассматривать период эксплуатации АМС, то, используя системный подход, организацию контроля и анализа колебаний в динамической системе, направленных на решение задачи минимизации их влияния на качество обработки, целесообразно представить в виде схемы, приведенной на рис. 1.

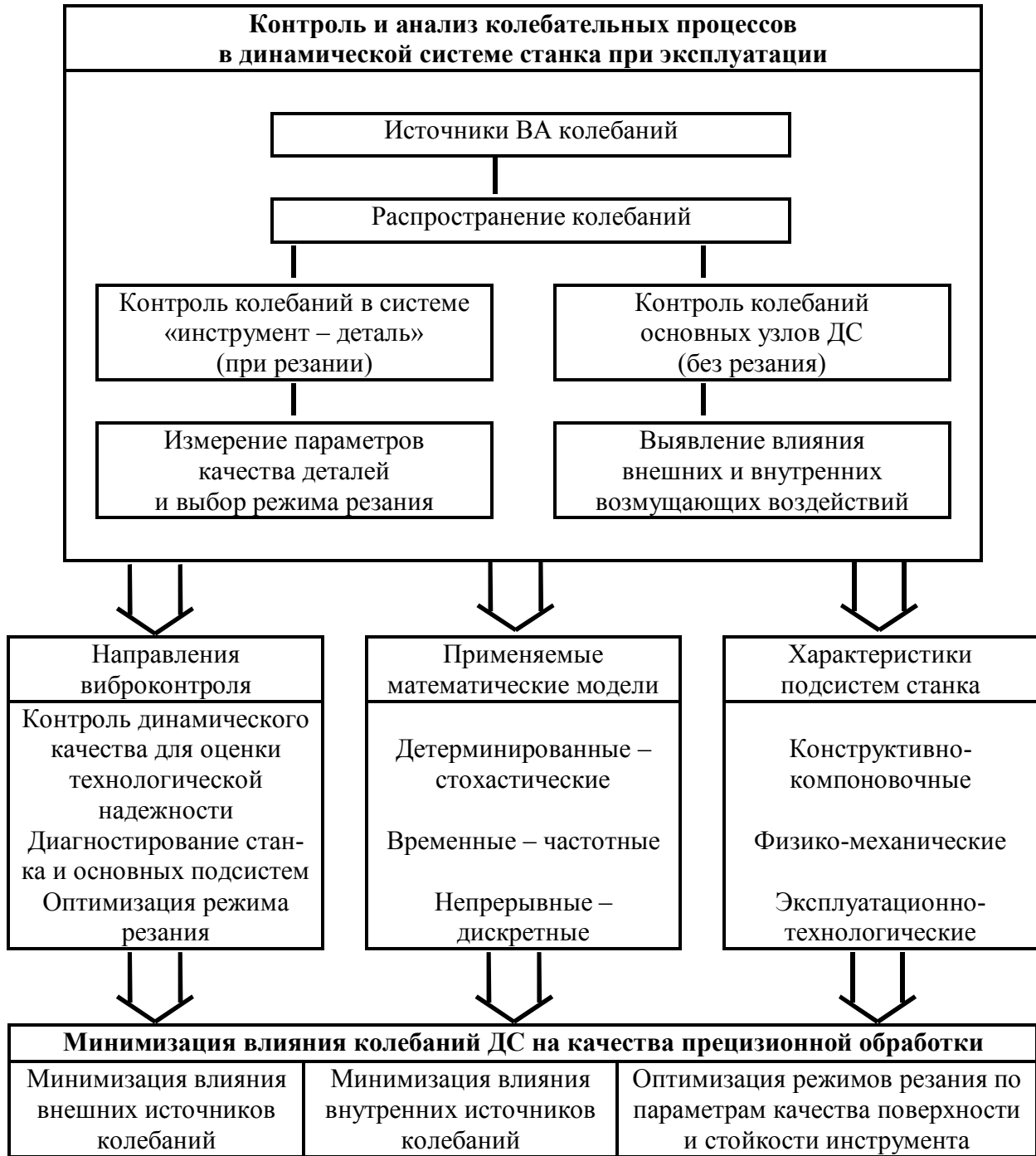


Рис. 1. Организация контроля и анализа колебаний в динамической системе станка для решения задачи минимизации их влияния на качество обработки на основе системного подхода

Она составлена на основе концепции системного подхода к обеспечению технологической надежности АМС, изложенной в работе [17]. Там же достаточно подробно рассмотрены применяемые математические модели, а также вопросы снижения уровня колебаний за счет выбора характеристик подсистем станка, поэтому в данном случае они рассматриваться не будут.

Технология выявления влияния внешних и внутренних возмущающих воздействий на колебания формообразующих узлов АМС разработана на основе исследований, выполненных в СГТУ имени Гагарина Ю.А. на токарных и шлифовальных станках при обработке деталей электронных приборов и колец подшипников [7, 23-25]. Она заключалась в измерении вибраций на элементах конструкции станков при включении-отключении источников колебаний как внешних (другое технологическое оборудование), так и внутренних (приводы станка). При высоких уровнях вибраций проводились организационно-технологические мероприятия по минимизации влияния возмущений.

Технология выбора режима обработки основана на вычислении определенных характеристик стохастических ВА колебаний при вариации значениями параметров режима резания и их сопоставлении с заданными параметрами точности деталей. Результаты исследований показали, что более высокое качество обработанной поверхности достигается при более высоких значениях запаса устойчивости ДС станка [26]. Оценка запаса устойчивости выполняется различными методами, исходя из известной математической модели в форме передаточной функции ДС $W(p)$. Идентификация $W(p)$ осуществляется на основе регистрации и обработки ВА колебаний при резании, причем они рассматриваются как стохастические [7, 24]. Для этого использовалась формула, связывающая изображение по Лапласу автокорреляционной функции (АКФ) колебаний $K_{yy}(p)$ с передаточной функцией $W(p)$, полученная ранее в работах [27, 28]:

$$K_{yy}(p) + K_{yy}(-p) = W(p) \cdot W(-p). \quad (1)$$

Вывод этой формулы рассмотрен авторами для автоматических систем для самого общего случая без дополнительных условий. Представляет интерес вывод данной формулы для случая обработки деталей на АМС с учетом дополнительных условий, накладываемых на входное воздействие на динамическую систему.

Уравнение связи передаточной функции динамической системы с автокорреляционной функцией колебаний

Вывод формулы (1) значительно упрощается, а также становится более коротким, если принять ряд условий.

Результаты ранее выполненных исследований показывают, что в диапазоне частот до 5 кГц стохастические колебания, возбуждаемые в системе «резец – деталь» при стационарном резании, можно рассматривать как «белый шум» [10, 12, 29], причем эти колебания следует принять в качестве входного воздействия для ДС.

Принимается условие, что в течение времени обработки одной детали (до 3...4 мин) значения параметров ДС не изменяются, следовательно система является линейной и стационарной.

В этом случае для неё может быть идентифицирована передаточная функция, но она будет изменяться от детали к детали под воздействием различных факторов, что определяет изменение запаса устойчивости ДС. При прецизионной обработке влияние стохастических факторов, например износа инструмента, незначительно, поэтому основное влияние оказывают вариации параметров режима резания, следовательно по максимуму запаса устойчивости ДС, как показали исследования [10, 31], можно определять режим обработки, обеспечивающий более высокое качество.

Из теории автоматического управления известно [32], что спектр регистрируемых колебаний – выходного сигнала ДС – определяется формулой

$$S_{yy}(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_{xx}(\omega), \quad (2)$$

где $|W(j\omega)|^2$ – квадрат модуля частотной функции, полученной из передаточной функции $W(p)$ заменой $p = j\omega$.

Для последующих вычислений удобно принять спектральную плотность мощности (СПМ) входного стохастического сигнала типа «белый шум» в виде

$$S_{xx}(\omega) = 1/2\pi. \quad (3)$$

Известны соотношения [32], связывающие АКФ стохастического процесса на выходе системы с СПМ:

$$K_{yy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{yy}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (4)$$

$$S_{yy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{yy}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (5)$$

Представим $S_{yy}(\omega)$ в виде двух слагаемых

$$S_{yy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} K_{yy}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^0 K_{yy}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (6)$$

Известно, что изображение по Лапласу от АКФ равно [32]

$$K_{yy}(p) = \int_0^{\infty} K_{yy}(\tau) e^{-p\tau} d\tau. \quad (7)$$

Выполним формальную замену во втором интеграле (6) переменной τ на $-\tau$, а затем поменяем местами пределы интегрирования, тогда с учетом формулы (7) получим

$$S_{yy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} [K_{yy}(p) + K_{yy}(-p)]. \quad (8)$$

Так как формально можно записать

$$|W(j\omega)|^2 = W(p)W(-p), \quad (9)$$

тогда из сравнения формул (2), (8) и (9) с учетом формулы (3) получается искомое соотношение (1). Предложенный вывод формулы (1) является более коротким по сравнению с приведенным в работе [30], также учитывающим процесс резания.

Таким образом, из изложенного следует, что для определения реальной передаточной функции ДС при резании необходимо идентифицировать аналитическое выражение АКФ выходного сигнала по экспериментально зарегистрированным колебаниям ДС станка. Далее передаточная функция $W(p)$ используется для определения различными методами запаса устойчивости ДС.

Практические результаты по выбору режима резания

При проведении динамических испытаний станков в производственных условиях измерение ВА колебаний ДС выполнялось с помощью автоматизированного виброизмерительного комплекса, включающего виброизмеритель ВШВ-003М3 с датчиком ДН-3, регистрирующим колебания на резцовом блоке в диапазоне до 4 кГц, и компьютер для обработки сигналов по специальному алгоритму. Предварительно выполнен ряд мероприятий по минимизации внешних и внутренних колебательных процессов на динамическую систему станка [17].

При установлении связи точности обработки деталей с динамическим качеством станков апробировано использование интегральных оценок АКФ и СПМ колебаний при резании, показателя колебательности ДС и коэффициента затухания АКФ [10, 17, 31]. Так, например, для выбора режима резания на прецизионном токарном модуле ТПАРМ-100М измерения выполнялись при различных частотах вращения шпинделя при обработке высокоточных деталей приборов из алюминиевых сплавов. Полученные экспериментально АКФ аппроксимировались формулой

$$K(\tau) = K_0 e^{-\alpha\tau} \cos\omega\tau, \quad (10)$$

где α – коэффициент затухания АКФ, ω – частота колебаний.

В качестве критерия для назначения частоты вращения шпинделя принимался минимум квадратичной интегральной оценки I АКФ колебаний $K(\tau)$ резцового блока модуля

$$I = \int_0^{\tau_k} e^{-2\alpha\tau} \cos^2 \omega\tau d\tau \quad (11)$$

где τ_k – время корреляции, либо максимум коэффициента затухания АКФ α (рис. 2).

Установлено, что минимум интегральной оценки и максимум коэффициента затухания АКФ соответствуют минимальной шероховатости поверхности Ra обрабатываемой детали, не превышающей 0,1 мкм при алмазном точении, причем это выявлено для двух частот вращения шпинделя: 1000 об/мин и 1600 об/мин. Рекомендуемой частотой вращения является 1600 об/мин, при которой обеспечивается более высокая производительность обработки.

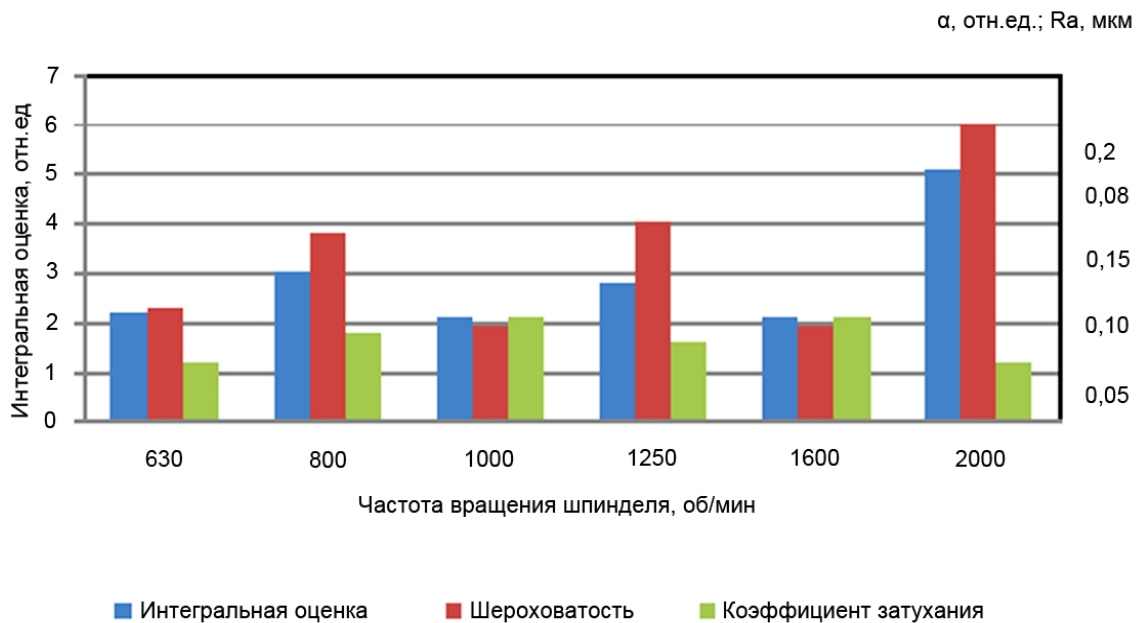


Рис. 2. Интегральные оценки автокорреляционной функции колебаний динамической системы при точении на прецизионном модуле ТПАРМ – 100М, шероховатость обработанной поверхности и коэффициент затухания АКФ

Заключение

Рассмотренный системный подход к исследованию влияния колебательных процессов в динамической системе прецизионных автоматизированных станков на качество деталей позволяет определить основные направления для наиболее полной и достоверной оценки их взаимосвязи на основе виброконтроля основных формообразующих узлов или специальных динамических испытаний станков, а затем принять решение о минимизации указанного влияния, что подтверждается практическими результатами при токарной обработке.

Список источников

1. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
2. Труханов В.М. Надежность в технике. М: Изд. дом «Спектр», 2017. 656 с.
3. Григорьев С.Н., Маслов А.Р., Схиртладзе А.Г. Обеспечение качества деталей при обработке резанием в автоматизированном производстве. Старый Оскол: ТНТ, 2012. 412 с.
4. Суслов А.Г. Направления дальнейшего развития технологии машиностроения // Совершенствование существующих и создание новых технологий в машиностроении и авиастроении: сб. тр. Междунар. конф. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 117-125.
5. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. Москва: Машиностроение, 1989. 296 с.
6. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. Москва: Машиностроение, 2000. 320 с.
7. Игнатъев А.А., Коновалов В.В., Игнатъев С.А. Идентификация в динамике станков с использованием стохастических методов. Саратов: СГТУ, 2014. 92 с.
8. Малыхин В.В., Яцун Я.И., Новиков С.Г. Виброакустическая диагностика состояния режущего инструмента и микронеровностей обрабатываемой поверхности // Справочник. Инженерный журнал. 2014. № 4. С. 31-35.
9. Безъязычный В.Ф., Сутягин А.Н. Взаимосвязь шероховатости обработанной поверхности с параметрами вибраций технологической системы СПИЗ при обработке точением // СТИН. 2019. № 2. С. 28-32.
10. Игнатъев А.А., Добряков В.А., Игнатъев С.А. Экспериментально-аналитическая оценка динамического качества станков по стохастическим характеристикам виброакустических колебаний // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2022. № 2(93). С. 38-52.
11. Кудинов В.А. Динамика станков. Москва: Машиностроение, 1967. 360 с.
12. Попов В.И., Локтев В.И. Динамика станков. Киев: Техника, 1975. 136 с.
13. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков. Москва: Машиностроение, 1978. 199 с.
14. Камышев А.И., Кочинев Н.А. Автоматизация испытаний и исследований металлорежущих станков: обзор. информ. Москва: ВНИИТЭМР, 1988. 56 с.
15. Контроль в системах автоматизации технологических процессов / А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, М.В. Виноградов и др. Саратов: СГТУ, 2001. 124 с.

16. Расторгуев Г.А. Системный обзор испытаний технологического оборудования // Справочник. Инженерный журнал. 2013. № 1. С. 3-10.
17. Игнатьев А.А., Добряков В.А., Игнатьев С.А. Прикладной системный анализ объектов машиностроения. Саратов: СГТУ, 2021. 160 с.
18. Добрынин С.А. Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин: справочник. Москва: Машиностроение, 1987. 224 с.
19. Аршанский М.М., Щербаков В.П. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках. Москва: Машиностроение, 1988. 136 с.
20. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. СПб.: Севзапучцентр, 2013. 152 с.
21. Козочкин М.П. Влияние динамических характеристик станков на вибрации при резании // СТИН. 2014. № 2. С. 4-9.
22. Мониторинг состояния станков и станочных систем / А.К. Тугенгольд, В.П. Димитров, Р.Н. Волошин, Л.В. Борисова // СТИН. 2017. № 3. С. 11-17.
23. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков: в 3 ч. / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатьев, В.А. Добряков и др. Саратов: СГТУ, 1994. Ч. 2. 156 с.
24. Игнатьев А.А., Каракозова В.А., Игнатьев С.А. Стохастические методы идентификации в динамике станков. Саратов: СГТУ, 2013. 124 с.
25. Игнатьев С.А., Горбунов В.В., Игнатьев А.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции. Саратов: СГТУ, 2023. 240 с.
26. Игнатьев А.А., Сигитов Е.А. Технологический процесс обработки резанием как объект управления // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2017. С. 38-41.
27. Складчиков А.Н. Операторные методы в статистической динамике автоматических систем. Москва: Наука, 1965. 460 с.
28. Методы цифрового моделирования и идентификации стационарных случайных процессов / А.Н. Лебедев, Д.Д. Недосекин, Г.А. Стеклова, Е.А. Чернявский. Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. 64 с.
29. Lin Z.H., Hodgson D.C. In-process measurement and assessment of dynamic characteristics of machine tool structures // Int. J. Mach. Tools Manufact. 1988. Vol. 28. № 2. P. 93-101.
30. Игнатьев А.А., Насад И.П. Аналитическое определение связи передаточной функции динамической системы станка с автокорреляционной функцией виброакустических колебаний при резании // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2020. С. 22-26.

31. Игнатъев А.А., Насад Т.Г., Насад И.П. Моделирование динамической системы токарного станка на основе оценки коэффициента затухания автокорреляционной функции колебаний // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 2 (93). С. 17-22.

32. Егоров К.В. Основы теории автоматического регулирования. Москва: Энергия, 1967. 648 с.

Сведения об авторах

Игнатъев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика и мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander A. Ignatiev – Dr. Sc. Tech., Professor, Department of Technical Mechanics and Mechatronics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Добряков Владимир Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladimir A. Dobryakov – PhD (Engineering Science), Associate Professor, Department of Technical Mechanics and Mechatronics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Ревякин Владислав Анатольевич – аспирант кафедры «Техническая механика и мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladislav A. Revyakin – Postgraduate student, Department of Technical Mechanics and Mechatronics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 22.04.2023, принята к опубликованию 08.09.2023

**Е.В. Трегубова, П.А. Ерюшев, Р.В. Кожанов,
Е.Е. Миргородская, Н.П. Митяшин**

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ
С НЕЧЕТКИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

***Аннотация.** Рассмотрена задача оптимального распределения мощности между источниками и потребителями электроэнергии в интеллектуальной сети Smart Grid. Предложен алгоритм решения транспортной задачи методом потенциалов с нечетко заданными параметрами на основе принципа обобщения Заде. Для этого потери электроэнергии при передаче от одного источника к потребителю задаются в виде треугольных нечетких чисел, у которых нижняя и верхняя границы интерпретируются как «пессимистическое» и «оптимистическое» представление об их величине.*

***Ключевые слова:** оптимизация, транспортная задача, метод потенциалов, нечеткие числа, принцип обобщения Заде*

**E.V. Tregubova, P.A. Eryushev, R.V. Kozhanov,
E.E. Mirgorodskaya, N.P. Mityashin**

**DEVELOPMENT OF AN OPTIMAL POWER DISTRIBUTION
ALGORITHM FOR A SMART GRID WITH FUZZY PARAMETERS**

***Abstract.** The problem of optimal power distribution between electricity sources and consumers in the Smart Grid is considered. An algorithm for solving the transport problem using the method of potentials with fuzzy parameters based on the Zadeh generalization principle is proposed. Electricity losses during transmission from one source to the consumer are given in the form of triangular fuzzy numbers, where the lower and upper boundaries are interpreted as «pessimistic» or «optimistic» perceptions of their value.*

***Keywords:** optimization, transport problem, potential method, fuzzy numbers, Zadeh's generalization principle*

Введение

Характерные особенности последних десятилетий – рост населения и бурное развитие промышленности – влияют, в том числе, и на энергетический баланс, предъявляя

к нему все новые и новые требования. Рост потребления электроэнергии на душу населения, энергоемкие промышленные производства и при всем этом ограниченные источники энергии – это одни из основных проблем, которые стоят перед современной мировой энергетикой [1].

В настоящее время в Российской Федерации значительная часть территории, имеющая малую плотность населения, остается не охваченной централизованными электросетями. По оценкам ряда организаций, проживающее на этой территории население составляет около 20 миллионов человек.

Основу электрификации данных районов составляют локальные системы электроснабжения малой и средней мощности, источником генерации электроэнергии в которых являются дизельные электростанции, несмотря на то, что они производят электроэнергию высокой стоимости, имеют относительно небольшой эксплуатационный ресурс и оказывают значительный вред окружающей среде посредством вредных выбросов в атмосферу.

Перечисленные проблемы требуют разработки инновационной концепции развития электроэнергетики. Одним из способов решения является применение систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2]. К тому же в соответствии с Основными направлениями государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования ВИЭ на период до 2024 г., утвержденными распоряжением Правительства РФ от 08.01.2009 г. № 1-р, обозначена необходимость увеличения объема производства и потребления электрической энергии с использованием ВИЭ до 4,5 %.

Однако одной из причин, замедляющих рост использования ВИЭ, является низкое качество электроснабжения в связи со случайным характером поступления возобновляемой энергии, который зависит от погодных и географических условий. Гарантированное электроснабжение будут обеспечивать распределенные системы интеллектуальной электроэнергетики Smart Grid, в состав которых, помимо генерирующих объектов на основе ВИЭ, входят подключение к системе централизованного электроснабжения и гарантирующие источники генерации электроэнергии, подключаемые к Smart Grid в случае дефицита мощности или отсутствия подключения к системе централизованного электроснабжения [3].

Основная концепция технологии Smart Grid заключается в добавлении возможностей мониторинга, анализа, управления и связи в систему электроснабжения для максимального увеличения пропускной способности системы. Smart Grid основывается на многих технологиях, уже используемых электрическими сетями, позволяет поддерживать постоянное соблюдение стандартов энергоснабжения и обеспечивает бесперебойное электропитание.

Как показано в [4-6], подобные системы способны не только решить проблемы увеличивающегося спроса на электроэнергию и снизить загрязнение окружающей среды, но и обеспечить надежное и устойчивое электропитание для потребителей при заданных показателях качества электрической энергии и минимальных эксплуатационных затратах, что является ключевой задачей оптимального управления нормальными режимами работы Smart Grid.

Следует отметить, что многокритериальная оптимизация режима генерации для распределенных интеллектуальных систем электроснабжения Smart Grid заключается в формировании оптимальных с точки зрения комплекса установленных критериев минимизации потерь, минимизации эксплуатационных затрат, максимизации качества электроэнергии и других при учете технических ограничений на генерацию, транспорт и потребление энергии [7].

Целью настоящей работы является разработка метода решения задачи минимизации потерь в системе электроснабжения Smart Grid с определенной долей упрощения на основе аппарата линейного программирования с ограничениями в виде уравнений установившегося режима и линейных неравенств, где в качестве неизвестных величин выступают значения мощностей элементов данной системы.

Постановка и метод решения задачи оптимизации мощности интеллектуальной сети с нечеткими параметрами

Задачу оптимизации мощности рассмотрим на примере Smart Grid, включающей два ветряных генератора с асинхронным двигателем (Γ_1 и Γ_2), две солнечные батареи (Γ_3 и Γ_4) и питающей шесть потребителей ($\Pi_1 - \Pi_6$) [5]. В сети также присутствует соединение с центральной сетью электроснабжения для получения электроэнергии на случай недостаточности мощности или ее передачи на случай избытка. Очевидно, что при передаче электроэнергии на большие расстояния возникают потери, определяемые расстоянием от генератора до потребителя, что и представлено в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты потерь

Генераторы	Потребители						Суммарная генерация, кВт
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	
Γ_1	0,05	0,07	0,07	0,22	0,27	0,33	10,09
Γ_2	0,06	0,04	0,30	0,34	0,40	0,42	5,40
Γ_3	0,26	0,35	0,25	0,03	0,08	0,10	8,28
Γ_4	0,30	0,40	0,35	0,07	0,03	0,16	7,13
Суммарное потребление, кВт	8,82	3,31	1,17	13,8	2,28	1,71	30,90

В зависимости от нагрузки Smart Grid должна распределять требуемую мощность, задав приоритет генератора, определяемый близостью до потребителя. Если какой-либо генератор не имеет достаточной мощности, то система должна дополнять требуемую энергию от следующего ближайшего генератора. Следовательно, потребители получают электроэнергию от ближайшего по расположению генератора или обладающего минимальным коэффициентом потерь.

Согласно табл. 1 получим следующие ограничения генерации, заданные системой равенств

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} = 10,09 \text{ кВт}; \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} = 5,40 \text{ кВт}; \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} = 8,28 \text{ кВт}; \\ x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} = 7,13 \text{ кВт}; \end{cases}$$

где x_{ij} – значение мощности, передаваемое i -му потребителю от j -го генератора.

Максимальные значения нагрузки потребителей представлены в ограничениях по потреблению следующей системой неравенств

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} \leq 8,82 \text{ кВт}; \\ x_{11} + x_{22} + x_{32} + x_{42} \leq 3,31 \text{ кВт}; \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} \leq 1,17 \text{ кВт}; \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} \leq 13,80 \text{ кВт}; \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} \leq 2,28 \text{ кВт}; \\ x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} \leq 1,71 \text{ кВт}. \end{cases}$$

Для решения поставленной задачи необходимо подобрать значения 24 неизвестных x_{11}, \dots, x_{46} , которые будут удовлетворять заданным ограничениям на потребление и генерацию электрической энергии, таким образом, чтобы сумма произведений величины передаваемой мощности на соответствующий коэффициент потерь была минимальной. Иначе говоря, в ходе решения задачи достигается минимум следующей целевой функции

$$\begin{aligned} F(x) = & 0,05x_{11} + 0,07x_{12} + 0,07x_{13} + 0,22x_{14} + 0,27x_{15} + 0,33x_{16} + \\ & + 0,06x_{21} + 0,04x_{22} + 0,30x_{23} + 0,34x_{24} + 0,40x_{25} + 0,42x_{26} + \\ & + 0,26x_{31} + 0,35x_{32} + 0,25x_{33} + 0,03x_{34} + 0,08x_{35} + 0,10x_{36} + \\ & + 0,30x_{41} + 0,40x_{42} + 0,35x_{43} + 0,07x_{44} + 0,03x_{45} + 0,16x_{46} \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Таким образом, получаем задачу линейного программирования, называемую транспортной задачей.

Стандартная транспортная задача определяется как задача разработки наиболее экономичного плана перевозки продукции одного вида из нескольких пунктов отправле-

ния в пункты назначения или пункты потребления. При этом величина транспортных расходов прямо пропорциональна объему перевозимой продукции и задается с помощью стоимостей перевозки единицы продукции (табл. 2).

Таблица 2

Общий вид транспортной задачи

Пункты отправления, A_i	Пункты потребления, B_j				Запас, ед. прод.
	B_1	B_2	...	B_m	
A_1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1m}	a_1
A_2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2m}	a_2
...
A_n	c_{n1}	c_{n2}	...	c_{nm}	a_n
Потребность, ед. прод.	b_1	b_2	...	b_m	

Для решения транспортной задачи сначала требуется определить опорный план или базисное решение, затем путём последовательных приближений найти оптимальное решение. Базисное решение можно найти методами северо-западного угла, наименьшей стоимости или аппроксимации Фогеля. Среди методов последовательных приближений чаще всего выделяют распределительный метод и метод потенциалов.

Используемый в дальнейшем для решения задачи оптимизации мощности интеллектуальной сети метод потенциалов представляет собой модификацию симплекс-метода решения задачи линейного программирования применительно к транспортной задаче. Он позволяет, отталкиваясь от некоторого базисного решения, получить оптимальное решение за конечное число итераций. При этом методе предварительно находят потенциалы пунктов отправления и потребления, а затем вычисляют для каждой свободной клетки алгебраическую сумму стоимостей с помощью потенциалов.

Для разработки алгоритма решения транспортной задачи с нечетко заданными параметрами необходимо модифицировать метод потенциалов для получения оптимального ее решения в случае представления части исходных данных в виде нечетких чисел. В качестве нечетких чисел, представляемых тройкой значений (C_L, C_0, C_R) , будем задавать только величины потерь электроэнергии при передаче от одного генератора к потребителю, предполагая при этом, что их функции принадлежности имеют треугольную форму (рис. 1). Нижняя C_L и верхняя границы C_R такого нечеткого числа интерпретируются как «пессимистическое» и «оптимистическое» представление о величине потери вместе с ядром C_0 , определяющим наиболее правдоподобное и четкое значение.

Для использования принципа обобщения Заде при реализации арифметических операций над нечеткими числами необходимо предварительно произвести их дискретизацию в заданном интервале (C_L, C_R) . Для этого в ходе работы алгоритма носитель нечеткого числа (C_L, C_R) разбивают на достаточно малые отрезки, на которых значения функции принадлежности считаются постоянными [8]. Результат подобной операции над нечетким числом приведен на рис. 2.

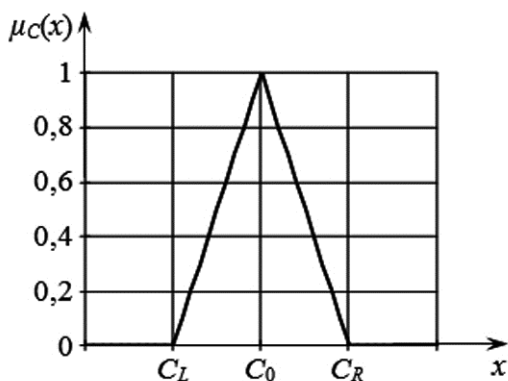


Рис. 1. Треугольное нечеткое число

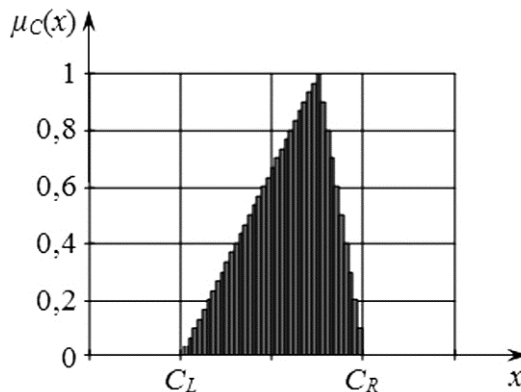


Рис. 2. Результат операции дискретизации над нечетким числом

Тогда для дискретизированных нечетких чисел формула сложения имеет вид

$$\forall z \in [z_i, z_{i+1}) \mu_{a+b}(z) = \max \min(\mu_a(p), \mu_b(q)).$$

Здесь максимум берется по всевозможным парам значений p и q из интервалов дискретизации носителей нечетких слагаемых a и b , для которых четкие значения суммы попадают в интервал $[z_i, z_{i+1})$. Аналогичный вид имеют формулы вычитания, умножения и деления

$$\forall z \in [z_i, z_{i+1}) \mu_{a-b}(z) = \max_{\substack{(p,q) \\ z=p-q}} \min(\mu_a(p), \mu_b(q));$$

$$\forall z \in [z_i, z_{i+1}) \mu_{a \cdot b}(z) = \max_{\substack{(p,q) \\ z=p \cdot q}} \min(\mu_a(p), \mu_b(q));$$

$$\forall z \in [z_i, z_{i+1}) \mu_{a/b}(z) = \max_{\substack{(p,q) \\ z=p/q}} \min(\mu_a(p), \mu_b(q)).$$

В ходе работы алгоритма необходимо перебирать все возможные решения при нечетко заданных потерях, рассчитывать для них значение целевой функции общих потерь при передаче электроэнергии и выбирать то значение, у которого функция принадлежности будет максимальной. Поскольку подобная процедура приводит к объемным вычислениям, ее реализация осуществляется иным образом. Вместо перебора всех возможных сочетаний будем выбирать достаточно большое количество раз числа на заданных нечетких интервалах случайным образом, причем если функция принадлежности хотя бы од-

ного случайно выбранного числа окажется меньше заданного уровня, это сочетание чисел рассматривать не будем. Таким образом, можно сократить количество перебираемых вариантов как минимум вдвое.

На основе предложенного метода решения задачи оптимизации мощности интеллектуальной сети Smart Grid с нечеткими параметрами было разработано программное приложение (рис. 3).

В ходе работы с программой пользователь в соответствующих окнах ввода задает число потребителей и число источников генерации сети электроснабжения, вектора мощностей генерации и потребностей, а также матрицу коэффициентов потерь, элементы которой можно устанавливать как в четком, так и в нечетком виде, указывая тогда нижнюю и верхнюю границы интервала (C_L, C_R).

В результате работы программы пользователю будут представлены оптимальный план распределения мощностей между генераторами в составе интеллектуальной сети электроснабжения и ее потребителями и суммарная величина потерь для данного плана распределения.

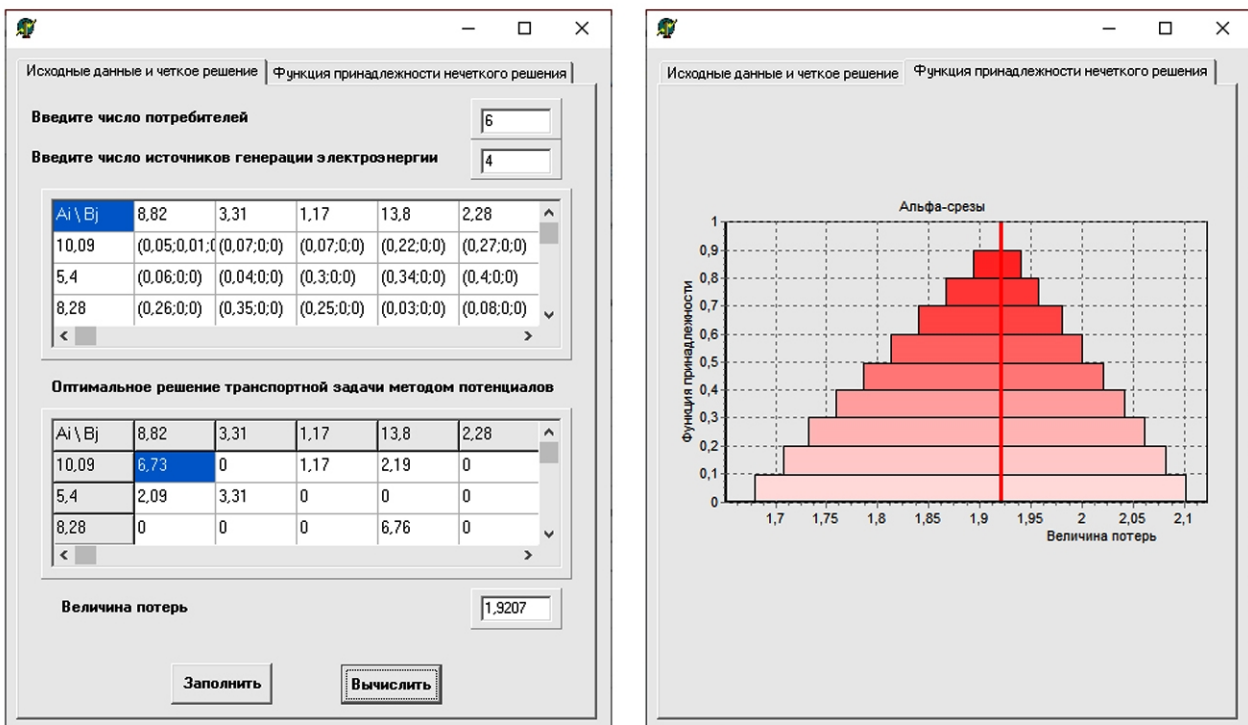


Рис. 3. Интерфейс и результат работы программы

Полученный результат можно интерпретировать следующим образом: потери мощности в представленной сети электроснабжения в лучшем случае составят 1.66 кВт, а в худшем – 2.1 кВт.

Предлагаемый метод решения задачи оптимизации мощности интеллектуальной сети Smart Grid с нечеткими параметрами может быть использован разработчиками и производителями оборудования для внедрения в системы управления сетями электроснабжения с источниками на основе возобновляемой энергии.

Заключение

В статье рассмотрена задача оптимального распределения мощности между источниками и потребителями электроэнергии в интеллектуальной сети Smart Grid. Предложен алгоритм решения задачи с помощью метода потенциалов с нечетко заданными параметрами, реализованный на основе принципа обобщения Заде.

Материал статьи может быть использован в системах управления сетями электроснабжения с источниками на основе возобновляемой энергии.

Список источников

1. Микрогриды – энергетика, экономика, экология и ИТС в умных городах / В.П. Куприяновский [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. № 4. С. 10-19.
2. Evolution Roadmap / C. Marnay [et al.] // International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). 2015. pp. 139-144.
3. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. Москва: ИАЦ Энергия, 2010.
4. Shuhui, L., Proano J., Dong Z. Microgrid power flow study in grid-connected and islanding modes under different converter control strategies // 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting. 2012. pp. 1-8.
5. Smart Power Grids 2011 / Ali Keyhani, Muhammad Marwali (ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 701 p.
6. Ritwik M. Some Aspects of Stability in Microgrids // IEEE Transactions on Power Systems. 2013. Vol. 28. № 3. Pp. 3243-3252.
7. Кычкин А.В., Чудов А.В. Эвристический алгоритм оптимизации мощности в активно-адаптивной сети // Вестник ПНИПУ. № 15. 2015. С. 97-107.
8. Численные методы анализа систем: учеб. пособие / Е.Е. Миргородская, Н.П. Митяшин, Ю.Б. Томашевский, Д.А. Васильев. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2017. 120 с.

Сведения об авторах

Трегубова Елизавета Владимировна – аспирант кафедры «Системотехника и управление в технических системах» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

Elizaveta V. Tregubova – Postgraduate student, Department of Systems Engineering and Control in Technical Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Ерюшев Павел Александрович – аспирант кафедры «Системотехника и управление в технических системах» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

Pavel A. Eryushev – Postgraduate student, Department of Systems Engineering and Control in Technical Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Кожанов Роман Вячеславович – аспирант кафедры «Системотехника и управление в технических системах» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

Roman V. Kozhanov – Postgraduate student, Department of Systems Engineering and Control in Technical Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Миргородская Екатерина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системотехника и управление в технических системах» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

Ekaterina E. Mirgorodskaya – PhD (Engineering Science), Associate Professor, Department of Systems Engineering and Control in Technical Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Митяшин Никита Петрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системотехника и управление в технических системах» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

Nikita P. Mityashin – Dr. Sc. Tech., Professor, Department of Systems Engineering and Control in Technical Systems, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

А.В. Олейникова, А. А. Олейников

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КВОТИРОВАНИЯ ВЫЛОВА ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

***Аннотация.** В настоящей работе рассматривается возможность совершенствования системы установки и контроля квот на вылов водных биологических ресурсов за счет построения онтологической модели системы в ее текущем состоянии и выявления существующих недостатков. С учетом выявленных недочетов предлагается методика корректировки стоимости квот вылова, распределяемых в ходе аукционных мероприятий. Разработанная методика применяется в качестве дополнения к существующей онтологии и интегрируется в неё через вводимое автором понятие «отрицательный уровень освоения квот на вылов за отчетный период».*

***Ключевые слова:** водные биологические ресурсы, квота, уровень освоения, онтология, база знаний*

A.V. Oleinikova, A. A. Oleinikov

IMPROVEMENT OF THE QUOTAS FOR CATCH OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES BASED ON THE ONTOLOGICAL MODEL

***Abstract.** This paper considers a possibility for improving the system of setting and managing quotas for catch of aquatic biological resources by developing the system's ontological model in its current state and identifying its existing imperfections. Taking into account the identified gaps, a methodology for adjusting the cost of the auction quotas for catch is proposed. The developed methodology is used as a supplement to existing ontology, where it is integrated through the concept of «negative management level of quotas for catch in the period under review» introduced by the author.*

***Keywords:** aquatic biological resources, quota, level of development, ontology, knowledge base*

Введение

Эффективность охраны и управления водными биоресурсами в значительной степени определяется качеством информации, характеризующей их использование, и адек-

ватностью методов ее интерпретации при принятии управленческих решений. Проводимая на протяжении последних 15 лет работа по созданию и совершенствованию целостной системы информационного обеспечения управления водными биоресурсами прибрежного рыболовства и рыболовства во внутренних водоемах России до сих пор не завершена, что привело к снижению эффективности контроля и, как следствие, к утрате промысловой продуктивности водных объектов рыбохозяйственного значения. Это особенно заметно в регионах, традиционно связанных с прибрежным рыболовством, среди которых Астраханская область, Волгоградская область, Саратовская область и Республика Калмыкия. На примере данных регионов можно рассмотреть систему мониторинга рыбопромысловой деятельности для дальнейшего контроля за состоянием водных биоресурсов. Работа в условиях рыночной экономики диктует необходимость минимизации объемов собираемой информации для упрощения ведения хозяйственной деятельности.

На этом основании необходимы анализ существующей системы квотирования вылова водных биологических ресурсов (ВБР), выявление ее недостатков, а также показателей, имеющих наибольшее значение при формировании квот на вылов ВБР и контроле уровня их освоения, без увеличения объемов собираемых данных.

Онтологическая модель системы квотирования вылова ВБР

На начальном этапе была сформирована онтологическая модель системы квотирования вылова водных биологических ресурсов. В ее основу легли существующие разработки и нормативные правовые акты Федерального агентства по рыболовству (ФАР).

Онтологию $O_{\text{КН}}$ предметной области «Контроль, надзор, охрана водных биологических ресурсов и среды обитания» можно определить как кортеж:

$$O_{\text{КН}} = \langle S, I \rangle, \quad (1)$$

где S – множество утверждений уровня схемы онтологии O , а I – утверждения, устанавливающие множество индивидов. Множество S состоит из следующих взаимосвязанных составляющих: $S = S^C \{S^C, S^O, S^D, S^A\}$ где S^C – множество утверждений, описывающих концепты (классы онтологии); S^O – множество утверждений, описывающих объектные свойства; S^D – множество утверждений, описывающих свойства типов данных и S^A – множество аксиом, определяющих ограничения над множествами S^C, S^O, S^D . Модель $O_{\text{КН}}$ включает родительский класс Территориальное управление ФАР:

$$S^C = \left\{ \begin{array}{l} S_{\text{УА}}^C, S_{\text{УОК}}^C, S_{\text{ИОА}}^C, S_{\text{К}}^C, S_{\text{ПУ}}^C, S_{\text{ПСУ}}^C, S_{\text{ПА}}^C, S_{\text{О}}^C, S_{\text{ПФ}}^C \\ S_{\text{КВР}}^C, S_{\text{ВБР}}^C, S_{\text{ИНН}}^C, S_{\text{ЗА}}^C, S_{\text{ЗБР}}^C, S_{\text{ВР}}^C, S_{\text{ВИБР}}^C, S_{\text{АЛ}}^C, S_{\text{РП}}^C \end{array} \right\}, \quad (2)$$

Информационные технологии и телекоммуникации

где $S_{УА}^C$ – дочерний класс Участник аукциона, содержащий информативные сведения обо всех участниках аукциона, которыми могут быть как физические лица, так и индивидуальные предприниматели, организации разных форм собственности; $S_{УОК}^C$ – дочерний класс Уровень освоения квот представлен в виде отчетов на определённую дату, содержащих количественную информацию об объемах освоения, добычи водных биологических ресурсов; $S_{ИОА}^C$ – дочерний класс Информация об аукционе, содержащий полную информацию о проведении аукциона; S_K^C – дочерний класс Код ОКПОФ – содержащий код согласно общероссийскому классификатору организационно-правовых форм; $S_{ПУ}^C$ – дочерний класс Проигравший участник аукциона, который содержит информацию о проигравших участниках аукциона, а именно «Код лота», «Номер карточки для голосования», «Код участника аукциона», «ИНН», «ФИО участника аукциона»; $S_{ПСу}^C$ – дочерний класс Предпоследний участник аукциона, который содержит информацию о предпоследнем участнике аукциона, а именно «Код лота», «Номер карточки для голосования», «Код участника аукциона», «ИНН», «ФИО участника аукциона», необходим в случае отказа победителя аукциона или невозможности победителя аукциона в оформлении доли квот; $S_{ПА}^C$ – дочерний класс Победитель аукциона, который содержит информацию о победившем участнике аукциона, а именно «Код лота», «Номер карточки для голосования», «Код участника аукциона», «ИНН», «ФИО участника аукциона»; S_0^C – дочерний класс Отдел ГКНО ВБР – содержит информацию об отделах Территориального Управления, а именно отдел государственного контроля, надзора охраны водных биоресурсов и среды обитания по Астраханской области, отдел государственного контроля, надзора охраны водных биоресурсов и среды обитания по Саратовской области, отдел государственного контроля, надзора охраны водных биоресурсов и среды обитания по Республике Калмыкия и Нижневолжский отдел государственного контроля, надзора охраны водных биоресурсов и среды обитания; $S_{ПФ}^C$ – дочерний класс Организационно-правовая форма, содержащий классификацию организационно-правовых форм организаций, принявших участие в аукционе; $S_{КВР}^C$ – дочерний класс Код вида рыболовства, содержащий информацию о коде и краткую аббревиатуру вида рыболовства; $S_{КВР}^C$ – дочерний класс КВР, содержащий коды зарегистрированных в аукционе водных биоресурсов; $S_{ИНН}^C$ – дочерний класс ИНН, содержащий информацию об идентификационном номере налогоплательщиков участников аукционов как физических лиц, индивидуальных предпринимателей, так и юридических лиц; $S_{ЗА}^C$ – дочерний класс Заявка на аукцион, содержащий всю информацию обо всех поданных заявках на участие в аукционе; $S_{ЗБР}^C$ –

дочерний класс Заготовитель ВБР, включает разделение участников по формам собственности; $S_{ВР}^C$ – дочерний класс Вид рыболовства, содержащий классификацию видов рыболовства, а именно «Любительское рыболовство», «Прибрежное рыболовство», «Промышленное рыболовство», «Рыболовство в научных целях», «Рыболовство в целях рыбоводства», «Рыболовство в учебных целях», «Рыболовство в целях обеспечения традиционного образа жизни»; $S_{ВИБР}^C$ – дочерний класс Вид ВБР, содержащий полную классификацию и наименования видов водных биоресурсов, участвующих в аукционе; $S_{АЛ}^C$ – дочерний класс Аукционный лот, содержащий классификацию и номера лотов водных биоресурсов, шаг аукциона, начальную цену, доля квот в тоннах, доля квот в процентах, которые представлены в виде выигранных лотов, допущенных к торгам, и не выигравших лотах; $S_{РП}^C$ – дочерний класс Район промысла (водоемы), содержащий классификацию (Водохранилище, море, озеро, река) и наименования водоемов, над которыми осуществляется контроль по уровню квот и вылова водных биоресурсов.

Дочерний класс $S_{РП}^C$ Район промысла (водоемы) включает следующие подклассы $S_{РП}^C = \{S_{РПВ}^C, S_{РПМ}^C, S_{РПО}^C, S_{РПР}^C\}$, где $S_{РПВ}^C$ – это подкласс Район промысла Водохранилище, который, в свою очередь, имеет такие атрибуты как «Пролетарское водохранилище», «Водохранилище ВДСК», «Волгоградское водохранилище», «Волгоградское водохранилище Саратовской области», «Пролетарское водохранилище от Новоманычской дамбы до меридиана 42015'Е», «Саратовское водохранилище», «Чограйское водохранилище»; $S_{РПМ}^C$ – это подкласс Район промысла Море, который включает атрибут «Каспийское море»; $S_{РПО}^C$ – это подкласс Район промысла Озеро, который, в свою очередь, имеет такие атрибуты как «Озеро Лысый Лиман», «Сарпинские озера», «Состинские озера»; $S_{РПР}^C$ – подкласс Район промысла Река, который, в свою очередь, имеет такие атрибуты как «Внутренние водоемы Астраханской области (р. Волга и ее водотоки)», «Водоемы Саратовского Правобережья (бассейн р. Волга)», «Водоемы Саратовского Правобережья (бассейн р. Дон)», «Водоемы Волго-Ахтубинской поймы», «Водоемы Левобережья Саратовской области», «р. Ахтуба».

$S_{АЛ}^C$ – дочерний класс Аукционный лот включает следующие подклассы: $S_{АЛ}^C = \{S_{АЛВ}^C, S_{АЛД}^C, S_{АЛН}^C\}$, где $S_{АЛВ}^C$ – это подкласс Выигравший аукционный лот, включает атрибут номера выигранных лотов участников; $S_{АЛД}^C$ – это подкласс Допущенный к торгам, включает атрибут номера всех лотов участников, допущенных к торгам; $S_{АЛН}^C$ – подкласс Не выигравших аукционный лот, включает атрибут номера не выигранных лотов участников, которые являются атрибутами.

Дочерний класс $S_{\text{ВиБР}}^{\text{C}}$ Вид ВБР включает следующие подклассы $S_{\text{ВиБР}}^{\text{C}} = \{S_{\text{ВиБРГ}}^{\text{C}}, S_{\text{ВиБРК}}^{\text{C}}, S_{\text{ВиБРМ}}^{\text{C}}, S_{\text{ВиБРО}}^{\text{C}}, S_{\text{ВиБРС}}^{\text{C}}, S_{\text{ВиБРЦ}}^{\text{C}}\}$, где $S_{\text{ВиБРГ}}^{\text{C}}$ – подкласс Губки; $S_{\text{ВиБРК}}^{\text{C}}$ – подкласс Крупный частик; $S_{\text{ВиБРМ}}^{\text{C}}$ – подкласс Мелкий частик; $S_{\text{ВиБРО}}^{\text{C}}$ – подкласс Особо ценные ВБР; $S_{\text{ВиБРС}}^{\text{C}}$ – подкласс Сельдевые; $S_{\text{ВиБРЦ}}^{\text{C}}$ – подкласс Ценные ВБР. Каждый из этих подклассов имеет множество атрибутов наименования и характеристики водных биоресурсов.

Дочерний класс $S_{\text{ВР}}^{\text{C}}$ Виды рыболовства включает следующие подклассы: $S_{\text{ВР}}^{\text{C}} = \{S_{\text{ВРЛ}}^{\text{C}}, S_{\text{ВРПР}}^{\text{C}}, S_{\text{ВРПШ}}^{\text{C}}, S_{\text{ВРНЦ}}^{\text{C}}, S_{\text{ВРУЦ}}^{\text{C}}, S_{\text{ВРРВ}}^{\text{C}}, S_{\text{ВРТ}}^{\text{C}}\}$, где $S_{\text{ВРЛ}}^{\text{C}}$ – подкласс Любительское рыболовство; $S_{\text{ВРПР}}^{\text{C}}$ – подкласс Прибрежное рыболовство; $S_{\text{ВРПШ}}^{\text{C}}$ – подкласс Промышленное рыболовство; $S_{\text{ВРНЦ}}^{\text{C}}$ – подкласс Рыболовство в научных целях; $S_{\text{ВРУЦ}}^{\text{C}}$ – подкласс Рыболовство в учебных целях; $S_{\text{ВРРВ}}^{\text{C}}$ – подкласс Рыболовство в целях рыбоводства; $S_{\text{ВРТ}}^{\text{C}}$ – подкласс Рыболовство в целях обеспечения традиционного образа жизни. Каждый из этих подклассов имеет атрибут разделения на «Морское» и «Пресноводное».

Дочерний класс $S_{\text{ЗБР}}^{\text{C}}$ Заготовитель ВБР включает следующие подклассы: $S_{\text{ЗБР}}^{\text{C}} = \{S_{\text{ЗБРИП}}^{\text{C}}, S_{\text{ЗБРООО}}^{\text{C}}, S_{\text{ЗБРФЗ}}^{\text{C}}\}$, где $S_{\text{ЗБРИП}}^{\text{C}}$ – подкласс Заготовитель ИП (Индивидуальный предприниматель); $S_{\text{ЗБРООО}}^{\text{C}}$ – подкласс Заготовитель ООО; $S_{\text{ЗБРФЗ}}^{\text{C}}$ – подкласс Заготовитель Физическое лицо. Каждый из этих подклассов содержит атрибут наименование и форму собственности участников аукциона.

Дочерний класс $S_{\text{УОК}}^{\text{C}}$ Уровень освоения квот включает следующие подклассы: $S_{\text{УОК}}^{\text{C}} = \{S_{\text{УОКВКБ}}^{\text{C}}\}$, где $S_{\text{УОКВКБ}}^{\text{C}}$ – подкласс Волжско-Каспийский рыбохозяйственный бассейн, содержит атрибут отчетности с качественными и количественными характеристиками освоения квот, которые влияют на результаты проведенных аукционов (рис. 1).

Так как в рамках данной статьи сложно уместить все свойства-отношения экземпляров классов, рассмотрим некоторые из них.

Определим свойства данных, для отражения атрибутов этих классов:

$$S^D = \{S_{\text{Куа}}^D, S_{\text{Звбр}}^D, \dots S_{\text{Кл}}^D\}, \quad (3)$$

Свойство $S_{\text{Куа}}^D$ Код участника аукциона фиксирует, связывает и указывает на взаимодействие таких дочерних классов как $S_{\text{УА}}^{\text{C}}$ Участник аукциона, $S_{\text{ПУ}}^{\text{C}}$ Проигравший участник аукциона, $S_{\text{ПА}}^{\text{C}}$ Победитель аукциона, $S_{\text{ПСУ}}^{\text{C}}$ Предпоследний участник аукциона.



Обозначения и сокращения: ВБР – водный биологический ресурс;
 ТОЖ – Традиционный образ жизни; ВК – Волго-Каспийский;
 ГКНО – отдел государственного контроля, надзора и охраны;
 ИП – Индивидуальный предприниматель; ООО – Общество с ограниченной ответственностью;
 ОПФ – Организационно-правовая форма; ОКОНФ – Общероссийский классификатор ОПФ;
 ИНН – Идентификационный номер налогоплательщика; ФЛ – Физическое лицо

Рис. 1. Классы и подклассы онтологической модели квотирования Волго-Каспийского территориального управления Федерального агентства по рыболовству

Через свойство $S_{ЗВБР}^D$ Код заготовителя ВБР происходит взаимодействие дочерних классов $S_{ИНН}^C$ ИНН, $S_{ПУ}^C$ Проигравший участник аукциона, $S_{ПА}^C$ Победитель аукциона, $S_{ПСу}^C$ Предпоследний участник аукциона, $S_{УА}^C$ Участник аукциона, $S_{ЗБР}^C$ Заготовитель ВБР, $S_{ЗА}^C$ Заявка на аукцион. ИНН фиксирует идентификационный номер налогоплательщика, он связан с участником аукциона как заготовителя ВБР, плательщика налогов в бюджет,

который впоследствии отправляет заявку на участие в аукционе на определенные позиции водных биоресурсов, данным позициям присваивается наименование «Заявка лот № 1, 2...N», а участнику аукциона присваивается наименование «Участник № 1, 2...N». Данную взаимосвязь отражаем следующим образом.

Свойство Код лота (номер) $S_{Кл}^D$, связывает, фиксирует и указывает на взаимодействие дочерних классов $S_{АЛ}^C$. Аукционный лот, $S_{ПУ}^C$ Проигравший участник аукциона, $S_{ПА}^C$. Победитель аукциона, $S_{ПСу}^C$. Предпоследний участник аукциона, $S_{УА}^C$. Участник аукциона, $S_{ЗА}^C$. Заявка на аукцион. С помощью данного свойства устанавливается взаимосвязь процесса проведения аукциона. Рассмотрим свойство дочернего класса $S_{АЛ}^C$. Аукционный лот и являющийся его подклассом $S_{АЛД}^C$. Допущенный к торгам Лот № 2, Data Property Assertions покажет нам полные количественные характеристики данного лота. Количественные характеристики представлены в виде Шага аукциона, Доли квот в процентах, Доли квот в рублях, Задатка в рублях, Начальной цены лота. В свойствах дочернего класса $S_{ИОА}^C$. Информация об аукционе отражаются данные, содержащиеся в Итоговом протоколе аукциона, имеющие количественную и качественную природу, такие как Суммарная начальная цена лота, Сумма, предложенная победителем, Поступление суммы в Федеральный бюджет, Дата начала приема заявок на участие в аукционе, Адреса организации и проведения аукциона, Срок действия договора, Количество лотов, Количество выигранных лотов, Дата и время проведения аукциона, Реквизиты для перечисления задатков на аукцион и Контактная информация организаторов аукциона, включающая электронную почту, телефон и ФИО.

Модель наполнялась данными из отчетов Волго-Каспийского территориального управления за 2019-2021 годы. В их состав вошли оперативные и годовые отчеты по уровню освоения квот в отчетном и предыдущих периодах.

Построение онтологической модели обеспечивает структурированное представление системы распределения квот на добычу водных биологических ресурсов. Она включает классы, отношения и свойства, которые определяют эту область, тем самым устанавливают единую терминологию для совместного использования информации в предметной области.

В состав ФАР входят 18 территориальных управлений. Анализ региональных особенностей хозяйственной деятельности территориальных управлений показал наличие значительных различий.

В части водоемов, контролируемых этими управлениями, ведется только речное рыболовство. Особенность материалов и данных, предоставленных Волго-Каспийским территориальным управлением (ВКТУ) для проведения исследования, заключается в наиболее полном охвате отраслевой специфики. Это позволило построить онтологиче-

скую модель, учитывающую разнообразные виды речного и морского рыболовства, а также разделение ВБР по степени их ценности. Иными словами, данная онтологическая модель учитывает особенности всех регионов РФ, в которых ведется добыча ВБР, и может быть масштабирована на всё ФАР.

Анализ онтологической модели системы квотирования вылова ВБР

Сформированная онтологическая модель позволила выявить некоторые недостатки в существующей системе квотирования ВБР:

1) Цены на квоты установлены с учетом особенностей внутреннего рынка и не актуализировались длительный период времени. Ставки сборов за пользование объектами водных биологических ресурсов, установленные главой 25.1 Налогового кодекса Российской Федерации, не менялись с 2007 года. В результате начальная цена торгов при проведении аукционов по продаже права на заключение договора о закреплении доли квоты добычи (вылова) водных биоресурсов, договора пользования водными биоресурсами и цена предметов лотов высоколиквидных биоресурсов формируются в 33-60 раз ниже рыночной стоимости лотов, что, учитывая ограниченное количество участников, несет риски недопоступления доходов в федеральный бюджет.

2) Отсутствие контроля и санкционных мер за ненадлежащее исполнение по взятым на себя заготовителем ВБР обязательствам по добыче в рамках выигранного и оформленного в договорном порядке аукционного лота.

Такой подход со стороны заготовителей ВБР наносит ощутимый урон экономике РФ. Выкупленные, но не освоенные квоты провоцируют повышение цен на ВБР, в том числе в долгосрочной перспективе, так как в соответствии с Федеральным законом от 20.12.2004 № 166-ФЗ (ред. от 29.12.2022) «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» квоты устанавливаются на период до 15 лет. По части квот уровень освоения не поднимается выше 10 %.

Из этого следует, что заготовителю экономически выгодна реализация меньших объемов по более высоким ценам. Следствием является рост цен для конечного потребителя внутри национального рынка. Таким образом, он вынужден приобретать продукт по ценам, близким или равным экспортным.

В такой ситуации резкое повышение цен на выделяемые квоты для повышения уровня наполняемости федерального бюджета может негативно сказаться на объемах добычи ВБР, еще более снизив их планку. Требуется комплексное решение существующих проблем.

Методика корректировки стоимости аукционных лотов

Для увеличения наполняемости федерального бюджета и повышения загруженности предприятий рыбоперерабатывающей отрасли собственным сырьём и, как след-

стве, насыщение внутреннего рынка доступной для потребителя продукцией необходимо разработать методику корректировки стоимости аукционных лотов квот на добычу ВБР, основываясь на обобщенной последовательности этапов процесса квотирования (рис. 2). Методику корректировки предлагается внедрить в отношении этапов, выделенных пунктирной линией на рис. 2, в каждом из них необходимы изменения или дополнения:

- *Проведение процедуры подачи заявок на участие в аукционных мероприятиях для получения квот на вылов, предоставление документов и обоснований*

К торгам допускают всех оплативших задаток по аукционным лотам как добросовестных участников аукциона. Уровень задатка варьируется от степени освоения квот по данному виду ВБР и всем видам ВБР, в общем доступным участнику аукциона. Процесс должен включать сбор данных об уровне освоения всех ВБР, добываемых заготовителем, в целях предотвращения картельных сговоров по отдельным видам ВБР.

- *Заключение договоров с победителями аукционов на вылов с установленными квотами*

В заключаемых договорах должны быть отражены обязательства заготовителя ВБР по уровню освоения квот на вылов. Основания для невыполнения обязательств должны базироваться на исследованиях независимых лабораторий, не состоящих в каких-либо договорных отношениях с заготовителем ВБР.

- *Организация системы мониторинга и контроля вылова для обеспечения соблюдения установленных квот*

Разработанная онтологическая модель позволила установить, что на этапе организации системы мониторинга и контроля вылова в большей степени учитываются данные о превышении установленных квот, тем самым задействуются механизмы на последующих этапах, действие которых направлено на сохранение популяции. Однако низкие показатели освоения квот не учитываются. Для оценки корректности выводов, сделанных по итогам анализа онтологической модели, необходимо определиться с видами ВБР. Выберем в качестве представителя частиковой породы – ВБР «вобла», а в качестве представителя ценных пород рыб – ВБР «судак». В табл. 1 представлена часть данных по выбранным видам ВБР. Как видно из цен на ВБР «вобла», приведенных в графе «Начальная цена лота», и долей квот из графы «Доли квот», цена 1 кг данного вида ВБР в ходе аукционных торгов составляет 1 рубль 20 копеек. По ВБР «судак» цена составляет 15 рублей за один килограмм.

Вместе с тем мониторинг рыночных цен на сырье в виде замороженной продукции показал следующие результаты: «вобла замороженная» – в среднем 150 руб./кг; «судак замороженный» – в среднем 400 руб./кг;

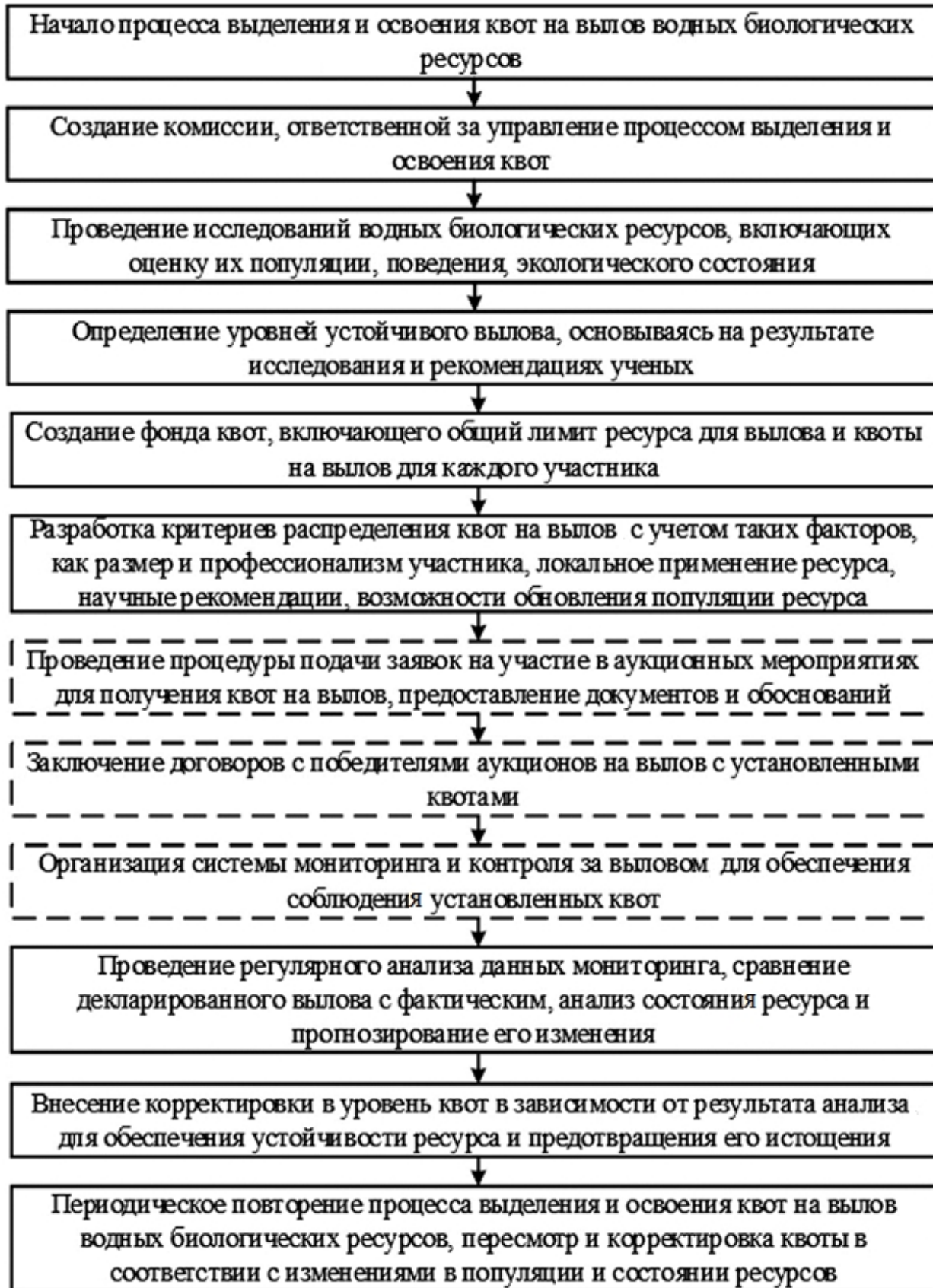


Рис. 2. Этапы процесса квотирования добычи ВБР

Это соответствует первому выявленному недостатку существующей системы квотирования и отражает необходимость корректировки цен лотов на вылов ВБР в большую сторону.

Таблица 1.

Распределение квот вылова ВБР по аукционным лотам.

Водный биологический ресурс	Район промысла	Доли квот		Начальная цена лота, руб.	Шаг аукциона, руб.	Задаток, руб. (80 %)
		%	тонн			
1. Вобла	река Волга и ее водотоки	0,007	0,111	133,20	6,66	106,56
2. Вобла	река Волга и ее водотоки	0,002	0,032	38,40	1,92	30,72
3. Судак	река Волга и ее водотоки	0,038	0,267	4005,00	200,25	3204,00
4. Судак	река Волга и ее водотоки	0,044	0,309	4635,00	231,75	3708,00

Для разработки методики корректировки стоимости аукционных лотов квот на добычу ВБР предлагается ввести понятие «отрицательный уровень освоения квот на вылов за отчетный период» и применять его к конкретному виду ВБР для учета данных по лову в оперативных месячных отчетах и итоговых годовых. Расчет месячного отрицательного уровня освоения проводить по следующей формуле:

$$MKV_{\text{мес}} = kv_{\text{цель}} - kv_{\text{факт}}, \quad (4)$$

где $kv_{\text{цель}}$ – целевые показатели квотирования; $kv_{\text{факт}}$ – фактический уровень освоения квот.

Расчет отрицательного уровня освоения за год с учетом (4):

$$MKV_{\text{год}} = \sum_{i=1}^{12} (kv_{\text{цель},i} - kv_{\text{факт},i}), \quad (5)$$

Так как хозяйственная деятельность на территории РФ регламентируется, в том числе, Гражданским Кодексом РФ, а период в 15 лет является избыточным для оценки добросовестности исполнения заключенных договоров на добычу ВБР по установленным квотам между заготовителем ВБР и ФАР, предлагается установить длительность отчетного периода равной 36 месяцам, что соответствует сроку исковой давности по статье 196 ГК РФ в три года. Это позволит достичь цели минимизации объемов собираемой информации для упрощения ведения хозяйственной деятельности, о которой говорилось в начале статьи.

С учетом вышеизложенного для отдельного вида ВБР и (5) формула расчета отрицательного уровня освоения квот примет вид

$$MKV_{3.года.ВБР} = \sum_{j=1}^3 \left(\left(\frac{\sum_{i=1}^{12} (kv_{цель.i} - kv_{факт.i})}{12} \right) * 12 \right). \quad (6)$$

Тем самым производится расчет среднего показателя «отрицательный уровень освоения квот на вылов за отчетный период» в качестве меры недоосвоения выделенных квот на вылов ВБР.

В отношении выбранных ВБР в табл. 2 были обобщены данные об уровне выделения и освоения квот за период с 2019 по 2021 отчетный год.

Таблица 2

Уровень освоения выделенных квот на вылов ВБР

ВБР	2019			2020			2021		
	Квота, разрешенный объем добычи (вылова) ВБР, тонны	Фактическое освоение, тонны	% освоения	Квота, разрешенный объем добычи (вылова) ВБР, тонны	Фактическое освоение, тонны	% освоения	Квота, разрешенный объем добычи (вылова) ВБР, тонны	Фактическое освоение, тонны	% освоения
Вобла	1557	1335,177	85,75	1450	1081,548	74,59	1094,239	1003,102	91,67
Судак	1783	1339,683	75,14	2990	2089,503	69,88	1703,083	1542,689	90,58

По данным о проценте освоения квот из табл. 2 видно, что к максимальному значению изготовители были близки в 2021 году, а худшим оказался 2020 год. Необходимо учитывать, что в таблице приведены данные по всем изготовителям ВБР, подающим оперативные и итоговые отчеты по вылову. Уровень квот для каждого устанавливается в соответствии с договорами по выигранным в ходе аукциона лотам, поэтому и предлагаемая доля материальной ответственности за недоосвоение квот на вылов для каждого изготовителя будет индивидуальной. Исходя из данных таблицы по ВБР вобла общее по ВКТУ $MKV_{3.года.вобла}$ составит 681,29 тонн, а общее по ВКТУ $MKV_{3.года.судак}$ соответственно 1712,266 тонн. Общий процент недоосвоения по ВБР вобла равен 19,92 %, по ВБР судак – 30,25 %. Показанные результаты говорят о значительном отклонении от установленных квот.

Далее на этапе *Проведение процедуры подачи заявок на участие в аукционных мероприятиях для получения квот на вылов, предоставление документов и обоснований,*

основываясь на анализе ретроспективной информации, необходимо скорректировать цену лота и сумму задатка в соответствии с уровнем недоосвоения квот. Основываясь на обобщенном примере, цена лота ВБР должна вычисляться по следующей формуле:

$$Cena_{ВБР} = (V_{ВБР} * St_{ВБР}) + (MKV_{3.года.ВБР} * St_{ВБР}), \quad (7)$$

где $V_{ВБР}$ – доля квот в тоннах; $St_{ВБР}$ – стоимость тонны ВБР; $MKV_{3.года.ВБР}$ – отрицательный уровень освоения квот в тоннах.

Левая часть формулы $V_{ВБР} * St_{ВБР}$ показывает расчет в том виде, как он производится сейчас, в правой её части $MKV_{3.года.ВБР} * St_{ВБР}$ предлагается добавить расчет санкционных выплат за невыполнение условий договора по освоению квот вылова ВБР. Даже без учета пересмотра ценовой политики в отношении стоимости квот на вылов ВБР по обобщенным данным табл. 2 дополнительный доход в федеральный бюджет составит по ВБР «вобла» 817 548 руб., а по ВБР «судак» – 25 683 990 руб. Эти суммы должны быть распределены пропорционально между каждым из заготовителей с учетом тех ВБР, в отношении которых они подают заявку на участие в аукционе.

Как говорилось выше, на этапе *Заключение договоров с победителями аукционов на вылов с установленными квотами* необходимо документальное оформление обязательств по освоению квот на вылов ВБР, включая досрочное расторжение договоров в случае злостного их несоблюдения.

На этапе *Организация системы мониторинга и контроля за выловом для обеспечения соблюдения установленных квот* необходимо установить контрольные точки на протяжении всех 15 лет действия договора для отражения текущей ситуации по освоению и рассмотрения возможности досрочного прекращения договора или его действия без изменений на установленный при первичном заключении срок. Контрольные точки устанавливаются в соответствии с выбранной длительностью отчетного периода, равной 3 года.

Интегрируя разработанную методику в систему квотирования ВБР, предлагается дополнить родительский класс Территориальное управление ФАР (1) онтологии дочерним классом $S_{ОУОК}^C$ – Отрицательный уровень освоения квот, который не потребует дополнительных затрат на сбор данных и может быть получен из представленных ранее отчетов об освоении квот ВБР:

$$S^C = \left\{ S_{УА}^C, S_{УОК}^C, S_{ОУОК}^C, S_{ИОА}^C, S_K^C, S_{ПУ}^C, S_{ПСу}^C, S_{ПА}^C, S_0^C, S_{ПФ}^C, S_{КВР}^C, S_{ВБР}^C, S_{ИНН}^C, S_{ЗА}^C, S_{ЗБР}^C, S_{ВР}^C, S_{ВИБР}^C, S_{АЛ}^C, S_{РП}^C \right\}. \quad (8)$$

Разработка онтологической модели и методики корректировки стоимости аукционных лотов квот на добычу ВБР направлена на совершенствование существующей системы квотирования водных биологических ресурсов за счет применения современных научных методов. Это позволяет перейти от ручных способов сбора и аналитической обработки информации к применению прикладного программного обеспечения, которое, как показало исследование, может быть унифицировано для всех территориальных управлений ФАР через разработанную онтологию.

Выводы

Разработанная онтологическая модель позволила провести системный анализ и получить информацию по процессу квотирования в разрезе отделов территориальных управлений федерального агентства по рыболовству.

С применением онтологической модели были выявлены слабые стороны процесса квотирования добычи ВБР, в том числе заниженная стоимость аукционных лотов на квоты, а также слабый контроль за уровнем освоения квот. Была предложена методика корректировки стоимости аукционных лотов, учитывающих уровень недоосвоения квот в разрезе ВБР и заготовителей ВБР. Был произведен расчет, который показал финансовую обоснованность методики при наполняемости федерального бюджета, даже без пересмотра уровня стоимости ВБР. Применение предлагаемой методики позволит не только стимулировать заготовителей ВБР к максимальному освоению квот, но и позволит загрузить предприятия рыбоперерабатывающей промышленности отечественным сырьем, что, в свою очередь, приведет к снижению цен для конечного потребителя на внутреннем рынке. После необходимой корректировки в отношении стоимости аукционных лотов квот ВБР отчисления в федеральный бюджет смогут показать более высокие показатели, чем приведенные по итогам расчетов в данной работе.

Список источников

1. Беляева Л.А. Анализ эффективности рыболовства: автореф. дис.... канд. техн. наук: специальности 08.00.05; 05.18.17 / Беляева Людмила Александровна. Москва, 1981. 26 с.
2. Разработка онтологии предметной области для формального логического вывода и визуализации в системах информационной поддержки задач морского пространственного планирования / А.В. Вицентий, М.Г. Шишаев, П.А. Ломов, Г.Г. Гогоберидзе // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9, № 10-9. С. 77-90.

3. Дворянкин А.М. Разработка онтологической базы знаний для интеллектуальной системы поддержки принятия решений в сфере управления водохозяйственной системой 1 / А.М. Дворянкин, М.Б. Кульцова, И.Г. Жукова [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. № 6 (54). С. 95-99.

4. Агрокультура 4.0: синергия системы – систем, онтологии, интернета вещей и космических технологий / В.П. Куприяновский, Ю.П. Липунцов, О.В. Гринько, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. 2018. Т. 6, № 10. С. 46-67.

5. Алгоритмы подготовки данных для маркетингового анализа вариантов эффективного развития рыболовства пресноводных водоемов Российской Федерации / Б.И. Покровский, Д.Л. Шабельский, М.Е. Шаповалов, А.М. Кайко // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63, № 6. С. 30.

6. Паршукова П.Н. Потребительские практики современного общества // Социальные коммуникации и эволюция обществ: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 01-02 декабря 2017 года. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. С. 265-270.

7. Панова И.В., Синицина С.В. Административно-правовое регулирование правил рыболовства и охраны рыбных запасов: анализ зарубежного и российского законодательства // Право: Журнал Высшей школы экономики. 2019. № 1. С. 214-231.

8. Постникова К.Ю., Петрова Н.В. Вклад вида экономической деятельности «рыболовство, рыбоводство» в экономическое развитие страны: краткий анализ // Молодой ученый. 2017. № 2(136). С. 482-486.

9. Расулов М.М. Анализ прибрежного рыболовства Дагестана в Каспийском море с 2006 по 2010 год // Вестник Дагестанского государственного университета. 2013. № 1. С. 133-137.

10. Свиридов А.Т. Анализ динамики численности промысловой рыбной популяции с учетом параметров рыболовства: дис. ... канд. техн. наук: специальность 05.18.17 «Промышленное рыболовство»: / Свиридов Анатолий Тимофеевич. Калининград, 1985. 201 с.

Сведения об авторах

Олейникова Алла Владимировна –
магистрант
кафедры «Прикладная информатика»
Астраханского государственного
технического университета

Alla V. Oleinikova –
Master's student,
Department of Applied Informatics,
Astrakhan State
Technical University

Олейников Александр Александрович –
кандидат технических наук, доцент
кафедры систем автоматизированного
проектирования и моделирования
Астраханского государственного
архитектурно-строительного университета

Aleksandr A. Oleinikov –
PhD (Engineering Science), Associate
Professor, Department of Computer-aided
Design and Modeling Systems,
Astrakhan State University of
Architecture and Civil Engineering

Статья поступила в редакцию 26.07.2023, принята к опубликованию 08.09.2023

УДК. 621. 923

**А.Н. Васин, Б.М. Изнаиров,
О.П. Решетникова, В.С. Еременко**

КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Аннотация. На основе анализа литературных источников в области абразивной обработки деталей машиностроения рассмотрены конструктивные особенности ряда опорных устройств, используемых при различных схемах бесцентрового шлифования.

Ключевые слова: конструкция, опорный нож, бесцентровое шлифование, качество обработки

**A.N. Vasin, B.M. Iznairov,
O.P. Reshetnikova, V.S. Eremenko**

DESIGN VARIETIES OF WORK SUPPORTING MEANS FOR CENTERLESS GRINDERS

Abstract. The article presents the design characteristics of a set of work supporting means used in various centerless grinding schemes based on the literature references related to the area of abrasive processing of machine parts.

Keywords: design, work blade, centerless grinding, processing quality

Введение

Финишное формирование параметров деталей машин типа тел вращения, таких как обеспечение размеров высоких квалитетов, качества поверхностей деталей машин малой шероховатости, формирование минимальных погрешностей формы продольного и поперечного сечения и др., чаще всего обеспечивается такими абразивными методами, как шлифование, суперфиниширование, хонингование, доводка, притирка. В качестве шлифовальной обработки в зависимости от конструктивных особенностей

деталей, их материала, точностных параметров и др. может использоваться круглое наружное шлифование, круглое внутреннее и особое место занимает бесцентровое шлифование.

Бесцентровым шлифованием можно обеспечить точность диаметральных размеров до 5 квалитета включительно и шероховатость поверхности до Ra 0,1 мкм. Этот метод шлифования характеризуется не только высокой точностью изготовления деталей, но и благодаря возможности использования высокоскоростных режимов обработки высокой производительностью процесса.

Характерной особенностью бесцентрового шлифования является сокращение вспомогательного времени, связанного с установкой заготовки, но довольно значительным увеличением подготовительно-заключительного времени, затрачиваемого на наладку оборудования. Поэтому в настоящее время этот метод широко используется только в массовом и крупносерийном производстве при изготовлении больших объемов продукции.

Специфической особенностью бесцентрового шлифования является отсутствие необходимости в установочно-зажимных приспособлениях, т. к. для установки заготовки используются в основном опорные ножи, служащие одним из элементов размещения и поддержки заготовки в рабочей зоне станка.

Вторым конструктивным элементом, необходимым для поддержки заготовки при обработке, а также для ее вращения при шлифовании является ведущий абразивный круг. Ведущий круг вполне соответствует своему названию, т. к. именно он вращает заготовку, при этом окружная скорость его невелика и составляет от 10 до 50 м/мин. Шлифовальный же круг является обрабатываемым и вращается с высокой скоростью порядка 30-35 м/с и выше.

Различают две принципиальные схемы бесцентрового шлифования – с продольной подачей заготовки вдоль оси шлифовального круга и с поперечной подачей, так называемое врезное шлифование. Вторая схема более универсальна, так как позволяет обрабатывать как детали цилиндрической формы, так и фасонные.

Цель данной статьи состоит в том, чтобы показать, что при большом конструктивном разнообразии деталей в машиностроении для получения необходимого результата с использованием обработки на бесцентрово-шлифовальных станках необходим творческий подход в выборе опорных устройств, иногда принципиально отличающийся от общепринятой конструкции опорных ножей.

Зачастую только использование специфических опор позволит обеспечить качественную обработку поверхностей детали не за счет точности применяемого оборудования, а за счет минимизации погрешности установки заготовки.

Опорные устройства для различных схем бесцентрового шлифования

В подавляющем большинстве случаев для обеспечения качественной обработки ось вращения заготовки располагается выше плоскости расположения ведущего и шлифовального кругов.

Однако иногда для черновой обдирки круглого проката ось его вращения размещают ниже этой плоскости и в качестве опорного ножа применяется поддерживающее устройство призматической формы. Происходит как бы абразивное протягивание между двумя абразивными кругами, один из которых вращает заготовку, а другой ее при этом обрабатывает.

В качестве устройства для поддержки заготовки в рабочей зоне бесцентрово-шлифовального станка чаще всего используется односкосый опорный нож. При этом его функцией является не только поддержка заготовки на заданном уровне ее расположения в рабочей зоне, но и обеспечение плотного и надежного контакта с абразивным ведущим кругом, что создает условия образования фрикционной пары: заготовка – ведущий круг. Эта пара должна обеспечить надежное вращение заготовки – в идеале без проскальзывания либо с минимальным проскальзыванием, величина которого зависит от целого ряда факторов: массы заготовки, угла скоса опорного ножа, коэффициента трения фрикционной пары, состава СОЖ, частоты вращения ведущего круга и др. При этом коэффициент трения фрикционной пары заготовка – ведущий круг должен быть выше коэффициента трения заготовка – опорный нож.

В связи с этим угол скоса опорного ножа (угол, образованный линией, лежащей в плоскости горизонта, проходящей через вершину опорного ножа, и линией, лежащей на рабочей (опорной) поверхности ножа), необходимо выбирать наибольшим. Однако слишком большой угол скоса опорного ножа может привести к заклиниванию заготовки во время ее обработки. Поэтому чаще всего этот угол рекомендуется принимать равным не более 30-35 градусов.

Существуют и другие разновидности опорных ножей, конструкции которых вызваны либо конструктивными особенностями обрабатываемых деталей, либо желанием авторов повлиять на повышение качества обработки, либо какими-то другими мотивами.

Так, например, авторы [1] предлагают использовать для обработки мелких деталей в целях предотвращения их отрыва от поверхности ножа напором СОЖ магнитные или намагниченные опорные односкосые ножи. Для этих целей они предлагают либо намагнитить опорный нож в катушке соленоида, либо поместить его на магнитную

плиту плоскошлифовального станка, либо вырезать в опорном ноже окно и вставлять в него пластину из постоянного магнита (рис. 1).

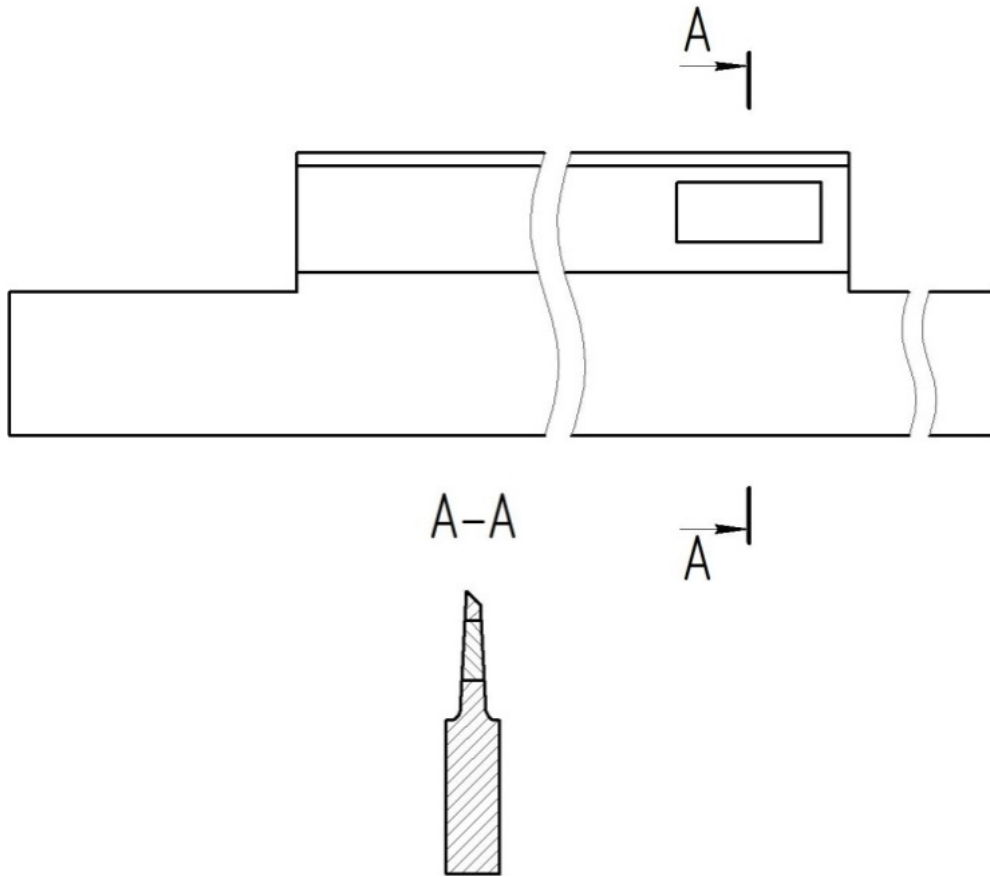


Рис. 1. Опорный нож по А.С. СССР № 111349

К недостаткам такой конструкции опорного ножа можно отнести ограничение его использования только для магнитных материалов. Комбинированная из различных по свойствам материалов рабочая поверхность ножа будет подвергаться в разной степени ее износу, что приведет к возникновению значительных погрешностей в виде отклонения ее от плоскостности.

Помимо этого, в процессе обработки детали будут намагничиваться, что потребует введения в технологический процесс дополнительных операций по их размагничиванию и мойке с целью удаления примагниченной стружки.

Решить же проблему предотвращения отрыва мелких деталей от поверхности ножа можно и другими способами, например изменением направления и силы потока СОЖ, величиной угла скоса опорного ножа, частотой вращения ведущего круга, высотой превышения оси вращения заготовки над плоскостью расположения ведущего и шлифовального кругов и т. д.

Вместо опорного ножа при бесцентровом шлифовании автор [2] для обработки деталей типа колец, дисков, втулок, валов и др. предлагает использовать специальные опорные устройства, содержащие опорные башмаки, установленные на шарнире, на торце которого располагаются базовые элементы со сферическими рабочими поверхностями (рис. 2).

Автор считает, что это повысит точность базирования деталей. Однако конструктивно такие устройства значительно сложнее классических опорных ножей, во много раз дороже и их использование потребует внесения серьезных изменений в конструкцию бесцентрово-шлифовального станка либо ее доработки на производстве, а установка предлагаемого устройства на станок вместо опорных ножей приведет к дополнительным сложностям и затратам времени на переоборудование шлифовального станочного парка.

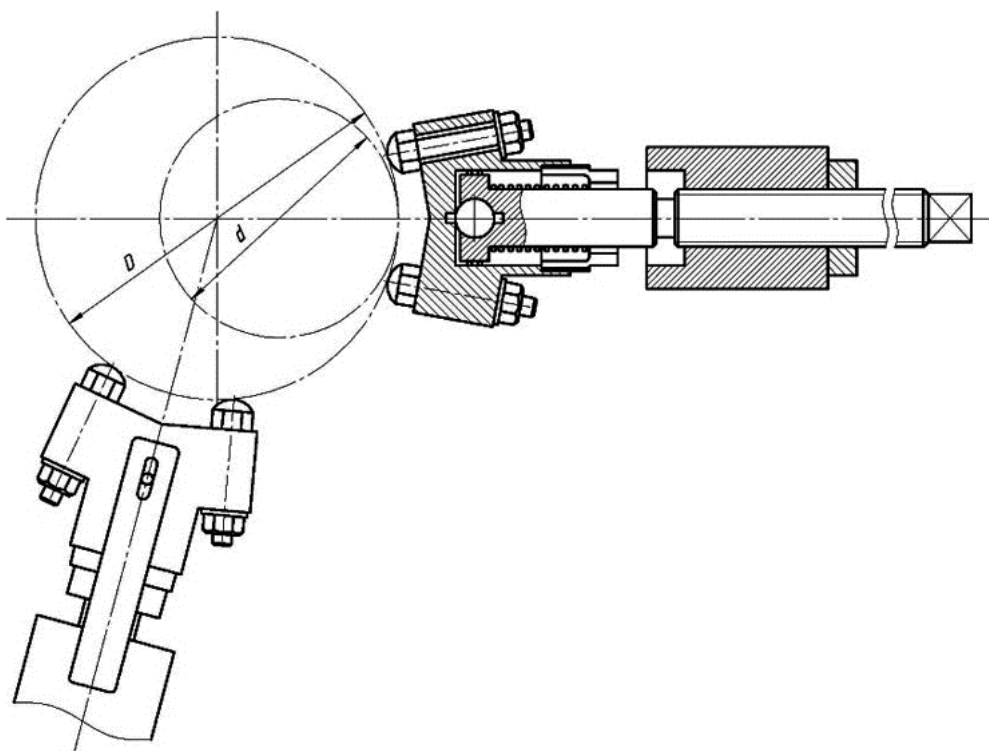


Рис. 2. Опора для базирования деталей по А.С. СССР № 1579733

Видоизмененной схемой опорного устройства для базирования деталей при бесцентровом шлифовании в виде поворотной с помощью шарнира призмы является устройство [3], в котором роль шарнира выполняют упругие боковые перемычки, за счет податливости которых рабочие поверхности призмы подстраиваются под конкретные параметры обрабатываемых деталей (рис. 3).

Авторы считают, что благодаря этому точность обработки повышается. Однако если податливость упругих перемычек будет слишком большой, то это может привести

к повышению вибраций при обработке и качество обработки наоборот может снизиться. Если же податливость упругих перемычек будет недостаточной, то это устройство свою заданную функцию выполнять не сможет и это никак на точности изготовления деталей при бесцентровом шлифовании не отразится.

Значит, чтобы устройство «правильно» работало, необходимо каждый раз выполнять соответствующие расчеты, учитывающие массу обрабатываемых деталей, характеристики их материала, глубину резания, скорости резания и др. Кроме того, из материалов авторского свидетельства непонятно, как регулировать высоту опорного устройства и не приведет ли поворот призмы к контактам с ведущим и шлифовальным кругами.

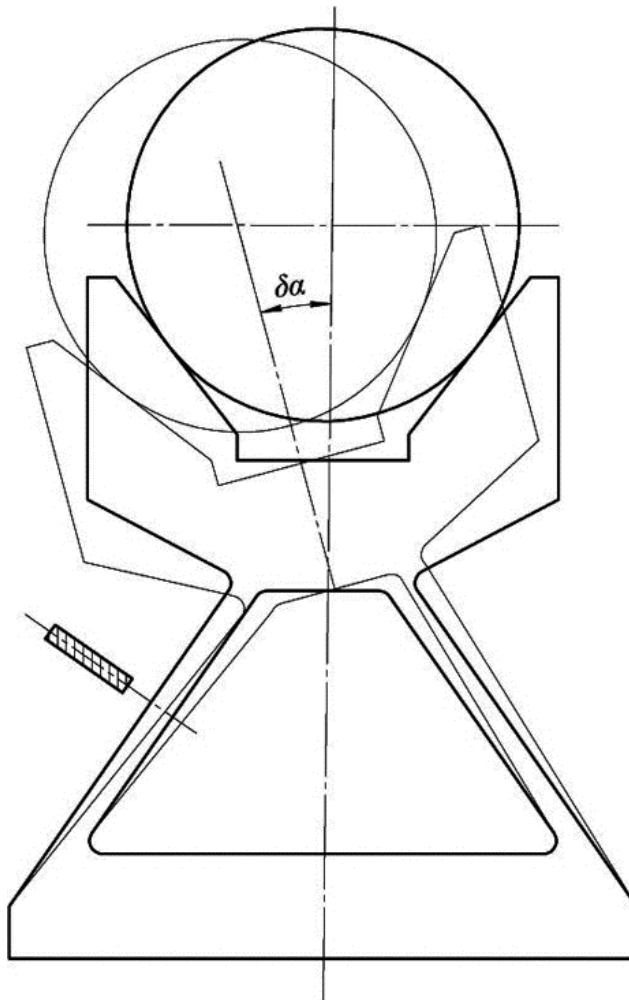


Рис. 3. Устройство для базирования изделий при бесцентровом шлифовании по А.С. СССР № 260458

В опорном устройстве для бесцентрового шлифования [4] авторы предлагают в целях повышения устойчивости опорного ножа к колебаниям системы опорную ра-

бочую поверхность ножа связать с его основанием параллельными пластинами, установленными под углом в диапазоне $45^\circ < \alpha < 75^\circ$ (рис. 4).

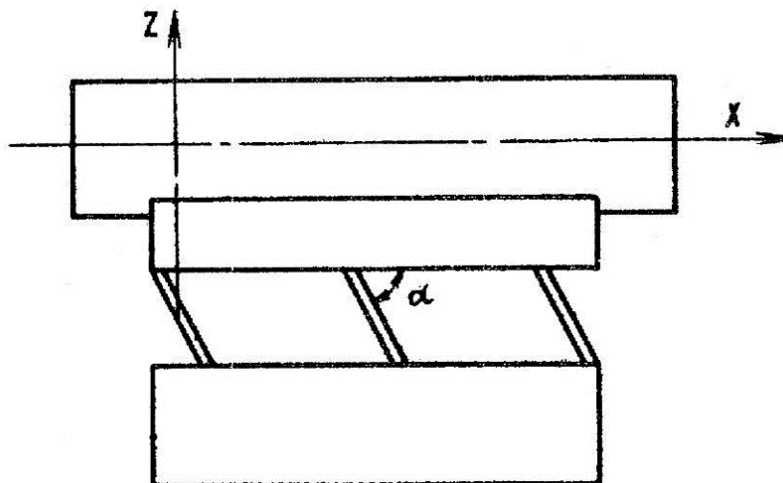


Рис. 4. Опорный нож бесцентрово-шлифовального станка по А.с. СССР № 921798

Как считают авторы, это позволит повысить виброустойчивость системы и погасить ее автоколебания. Такая конструкция опорного ножа по сравнению с монолитным его исполнением, по мнению авторов, создает равномерное давление на обрабатываемую деталь по всей ее длине со стороны абразивных кругов. На наш взгляд, использование пластин в качестве связующих конструктивных элементов вместо монолитной конструкции опорного ножа, наоборот, будет способствовать увеличению вибраций в системе СПИД вследствие снижения ее жесткости.

В целях повышения эффективности формообразования сферы при бесцентровом шлифовании шариков авторы [5] предлагают рабочую поверхность опорного ножа выполнять не гладкой, а рифленой.

Как правило, при бесцентровом шлифовании рабочую поверхность опорного ножа стремятся выполнять максимально гладкой – с минимальной величиной шероховатости и это вполне оправданно, т. к. снижает величину силы трения обрабатываемой заготовки с опорным ножом.

Однако бесцентровое шлифование сферических поверхностей типа шаров имеет свою специфику, т. к. для получения развертки сферы на плоскость заготовка должна получать многоосное вращение в отличие от цилиндрических деталей, вращающихся только вокруг своей оси.

Если для обработки сферических поверхностей в качестве ведущего круга используется абразивный круг, спрофилированный в виде винтовой канавки, выполня-

ющей роль не только вращения заготовки, но и ее транспортирования в рабочей зоне бесцентрово-шлифовального станка, то необходимо учитывать специфику этого взаимодействия. Так, при движении сферической заготовки под воздействием транспортирующей канавки ведущего круга вдоль рабочей поверхности опорного ножа его плоская рабочая поверхность, выполненная с чрезвычайно низкой шероховатостью, имеет одинаковый коэффициент трения скольжения как в продольном, так и в поперечном направлениях. Это приводит к тому, что формообразующее движение развертывания сферы становится нестабильным: вместо качения по поверхности опорного ножа заготовка может скользить, не вращаясь, а это приводит к снижению эффективности формообразования и, соответственно, увеличению времени обработки сферы.

Для повышения коэффициента трения скольжения сферической заготовки по рабочей поверхности опорного ножа вдоль нее при сохранении низкого значения коэффициента трения сферической заготовки с поверхностью опорного ножа в поперечном направлении при бесцентровом шлифовании авторами предлагается опорную поверхность ножа выполнять в виде плоскости с нанесенными на нее рифлями специального профиля.

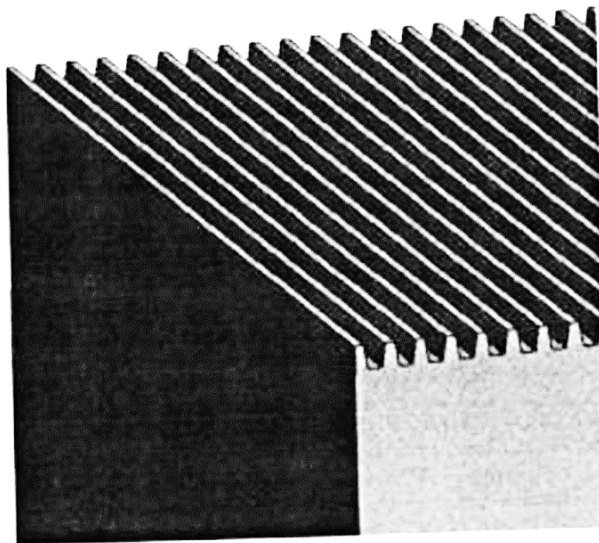


Рис. 5. Опорный нож по патенту № 208974

Исследования процесса круглого бесцентрового шлифования позволили авторам определить, что вследствие съема припуска на сторону возникает погрешность по величине диаметра за счет непрерывного смещения измерительной базы наладочного размера в виде хорды, соединяющей точки контакта заготовки с ведущим и шлифовальным кругами.

По окончании обработки фактически выполняемым размером будет не диаметр сферы, а величина этой хорды, что приводит к возникновению величины погрешности операционного размера.

Указанную погрешность можно минимизировать путем использования изменения конструкции опорного ножа [6]. Модернизированная конструкция опорного ножа (рис. 6) предусматривает возможность обеспечения оптимального положения центра поперечного сечения заготовки по мере съема припуска на уровне, обеспечивающем сохранение достигнутого значения наладочного размера. Для этого его опорная поверхность должна быть не прямолинейной, а комбинированной, т. е. состоять из нескольких участков.

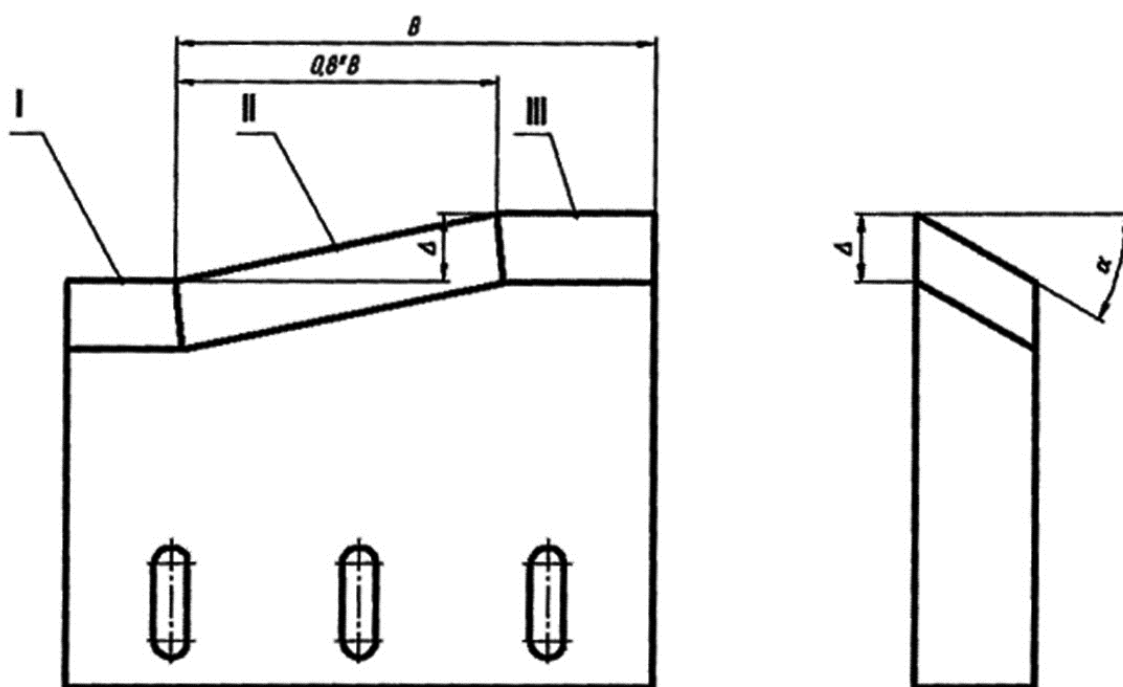


Рис. 6

Участок I предназначен для размещения заготовки перед началом обработки. Его поверхность параллельна осям ведущего и шлифовального кругов.

Участок II выполнен с некоторым уклоном. Величина уклона Δ позволяет при перемещении заготовки по поверхности ножа в процессе снятия припуска постоянно достигать положение центра сферы, обеспечивающее неизменное положение хорды, размер которой и является наладочным.

Участок III предназначен для окончательного формирования размера сферы в процессе выхаживания. Этот участок имеет поверхность, параллельную осям ведущего и шлифовального кругов.

Машиностроительное производство в области бесцентрового шлифования достаточно консервативно, и в большинстве случаев используются опорные ножи классической односкосой конструкции, тем не менее в целях повышения точности и эффективности этого процесса научным и инженерным сообществом постоянно предлагаются все новые конструктивные решения, что и показывает этот краткий аналитический обзор глубиной более 60 лет.

Заключение

Приведенный краткий аналитический обзор опорных устройств, используемых при бесцентровом шлифовании, показывает, что для получения качественного результата при бесцентровом шлифовании можно использовать не только различные схемы формирования рабочей зоны бесцентрово-шлифовального станка, но и различные соответствующие поставленным целям опорные устройства, иногда принципиально отличающиеся от классического понимания «опорный нож».

Список источников

1. Авторское свидетельство № 111349 СССР, Класс 67а, 24₀₁, 32₀₁. Нож бесцентрово-шлифовального станка: № 583248: заявл. 13.09.1957: опубл. 1.10.1959 / Кирин И.С., Горин В.П. – 2 с.: ил.
2. Авторское свидетельство № 1579733 СССР, МКИ В 24В 5/307, В 23Q 3/00. Опора для базирования деталей: заявл. 03.12.1987: опубл. 23.07.1990: бюл. № 27 / Игнатенков А.В. – 3 с.: ил.
3. Авторское свидетельство № 260458 СССР, Кл. 67а, 24/01. МПК В 24b. Устройство для базирования изделий при бесцентровом шлифовании: заявл. 30.12.1968: опубл. 22.12.1969: бюл. № 3 / Норкин В.Н., Романов В.Л. – 2 с.: ил.
4. Авторское свидетельство № 921798 СССР, В 24 В 5/18. Опорный нож бесцентрово-шлифовального станка: заявл. 04.01.1980: опубл. 23.04.1982: бюл. № 15 / Никулкин Б.И., Мамаева Н.Б. – 3 с.: ил.
5. Патент № 208974 Российская Федерация, МПК В24В 11/08 (2006.01), СПК В24В 11/08 (2021.01). Опорный нож: № 2021118079: заявл. 21.06.2021: опубл. 25.01.2022 / Васин А.Н., Изнаиров Б.М., Решетникова О.П., Белоусова Н.В., Балтаев Т.А., Семочкин Г.А.; заявитель СГТУ имени Гагарина Ю.А. – 8 с.: ил.
6. Патент № 213598 Российская Федерация, МПК В24В 11/08 (2006.01), СПК В24В 11/08 (2006.01). Опорный нож: № 2021103708: заявл. 12.02.2021: опубл. 19.09.2022 / Решетникова О.П., Васин А.Н., Изнаиров Б.М., Белоусова Н.В., Семочкин Г.А.; заявитель СГТУ имени Гагарина Ю.А. – 8 с.: ил.

Сведения об авторах

Васин Алексей Николаевич –
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного техниче-
ского университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey N. Vasin –
Dr. Sc. Tech., Professor
Department of Mechanical Engineering
Technology, Yuri Gagarin State
Technical University of Saratov

Изнаиров Борис Михайлович –
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного техниче-
ского университета имени Гагарина Ю.А.

Boris M. Iznairov –
PhD (Engineering Science),
Associate Professor, Department of
Mechanical Engineering Technology,
Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov

Решетникова Ольга Павловна –
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного техниче-
ского университета имени Гагарина Ю.А.

Olga P. Reshetnikova –
PhD (Engineering Science),
Associate Professor, Department of
Mechanical Engineering Technology,
Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov

Еременко Виктор Сергеевич –
магистрант кафедры «Технология
машиностроения» Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Viktor S. Eremenko –
Master student,
Department of Mechanical Engineering
Technology, Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov

Статья поступила в редакцию 26.06.2023, принята к опубликованию 15.09.2023

Л.А. Гулиева, В.А. Кошуро, А.А. Фомин

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ ТИТАНОВЫХ БЛОКОВ
МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ
АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ
ИНДУКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Аннотация. В работе приводились исследования микроструктуры и распределение микротвердости по сечению пористых титановых блоков, сформированных селективным лазерным сплавлением и подвергнутых индукционной термической обработке при токе индуктора 1900-2880 А, температуре 800-1050° С и длительности процесса 120-600 с. В результате термического воздействия до 34-35 вес.%. увеличивалось содержание кислорода в поверхностном слое, а также формировались оксидные кристаллы размером от 150 мкм. Наибольшее влияние на размер структурных элементов оказывала длительность процесса. Исходные блоки характеризовались неравномерной микротвердостью по сечению, зарегистрированы перепады микротвердости почти в 300 HV_{0,49}. Проведение термической обработки позволило снизить различия микротвердости до 50 HV_{0,49}.

Ключевые слова: титан, пористый блок, индукционно-термическая обработка, микротвердость

L.A. Gulieva, V.A. Koshuro, A.A. Fomin

**STUDY OF POROUS TITANIUM BLOCKS FOR MEDICAL PURPOSE,
FORMED BY THE ADDITIVE METHOD AND SUBSEQUENT INDUCTION
THERMAL TREATMENT INDUCTION THERMAL TREATMENT
OF POROUS TITANIUM BLOCKS FOR MEDICAL PURPOSE
FORMED BY THE ADDITIVE METHOD**

Abstract. The work presented studies of the microstructure and distribution of microhardness over the cross-section of porous titanium blocks formed by selective laser melting and subjected to induction heat treatment at an inductor current of 1900-2880 A, a temperature of 800-1050° C and a process duration of 120-600 s. As a result of thermal exposure up to 34-35 wt.%. the oxygen content in the surface layer increased, and oxide crystals with a size of 150 μm or more were formed. The duration of the process had the

Машиностроение

greatest influence on the size of the structural elements. The initial blocks were characterized by uneven microhardness across the cross-section; differences in microhardness of almost 300 HV_{0.49} were recorded. Heat treatment made it possible to reduce the differences in microhardness to 50 HV_{0.49}.

Keywords: *titanium, porous block, induction heat treatment, microhardness*

Введение

В последнее время в ортопедии и хирургии выросла потребность в компактных материалах (в виде блоков), позволяющих объемно замещать поврежденную ткань или ускорять ее регенерацию. Костные блоки должны характеризоваться остеокондуктивными, а в идеальном случае – остеоиндуктивными свойствами и состоять из биосовместимого материала, по структурно-механическим свойствам схожего с костной тканью [1].

Подобные конструкции изначально производились из ауто-, алло- и ксенообъектов. Костные блоки из искусственных материалов (кальцийфосфатные керамики, композиты, полимеры, биосовместимые металлы и сплавы) становятся более востребованными с учетом развития аддитивных технологий и, соответственно, появления возможности производить персонализированные имплантируемые конструкции, в том числе высокопористые блоки (scaffold) для замещения дефектов костной ткани [2].

Известные аддитивные методы, например стереолитография (SLA), селективное лазерное сплавление (SLM), селективное лазерное спекание (SLS), сплавление электронным лучом (EBM), экструзия материалов (ME) позволяют формировать твердые тела сложной геометрии с регулируемыми структурными (размер пор, суммарная пористость) и механическими (прочность, модуль упругости, твердость) параметрами. В настоящее время прослеживается тенденция к обеспечению механических характеристик костных блоков за счет подбора параметров структуры, а не последующей термической или иной обработки. Например, процессы моделирования и экспериментальные исследования позволили установить, что за счет регулирования общей пористости (от 68,46 до 90,98 %) и формы зерен (при среднем размере пор 450-700 мкм) можно получить SLM-блоки из Ti-6Al-4V со свойствами (модуль упругости 10,9 ГПа, предел прочности 236,34 МПа, проницаемость $12,3 \times 10^{-8} \text{ м}^2$ и коэффициент концентрации напряжений 5,07), близкими к костной ткани [3]. Процессы SLM и аналогичные имеют ряд особенностей, которые приводят к возникновению дефектов микроструктуры готового изделия, что обуславливает необходимость корректировки конструкции на этапе проектирования или введение дополнительных технологических операций [4]. Также при SLM возникают: внутренние напряжения, трещины, поры, неравномерность фазового состава (если применяется материал типа Ti-6Al-4V, в котором происходят превращения $\alpha + \beta \rightarrow \beta \rightarrow \text{liquid} \rightarrow \beta \rightarrow \alpha + \beta/\alpha'$), что объясняет высокую анизотропию свойств готовых изделий [5].

Рациональным методом регулирования механических свойств металлических изделий является термическая обработка. Например, для блоков из Ti-6Al-4V согласно требованиям GJB 3763A-2004 предлагается после SLM проводить отжиг в вертикальной трубчатой печи с нейтральной атмосферой со скоростью нагрева примерно $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ при 600°C в течение 60 минут или полный отжиг при 840°C в течение 30 мин с последующим печным охлаждением [6].

Длительные процессы термической или иной обработки значительно увеличивают стоимость конечного изделия. Более рациональным является использование индукционной термической обработки (ИТО), которая, вероятно, не только позволит регулировать механические свойства аддитивной конструкции, но и сформировать на поверхности наноразмерные оксидные структуры [7]. Поэтому цель данной работы заключалась в исследовании поверхностной структуры и распределения микротвердости по сечению пористого SLM-блока после ИТО.

Методология экспериментальных работ

В исследованиях применялись образцы, конструктивно выполненные в виде цилиндров диаметром 14 мм, высотой $14 \pm 0,5$ мм. По боковой поверхности и на торцах были предусмотрены отверстия 0,4 и 0,8 мм с шагом 1,6 мм (рис. 1 а).

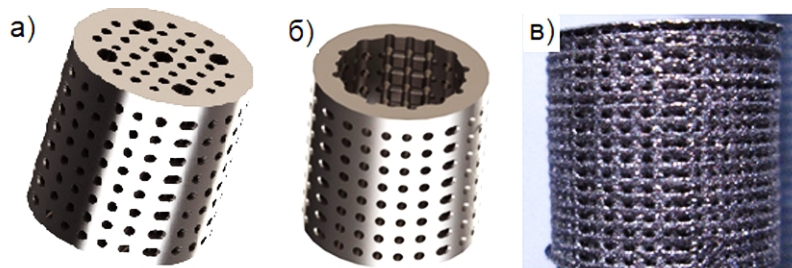


Рис. 1. Модель экспериментального образца (а, б) и SLM-блок, изготовленный по данной модели (в)

Титановые блоки формировались SLM методом из порошка титана марки BT6 (Ti-6Al-4V) на 3D-принтере «AddSol D520». Для первичной оценки обрабатываемости резанием, снижения прочности при испытании на сжатии и более интенсивного протекания процессов окисления в блоках формировалось осевое отверстие диаметром 10 мм. Согласно оценке модели в среде SolidWorks (рис. 2 б) осевое сквозное отверстие позволило снизить массу с 6,19 до 3,4 г, объем с $1,37$ до $0,77\text{ см}^3$ при незначительном снижении площади поверхности (с $37,07$ до $20,84\text{ см}^2$).

Конструкция разрабатывалась с учетом результатов анализа научно-технической литературы. После формообразования образцы подвергались ультразвуковой очистке в водном растворе этилового спирта с последующей сушкой на воздухе (рис. 1 в).

ИТО титановых блоков проводилась с использованием установки «ВЧ-15» в кислородосодержащей (воздушной) атмосфере при нормальном давлении. Для проведения термической обработки образцы размещались в рабочей зоне трех виткового индуктора высотой 24 мм и внутренним диаметром 33 мм (рис. 2). ИТО проводился при токе индуктора 1900-2880 А, обеспечивающем нагрев блоков до температуры (T , °С) 800-850, 950-1050 и длительности процесса (τ , с) 120, 300, 600 секунд.

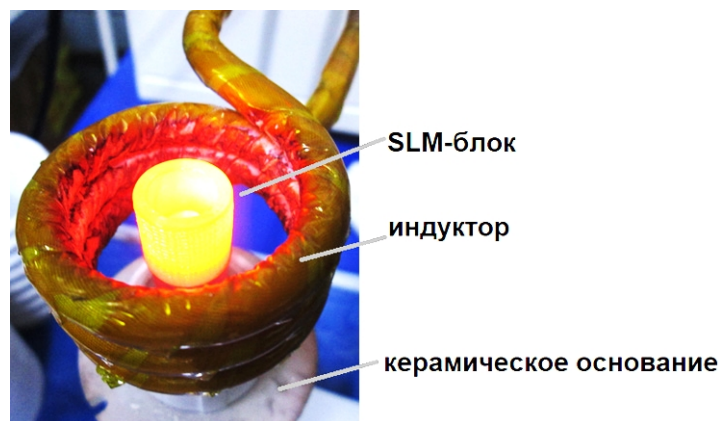


Рис. 2. Процесс ИТО титановых SLM-блоков

Структура поверхности исследовалась методами оптической и растровой электронной микроскопии с использованием оптической системы микротвердомера «ПМТ-3» и электронного микроскопа «MIRA II LMU». Равномерность микротвердости по сечению блоков и соответственно равномерность распределения внутренних напряжений определялись по поперечным шлифам с шагом от 50 мкм (рис. 3, 4) на твердомере «ПМТ-3м» при нагрузке на индентор 0,49 Н (50 гс).

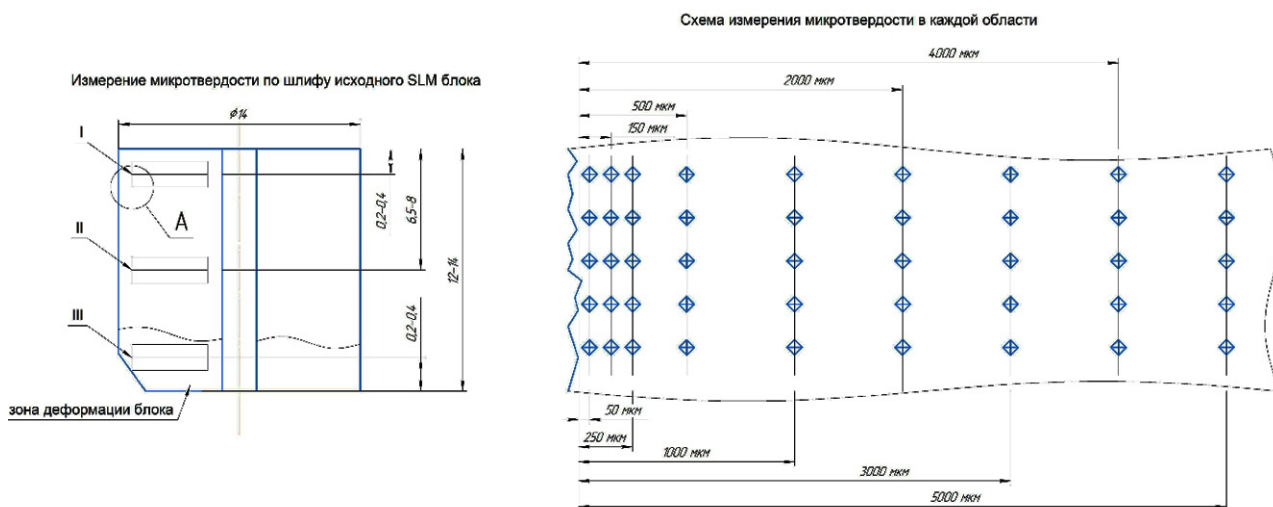


Рис. 3. Схема измерения микротвердости по поперечным микрошлифам исходных титановых SLM-блоков

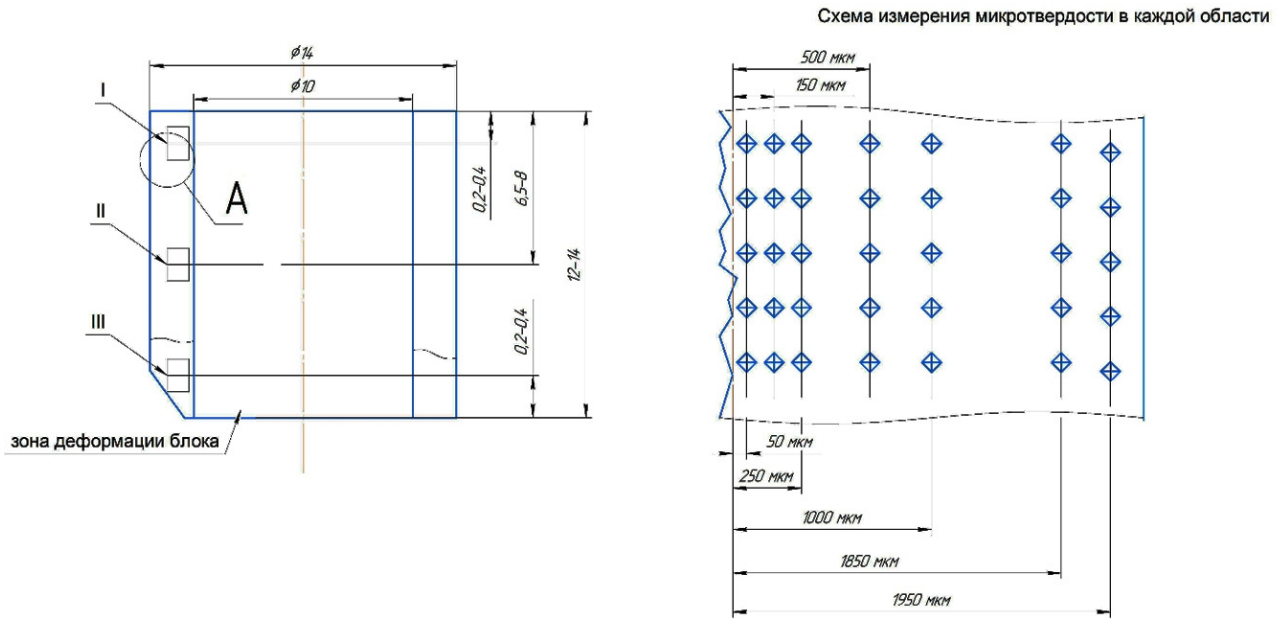


Рис. 4. Схема измерения микротвердости по поперечным микрошлифам титановых SLM-блоков после формирования осевого отверстия и ИТО

Результаты исследований

Процесс SLM позволил изготовить из титана ВТ6 пористый блок соответствующей геометрии (рис. 1 а). Блоки формировались из отдельных сильно проплавленных частиц, на границе которых не наблюдались дефекты в виде трещин и сколов (рис. 5 а). Визуализировалось значительное количество остаточного, не проплавленного после печати порошкового материала в виде сферических частиц размером до 40 мкм, скопившихся в большинстве случаев в каналах образцов (рис. 5 б). Оставшийся порошковый материал в дальнейшем удалялся ультразвуковой обработкой.

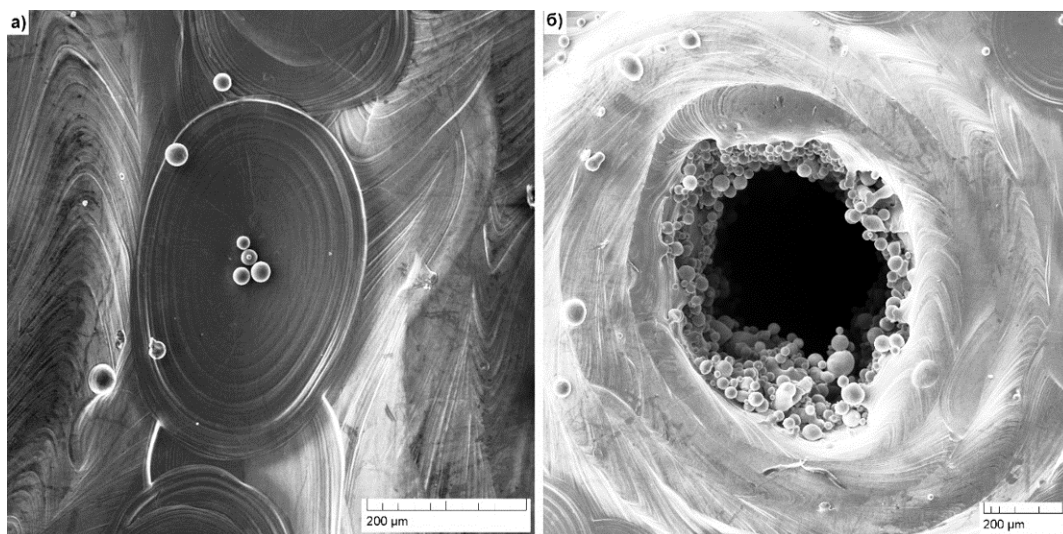


Рис. 5. Микроструктура (а) поверхности SLM-блока и не сплавленный порошок в канале пористого блока (б)

Машиностроение

Процесс ИТО приводил к окислению образцов (рис. 6). Интенсивность процесса роста оксидных кристаллов зависела в большей степени от длительности процесса оксидирования, а не от температуры обработки. Например, при температуре 800-850° С и длительности обработки 600 секунд на поверхности титана образуются оксидные кристаллы от 200 нм (рис. 6).

Большая температура и меньшая длительность ИТО приводят к образованию меньших по размеру оксидных кристаллов, размером до 150-200 нм.

Содержание кислорода в поверхностном слое материала составляло примерно 34-35 вес.%.

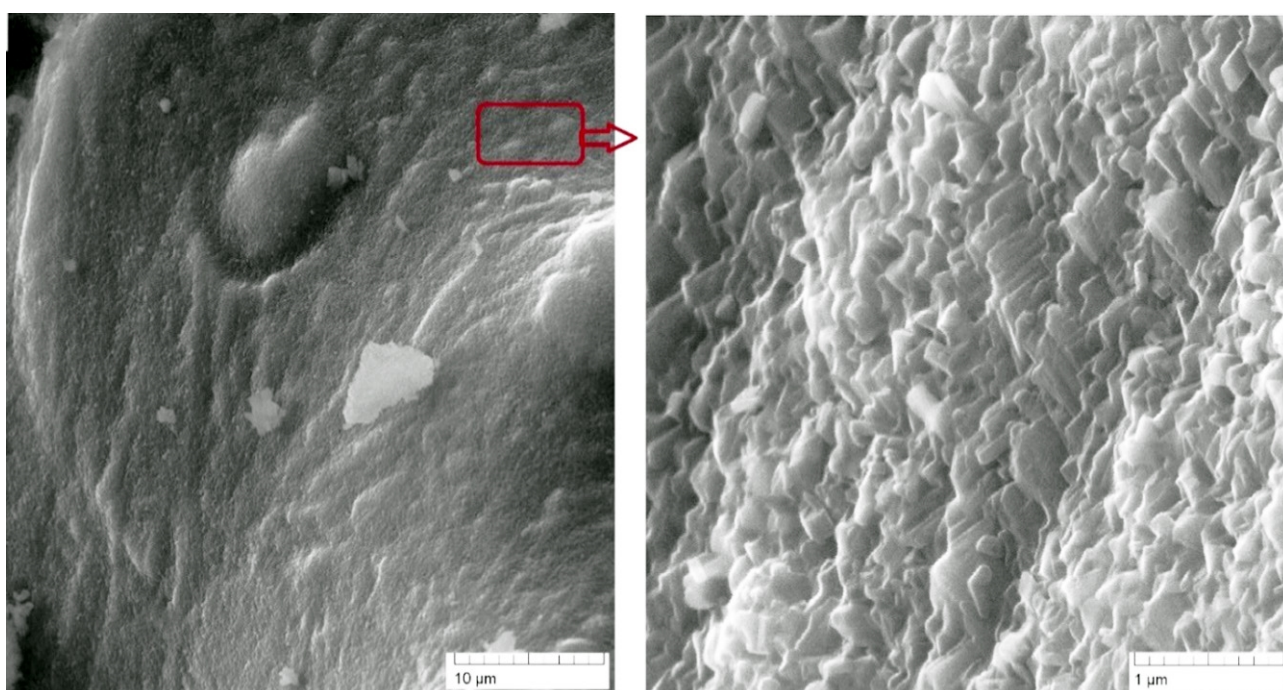


Рис. 6. Микроструктура титанового блока после ИТО при 800-850° С и длительности обработки 10 минут

Процесс ИТО приводил не только к росту оксидных структур, но и к выравниванию микротвердости по сечению, таким образом, вероятно, происходил отжиг напряженной после SLM структуры блока.

Исходные блоки характеризовались перепадами микротвердости почти в 300 HV_{0,49}. Проведение термической обработки позволило снизить различия микротвердости до 50 HV_{0,49} (табл. 1).

Наличие осевого отверстия способствовало незначительному увеличению разброса микротвердости по сечению блока (табл. 2).

Таблица 1

Распределение микротвердости по сечению SLM-блока исходной конструкции (измерения проводились согласно схеме на рис. 3).

Тип обработки	Участок	Микротвердость HV _{0,49} металла на разной глубине от боковой поверхности SLM блока								
		50 мкм	150 мкм	250 мкм	500 мкм	1000 мкм	2000 мкм	3000 мкм	4000 мкм	5000 мкм
Без обработки	1	441±26	438±62	393±20	415±35	468±42	422±47	423±43	440±25	425±43
	2	261±47	277±32	228±44	237±37	169±35	218±29	271±34	251±38	239±31
	3	259±54	244±67	224±51	218±27	249±28	230±38	232±20	229±47	208±37
ИТО при 800-850° С, 300 с	1	221±50	248±35	274±43	270,4±19	242±33	259±32	256±21	247±24	273±49
	2	250±24	231±39	240±18	233±49	273±30	259±25	272±31	230±35	235±36
	3	259±47	270±54	254±31	216±35	269±18	265±38	253±36	253±36	255±36

Таблица 2

Распределение микротвердости по сечению SLM-блока с осевым отверстием после ИТО (схема измерения изображена на рис. 4)

Тип обработки	Участок	Микротвердость HV _{0,49} металла на разной глубине от боковой поверхности SLM блока						
		50 мкм	150 мкм	250 мкм	500 мкм	1000 мкм	1850 мкм	1950 мкм
Сверление, ИТО при 800-850° С, 300 с	1	276±23	236±18	249±30	246±14	230±32	277±10	244±10
	2	268±49	254±25	231±47	257±44	227±63	243±45	229,39±10
	3	305±26	223±30	246±41	250±22	237±46	204±46	–

Выводы

Согласно полученным данным технология SLM позволяет изготавливать титановые пористые изделия со сквозными каналами заданного размера. Последующая индукционно-термическая обработка приводит к выравниванию микротвердости по сечению блока и позволяет формировать на поверхности титановых SLM-блоков оксидные слои, характеризующиеся наличием оксидных кристаллов, размер которых зависит от длительности процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lichte P., Pape H.C., Pufe T., Kobbe P., Fischer H. Scaffolds for bone healing: concepts, materials and evidence // *Injury*. – 2011. – V. 42. – № 6. – P. 569-573.
2. Qu H. Additive manufacturing for bone tissue engineering scaffolds // *Materials Today Communications*. – 2020. – V. 24. – P. 101024.
3. Arjunan A., Demetriou M., Baroutaji A., Wang C. Mechanical performance of highly permeable laser melted Ti6Al4V bone scaffolds // *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. – 2020. – V. 102. – P. 103517.
4. Liu F., Zhang D. Z., Zhang P., Zhao M., Jafar S. Mechanical properties of optimized diamond lattice structure for bone scaffolds fabricated via selective laser melting // *Materials*. – 2018. – V. 11. – № 3. – P. 374.
5. Liu S., Shin Y. C. Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review // *Materials & Design*. – 2019. – V. 164. – P. 107552.
6. Liang H., Yang Y., Xie D., Li L., Mao N., Wang C., Tian Z., Shen L. Trabecular-like Ti-6Al-4V scaffolds for orthopedic: fabrication by selective laser melting and in vitro biocompatibility // *Journal of Materials Science & Technology*. – 2019. – V. 35. – № 7. – P. 1284-1297.
7. Fomin A. Superhard titania coatings produced on titanium using induction heat treatment // *Ceramics International*. – 2019. – V. 45. – № 7. – P. 8258-8264.

Сведения об авторах

Гулиева Лейла Адилевна –
магистрант кафедры «Материаловедение
и биомедицинская инженерия»
Саратовского государственного техниче-
ского университета имени Гагарина Ю.А.

Leila A. Gulieva –
Master student, Department
of Materials Science and Biomedical
Engineering, Yuri Gagarin State
Technical University of Saratov

Кошуро Владимир Александрович –
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Материаловедение и биомеди-
цинская инженерия» Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Vladimir A. Koshuro –
PhD (Engineering Science), Associate
Professor, Department of Materials
Science and Biomedical Engineering,
Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov

Фомин Александр Александрович –
доктор технических наук, заведующий
кафедрой «Материаловедение
и биомедицинская инженерия»
Саратовского государственного техниче-
ского университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksandr A. Fomin –
Dr. Sc. Tech., Head of Department of
Materials Science and Biomedical
Engineering, Yuri Gagarin State
Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 07.07.2023, принята к опубликованию 08.09.2023

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.017:620.197

**И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров,
Р.Дж. Файзуллоев, Н.А. Аминова**

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА $AlTi_{0.1}$, МОДИФИЦИРОВАННОГО БАРИЕМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА $NaCl$

Аннотация. Алюминий по электропроводности среди всех известных металлов занимает четвертое место после серебра, меди и золота. Электропроводность отожженного алюминия составляет приблизительно 62 % IACS электропроводности отожженной стандартной меди, который при 20° С принимается за 100 % IACS. Однако благодаря малому удельному весу алюминий имеет проводимость на единицу массы, в 2 раза большую, чем медь. Это свойство алюминия дает нам представление об экономической выгодности применения его в качестве материала для проводников. При равной проводимости (одна и та же длина) алюминиевый проводник имеет площадь поперечного сечения, на 60 % большую, чем медный, а масса его составляет только 48 % массы меди. В большинстве случаев в электротехнике использование алюминия в качестве проводника затруднено, а часто и просто невозможно из-за его низкой механической прочности. Повышение механической прочности алюминия возможно за счет введения легирующих добавок, т. е. создания сплавов. В таком случае механическая прочность возрастает, вызывая заметное снижение электропроводности. В статье приведены результаты экспериментального исследования влияния бария на анодное поведение алюминиевого проводникового сплава $AlTi_{0.1}$, в среде электролита $NaCl$. Исследования проведены потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с. Показано, что модифицирование барием алюминиевого проводникового сплава $AlTi_{0.1}$ способствует смещению потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации в положительную область значений. Скорость коррозии алюминиевого проводникового сплава $AlTi_{0.1}$ при модифицировании

0,01-0,5 мас. % барием снижается на 10-20 %. От концентрации хлорид-иона в электролите NaCl отмечены рост скорости коррозии сплавов и смещение в область отрицательных значений величины электрохимических потенциалов.

Ключевые слова: алюминиевый сплав AlTi0.1, барий, потенциостатический метод, электролит NaCl, стационарный потенциал, потенциал коррозии, скорость коррозии

I.N. Ganiev, F.Sh. Zokirov, R.J. Faizulloev, N.A. Aminova

ANODE BEHAVIOR OF ALUMINUM CONDUCTOR ALLOY AlTi0.1 MODIFIED WITH BARIUM IN A NaCl ELECTROLYTE MEDIUM

Abstract. Aluminum in terms of electrical conductivity among all known metals ranks fourth after silver, copper and gold. The electrical conductivity of annealed aluminum is approximately 62 % IACS of the electrical conductivity of annealed standard copper, which at 20° C is taken as 100 % IACS. However, due to its low specific gravity, aluminum has a conductivity per unit mass 2 times greater than copper. This property of aluminum gives us an idea of economic viability of using it as a material for conductors. With equal conductivity (the same length), the aluminum conductor has a cross-sectional area 60 % larger than copper, and its mass is only 48 % of the mass of copper. In most cases, in electrical engineering, the use of aluminum as a conductor is difficult, and often simply impossible due to its low mechanical strength. An increase in the mechanical strength of aluminum is possible due to introduction of alloying additives, i.e. creating alloys. In such a case, the mechanical strength increases, causing a noticeable decrease in electrical conductivity. The article presents the results of an experimental study of the effect of barium on the anodic behavior of the aluminum conductor alloy AlTi0.1 in the NaCl electrolyte medium. The studies were carried out by the potentiostatic method in the potentiodynamic mode at the potential sweep rate of 2 mV/s. It is shown that the barium modification of the aluminum conductor alloy AlTi0.1 promotes a shift in the potentials of free corrosion, pitting, and repassivation to the positive range of values. The corrosion rate of the aluminum conductor alloy AlTi0.1 when modified with 0,01-0,5 wt.% barium is reduced by 10-20 %. The concentration of the chloride ion in the NaCl electrolyte increases the corrosion rate of the alloys and shifts to the region of negative values of the electrochemical potentials.

Keywords: AlTi0.1 aluminum alloy, barium, potentiostatic method, NaCl electrolyte, stationary potential, corrosion potential, corrosion rate

Введение

В настоящее время существует несколько теорий модифицирования, однако нет единого мнения в решении этой проблемы применительно к алюминиевым сплавам. Это обусловлено, во-первых, сложностью процесса модифицирования и его зависимостью от условий плавки и литья и, во-вторых, влиянием неконтролируемых примесей и компонентов, которые могут влиять на измельчение исходного зерна сплава. Вводимая в качестве модификатора добавка, в нашем случае титана, должна удовлетворять следующим требованиям: обладать достаточной устойчивостью в расплаве без изменения химического состава; температура плавления добавки должна быть выше температуры плавления алюминия. Кроме того, необходимо структурное и размерное соответствие кристаллических решёток модификатора и алюминия [1, 2].

В большинстве случаев в электротехнике использование алюминия в качестве проводника затруднено, а часто и просто невозможно из-за его низкой механической прочности. Упрочнённый холодной деформацией проводниковый алюминий теряет свою прочность при температурах около 100° С. Повышение механической прочности алюминия возможно за счёт введения легирующих добавок, т. е. создания сплавов. В таком случае механическая прочность возрастает, вызывая заметное снижение электропроводности [3].

Исследования влияния различных модифицирующих элементов на электропроводность и прочность алюминия показали, что наибольший рост твёрдости отмечается при введении малорастворимых легирующих элементов типа: Fe, Zr, Mn, Cr, Ti, Ca и Mg. Эти элементы существенно отличаются по атомным диаметрам от алюминия. Так как электропроводность является основным параметром проводникового материала, легирующие элементы следует выбирать с учётом их влияния на изменения электропроводности [4].

Роль модификаторов сводится к уменьшению поверхностного натяжения на гранях кристалла, что способствует увеличению скорости зарождения центров кристаллизации [5-7]. Замедление роста кристаллов приводит к увеличению числа центров кристаллизации и к измельчению структуры. Однако чёткого разделения на модификаторы первого и второго рода и легирующие элементы нет, так как нет веществ, растворимых только в жидком и абсолютно не растворимых в твёрдом состоянии [8].

Цель работы заключается в исследовании влияния добавки бария на коррозионно-электрохимические свойства модифицированного 0.1 мас. % титаном алюминия марки А5, т. е. сплава AlTi0.1.

Методики исследования коррозионно-электрохимических свойств сплавов

Для приготовления сплавов был использован алюминий марки А5 (ГОСТ 110669-01), титан марки ТГ-90 (ГОСТ 19807-91) и барий металлический марки ВаМ-1 (ТУ48-4-465-85). Из указанных металлов получали сплавы в печах типа СШОЛ

и в графитовую изложницу отливали стержни диаметром 8 мм и длиной 140 мм для электрохимических исследований. Алюминиевый проводниковый сплав AlTi0.1 с барьером подвергался химическому анализу на содержание основных компонентов и примесей в Центральной заводской лаборатории Алюминиевой компании ГУП «ТалКо». Содержание стронция в сплаве колебалось от 0,01 до 0,5 мас. %. Состав полученных сплавов контролировался также взвешиванием образцов до и после сплавления. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в массе до и после сплавления не превышала 2 % (отн.). Рабочей поверхностью служил торец электрода. Нерабочую часть образцов изолировали смолой (смесь 50 % канифоли и 50 % парафина). Перед погружением образца в рабочий раствор его торцевую часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжировали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температуру раствора в ячейке поддерживали постоянной 20° С с помощью термостата МЛШ-8.

Электрохимические испытания образцов проводили потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с, в среде электролита NaCl. Электродом сравнения служил хлорид-серебряный, вспомогательным – платиновый. Исследования электрохимических свойств тройных сплавов проводили по методике, описанной в работах [9-15].

В качестве примера на рис. 1 представлена полная поляризационная диаграмма для исходного алюминиевого сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl. Образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис. 1, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 1, кривая II) и по пересечению кривых I и II или по изгибу на кривой II определяли величину потенциала репассивации ($E_{р.п.}$). Далее шли в катодную область до значения потенциала –1,2 В для удаления оксидных плёнок с поверхности электрода (рис. 1, кривая III) путём подщелачивания при электродной поверхности. Наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении (рис. 1, кривая IV) и на кривых определяли потенциалы питтингообразования ($E_{п.о.}$), репассивации ($E_{р.п.}$), потенциал и ток коррозии ($E_{кор.}$ и $i_{кор.}$). Расчёт тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учётом тафелевской наклонной $b_k = 0,12$ В, с учётом того, что в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода. Скорость коррозии, в свою очередь, является функцией тока коррозии, находимой по формуле $K = i_{кор.} \cdot k$, где $k = 0,335$ г/(А·ч) – электрохимический эквивалент алюминия.

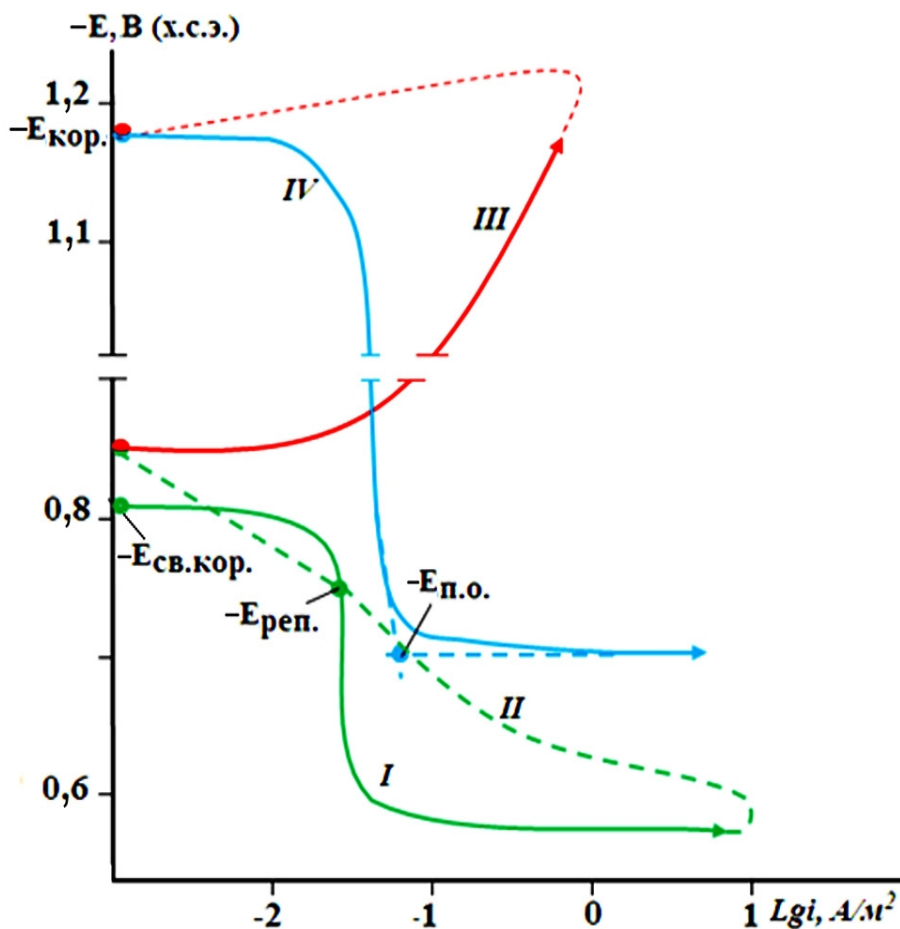


Рис. 1. Полная поляризационная кривая (при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с) алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 в среде 3 %-го электролита NaCl

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Результаты коррозионно-электрохимических исследований алюминиевого сплава Al-Ti0.1 с барием в среде электролита NaCl представлены на рис. 2-5 и в таблице. Исследования показывают, что добавки бария в пределах 0,01-0,5 % способствуют смещению потенциала свободной коррозии в положительную область значений (рис. 2). При этом чем больше количество модифицирующего компонента (бария), тем положительнее потенциал свободной коррозии. Последний при переходе от среды электролита 0,03 %-го NaCl к среде электролита 3,0 %-го NaCl становится более отрицательным независимо от количества модифицирующей добавки (бария) в сплаве AlTi0.1. В таблице обобщены коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl различной концентрации. Как видно, с ростом содержания бария в исходном сплаве AlTi0.1 потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений вследствие формирования устойчивой оксидной плёнки на поверхности электрода в среде электролита NaCl.

Скорость коррозии сплавов, содержащих 0,01-0,5 % бари, на 10-20 % меньше, чем у исходного алюминиевого проводникового сплава АТi0.1. Модифицирование алюминиевого проводникового сплава АТi0.1 барием способствует снижению скорости анодной коррозии, о чем свидетельствует смещение в положительную область анодных ветвей потенциодинамических кривых сплавов с барием (рис. 3).

Видно, что анодные кривые, относящиеся к модифицированным барием сплавам, располагаются левее кривой исходного сплава, то есть скорость анодной коррозии у них несколько меньше, чем у сплава АТi0.1 во всех исследованных средах (рис. 3).

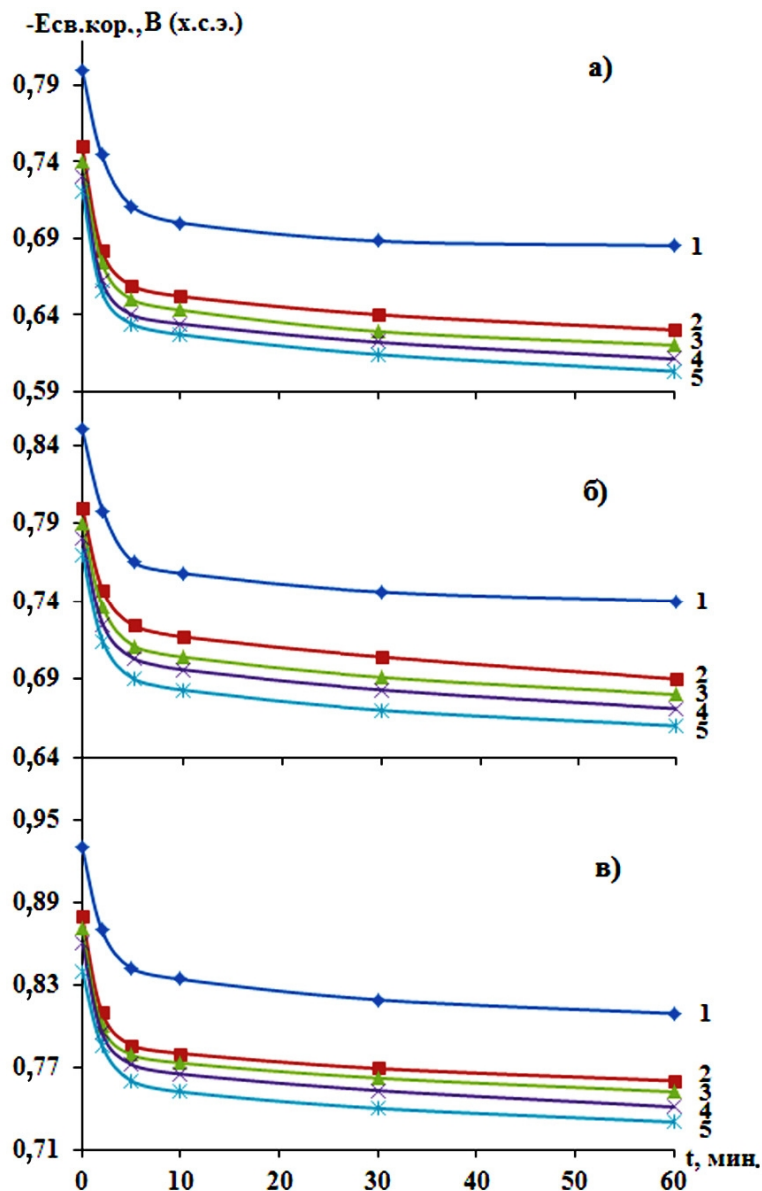


Рис. 2. Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{св.кор.}$, В) алюминиевого проводникового сплава АТi0.1 (1), содержащего барий, мас.: 0,01 % (2), 0,05 % (3), 0,1 % (4), 0,5 % (5), в среде электролита 0,03 % (а), 0,3 % (б) и 3,0 %-го (в) NaCl

Зависимости скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 от концентрации бария в среде электролита NaCl представлены на рис. 4. Добавки бария к алюминиевому сплаву AlTi0.1 уменьшают скорость его коррозии во всех исследованных средах электролита NaCl.

Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э) алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с барием, в среде электролита NaCl

Среда NaCl	Содержание бария в сплаве, мас.%	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э)				Скорость коррозии	
		-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{р.п.}	i _{кор.2} , А/м ²	K·10 ³ , г/м ² ·ч
0,03	–	0,685	1,120	0,610	0,660	0,048	16,0
	0,01	0,630	1,080	0,569	0,610	0,042	14,0
	0,05	0,620	1,070	0,558	0,600	0,039	13,0
	0,1	0,611	1,060	0,549	0,590	0,037	12,3
	0,5	0,603	1,050	0,538	0,580	0,035	11,7
0,3	–	0,740	1,150	0,650	0,690	0,068	22,7
	0,01	0,690	1,112	0,614	0,650	0,062	20,7
	0,05	0,680	1,104	0,605	0,643	0,059	19,7
	0,1	0,671	1,096	0,594	0,634	0,057	19,0
	0,5	0,660	1,087	0,586	0,625	0,055	18,4
3,0	–	0,809	1,180	0,700	0,750	0,086	28,8
	0,01	0,760	1,135	0,660	0,709	0,080	26,8
	0,05	0,752	1,124	0,652	0,700	0,077	25,7
	0,1	0,741	1,115	0,641	0,691	0,075	25,1
	0,5	0,730	1,105	0,632	0,682	0,073	24,4

На рис. 5 представлена зависимость плотности тока коррозии алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 от содержания бария при различных концентрациях электролита NaCl. Основной показатель коррозии – плотность тока анодной коррозии алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 по мере увеличения концентрации бария снижается. Модифицирование алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 барием в пределах 0,05-0,5 мас.% можно считать оптимальным, так как эти сплавы характеризуются минимальной скоростью коррозии.

С увеличением концентрации хлорид-иона наблюдается увеличение скорости коррозии как исходного алюминиевого проводникового сплава, так и модифицированного барием сплавов.

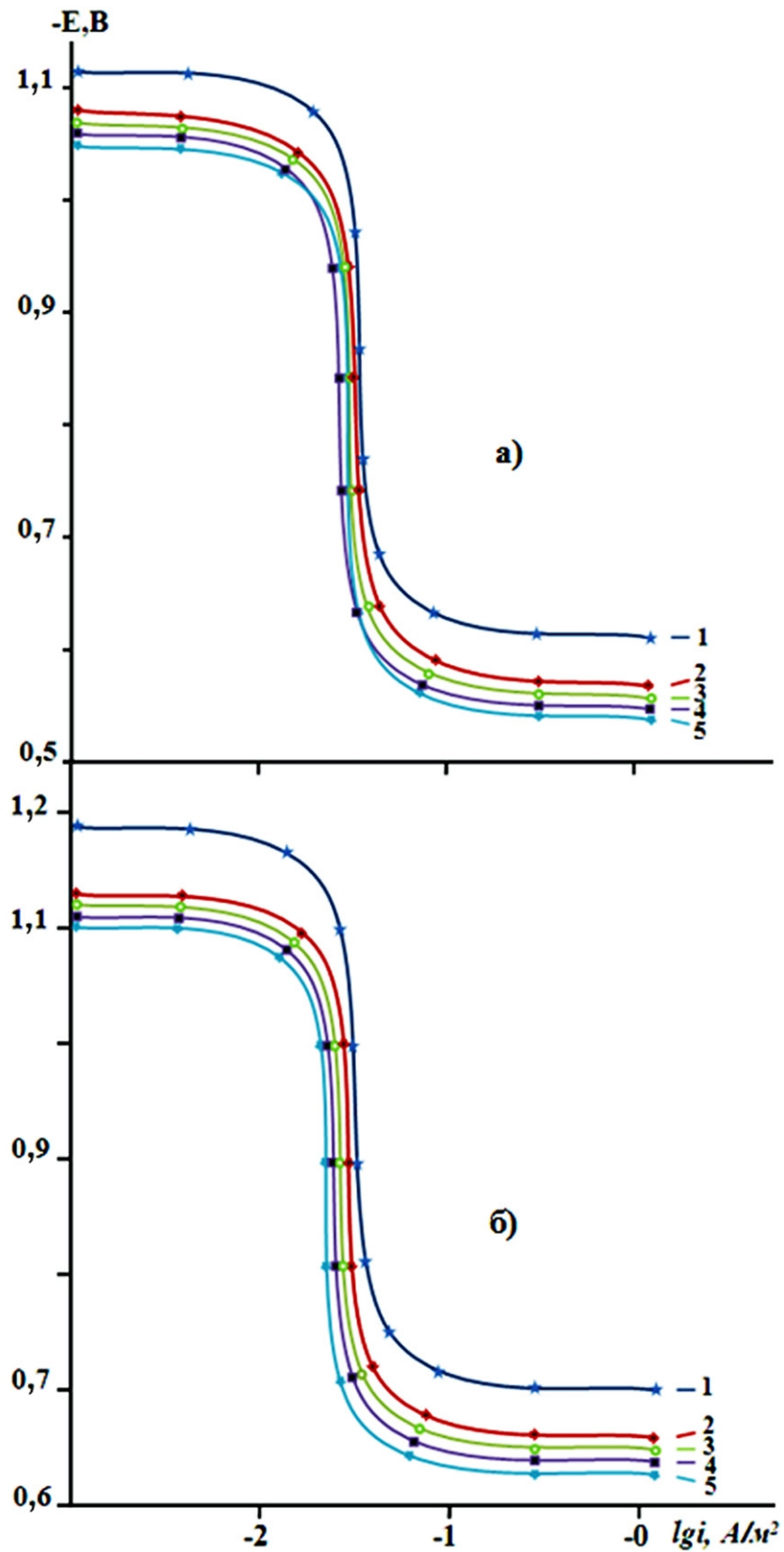


Рис. 3. Анодные ветви потенциодинамических кривых (скорость развёртки потенциала 2 мВ/с) алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (1), содержащего барий, мас. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5), в среде электролита 0,03 % (а) и 3,0 %-го (б) NaCl

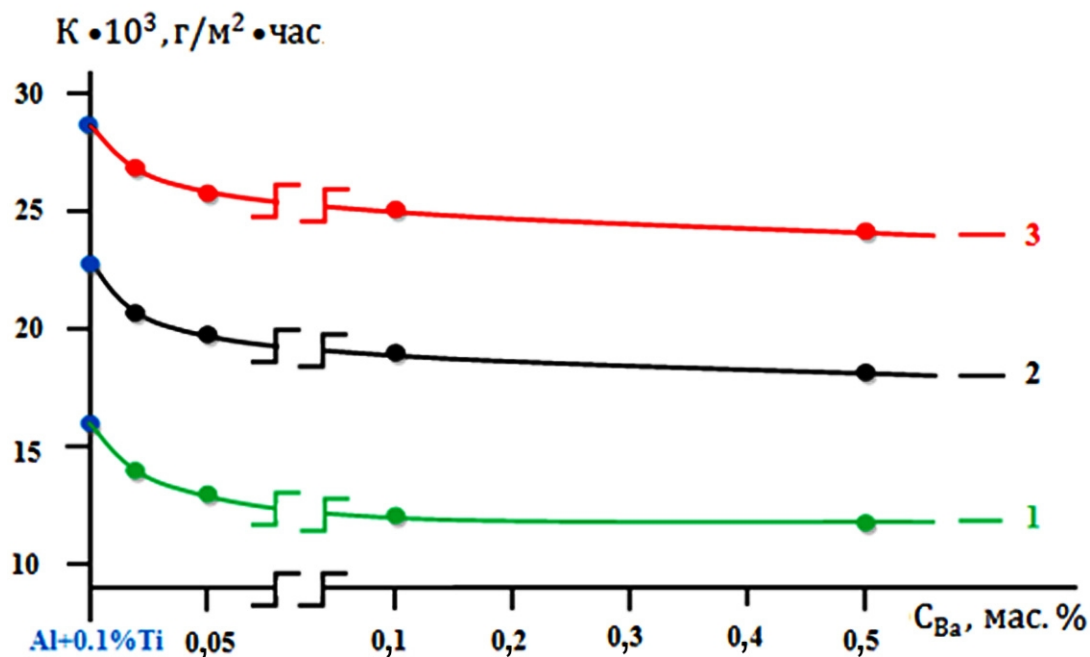


Рис. 4. Зависимость скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава AlTi0,1 от содержания бария в среде электролита 0,03 (1), 0,3 (2) и 3,0 %-го (3) NaCl

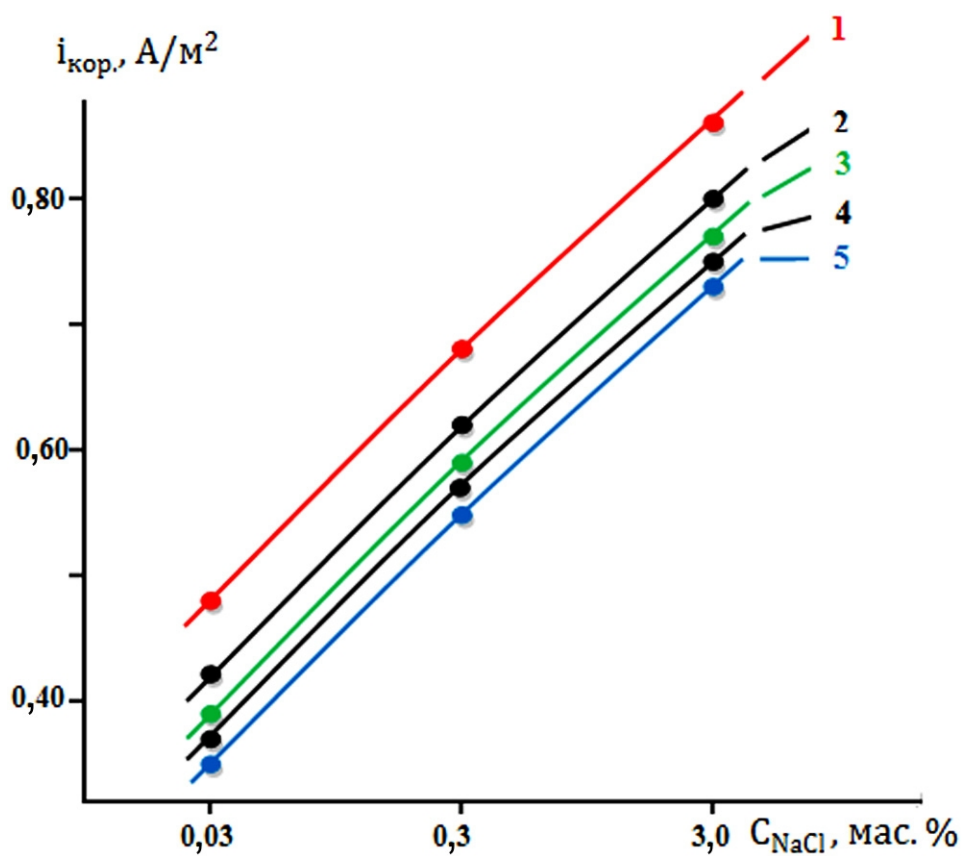


Рис. 5. Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава AlTi0,1 (1) с барием, мас. %: 0,01(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5) от концентрации NaCl

Заключение

Сплавы алюминия относятся к материалам с большой химической активностью, которые легко вступают в соединение с кислородом. В результате такого процесса на их поверхности мгновенно образуются тонкие оксидные плёнки, толщина которых в естественных условиях достигает $0,01 \div 0,02$ мкм и может быть увеличена путём химического или анодного оксидирования до 5 или 50 мкм соответственно [19].

Коррозионная стойкость алюминия и его сплавов в различных агрессивных средах во многом зависит от стойкости в этих средах оксидной плёнки, а также от химического состава сплава, вида термической обработки поверхности детали.

Известно, что на коррозионную стойкость алюминиевых сплавов отрицательно влияют добавки железа, никеля, олова, свинца и других примесей, образующих различные фазы [20].

Коррозионная стойкость таких сплавов определяется не только химическим составом, но и характером кристаллизации избыточных фаз, определяющих их структуру, то есть формой их выделения. Как известно, модификацией (измельчением) двойных и тройных эвтектик в структуре сплава можно значительно изменить как механические свойства, так и коррозионную стойкость.

Повышение качества алюминиевых сплавов неразрывно связано с разработкой новых марок сплавов и прогрессивных технологических процессов плавки и литья, обеспечивающих повышение технико-экономических показателей производства и применение изделий из них. Качество изделий зависит также от химического состава и структуры литого металла [2, 8].

Положительное действие бария на анодные свойства алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 не может объясняться только улучшением электрохимических показателей анодного процесса или уплотнением защитного фазового слоя оксидов малорастворимыми продуктами окисления. Стойкость алюминия зависит также от изменения структуры при модифицировании его титаном и барием, то есть от величины кристаллов фаз в структуре сплавов. Как известно, модификаторами структуры сплава могут служить металлы, имеющие малую межатомную связь и, следовательно, низкую температуру плавления, малую прочность и твёрдость. К таким металлам относятся и щелочные металлы [2, 8].

Таким образом, установлено положительное влияние добавки бария на анодные характеристики и скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl.

Установленные закономерности могут использоваться при разработке состава новых проводниковых сплавов на основе алюминия для нужд электротехники и кабельной техники.

Список источников

1. Захаров М.В., Лисовская Т.Д. Влияние различных элементов на электропроводность, твердость и температуру рекристаллизации алюминия марки АВ000 // Известия вузов. Цветная металлургия. 1965. № 3. С. 51-55.
2. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. Москва: Металлургия, 1984. 282 с.
3. Куцова В.З., Погребна Н.Є. Хохлова Т.С. Алюміній та сплави на його основі: навч. посібник. Д.: Пороги, 2004. 135 с.
4. Оно А. Затвердевание металлов. Москва: Металлургия, 1980. 147 с.
5. Чалмерс Б. Теория затвердевания. Москва: Металлургия, 1986. 287 с.
6. Тушинский Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. Новосибирск: Наука, 1990. 306 с.
7. Калинина Н.Е. Термоупрочняющая обработка многокомпонентных алюминиевых сплавов. Новые процессы термической обработки. Харьков: ННЦХФТ., 2004. С. 171-199.
8. Ганиев И.Н., Пархутик П.А., Вахобов А.В., Куприянова И.Ю. Модифицированием силуминов стронцием. Минск: Наука и техника, 1985. 152 с.
9. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. Москва: Химия, 1972. 240 с.
10. Ганиев И.Н. Коррозионно-электрохимическое поведение особо чистого алюминия и его сплава АК1, легированного скандием // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. № 6. С. 939-943.
11. Анодное поведение сплава Al+2,18 % Fe, легированного стронцием, в среде электролита NaCl / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, У.Ш. Якубов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2019. № 1 (27). С. 42-46.
12. Влияние содержания галлия, индия и таллия на анодное поведение алюминиевого сплава АБ1 (Al+1% Be) в нейтральной среде / И.Н. Ганиев, Р.Д. Исмонов, Х.О. Одиназода, А.М. Сафаров, М.З. Курбонова // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 2 (24). С. 22-26.
13. Влияние стронция на анодное поведение сплава АК12М2 / Ф.Ш. Зокиров, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, М.М. Сангов // Доклады АН Республики Таджикистан. 2019. Т. 62. № 1-2. С. 93-98.
14. Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10 в водных растворах NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов,

Р.Н. Амини // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2018. Т. 18. № 3. С. 5-15.

15. Ганиев И.Н., Файзуллоев Р.Дж., Зокиров Ф.Ш. Влияние кальция на анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl // Известия СПбГТИ(ТУ). 2021. № 58 (84). С. 33-37. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-58-84-33-37

16. Сравнительное исследование анодного поведения сплава АЖ2.18, модифицированного литием, бериллием и магнием, в среде электролита NaCl / Х.Х. Азимов, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, М.Ш. Джураева // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. № 3. С. 45-53.

17. Влияние бария на анодное поведение сплава АК12М2 / Ф.Ш. Зокиров, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, М.М. Сангов // Вестник Таджикского технического университета. Серия: Инженерные исследования. 2018. № 3 (43). С. 30-33.

18. Влияние бериллия на анодное поведение сплава Al+1,0 % Si в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, М.Х. Исмоилова, С.Э. Отаджонов, М.Р. Рахимов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2022. № 4 (95). С. 56-66.

19. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. Москва: Металлургия, 1977. 272 с.

20. Постников Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы. Москва: Металлургия, 1976. 301 с.

Сведения об авторах

Ганиев Изатулло Наврузович – академик, доктор химических наук, профессор кафедры «Технология химических производств» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Izatullo N. Ganiev – Academician, Dr.Sc. (Chemistry), Professor, Department of Technology of Chemical Production, Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

Зокиров Фуркатшох Шахриерович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика» Таджикского технического университета имени М.С. Осими

Furkatshokh Sh. Zokirov – PhD (Engineering Science), Associate Professor, Department of Physics, Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

Химические технологии, науки о материалах, металлургия

Файзуллоев Рустам Джалилович –
преподаватель кафедры «Энергетические
системы и сети» Института энергетики
Таджикистана

Rustam Ja. Fayzulloev –
Lecturer, Department of Energy
Systems and Networks, Institute of
Energy of Tajikistan

Аминова Нигора Аминовна –
кандидат технических наук, заведующий
лабораторией Государственного научного
учреждения «Центр исследования
инновационных технологий»
при Национальной академии наук
Таджикистана

Nigora A. Aminova –
PhD (Engineering Science),
Head: Laboratory of the State
Scientific Institution «Center for
Research of Innovative
Technologies» at the National
Academy of Sciences of Tajikistan

Статья поступила в редакцию 25.03.2023, принята к опубликованию 15.09.2023

**В.Ф. Пулин, Т.Ю. Суринская, Е.В. Рыжова,
О.В. Пулин, П.М. Элькин**

**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БОРАЗОТНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРОВ**

Аннотация. Впервые проводятся более глубокие квантово-химические исследования боразотных соединений в ангармоническом приближении и рассматривается возможность их применения для повышения стойкости полимеров.

Ключевые слова: боразотные соединения, полимеры, ангармонизм, термостойкость, электроника, полупроводники

**V.F. Pulin, T.Yu. Surinskaya, E.V. Ryzhova,
O.V. Pulin, P.M. Elkin**

**QUANTUM CHEMICAL ANALYSIS
PHYSICAL PARAMETERS OF BORON-NITROGEN
COMPOUNDS AND THEIR APPLICATION
TO INCREASE THE RESISTANCE OF POLYMERS**

Abstract. It is for the first time that a thorough quantum-chemical study of boron-nitrogen compounds in anharmonic approximation and the possibility of their use to increase the resistance of polymers is being considered.

Keywords: boron-nitrogen compounds, polymer, anharmonicity, heat resistance, electronics, semiconductor

Введение

Как известно, молекулярная спектроскопия занимает видное место в современной науке. Она решает актуальные задачи не только в области теоретической физики, но и в области физической химии [1-8].

Боразотные соединения нашли широкое применение в технической сфере, а также в медицине не только для получения стойких полимеров, но и для производства термостойких и тугоплавких материалов. Также боразотные соединения нашли широкое применение в электронной промышленности для производства полупроводников. В перспективе боразотные соединения планируется использовать при создании источников высо-

ких энергий, а также в результате плёночного синтеза получать новые материалы с высокими физическими характеристиками.

Цель работы: исследование физико-химических свойств боразотных соединений в ангармоническом приближении квантовыми методами, направленное на повышение стойкости полимеров.

Квантовые методы исследования предоставляют возможность предсказывать результаты эксперимента. Классические методы исключали такую возможность.

Боразин и боразотные соединения были впервые получены в 20-х годах XX столетия [5]. Учитывая интерес к боразину и боразотным соединениям, они нуждаются в более глубоком изучении их физико-химических свойств на атомно-молекулярном уровне.

Итак, важным источником информации о строении и динамике молекулярных систем являются электронные, колебательные и вращательные спектры.

Неэмпирические квантовые расчёты способны предсказывать результаты эксперимента. Боразотные соединения занимают видное место в неорганической химии. Боразин имеет сходство с бензолом (таблица 1). Он был назван неорганическим бензолом. Открываются новые возможности для плёночного синтеза – получения новых перспективных материалов для создания дисплеев с высоким контрастом и яркостью.

Таблица 1

Физические свойства бензола и боразина

Константы	Боразин	Бензол
Молекулярный вес	80,5	78,1
$T_{кип}, K$	328	353
$T_{плав}, K$	216	279
$T_{кристалл} K$	525	361
Плотность жидкости при $T_{кип}$	0,81	0,81
Плотность кристаллиз. при $T_{плав}, г/см^3$	1,0	1,01

Оценка и моделирование адиабатического потенциала осуществлялись с помощью программного комплекса Gaussian, а всех остальных параметров – с помощью программного комплекса Vibration 2001.

Следует напомнить, что взаимодействие атомов в молекуле обусловлено силами электронного взаимодействия квантового характера. В молекуле рассматриваются три вида движения: поступательное движение электронов вокруг ядер атомов, колебательное (колебания ядра около положения равновесия) и вращательное в пространстве.

Энергия молекулы может быть представлена в виде суммы энергий:

$$E_{эл} + E_{кол} + E_{вращ} \quad (1)$$

Они имеют разный порядок величин:

$$E_{эл} > E_{кол} > E_{вращ}. \quad (2)$$

Приближение Борна – Оппенгеймера (1) называют адиабатическим приближением. Молекула боразина $B_3H_6N_3$ с симметрией C_2 представлена на рисунке.

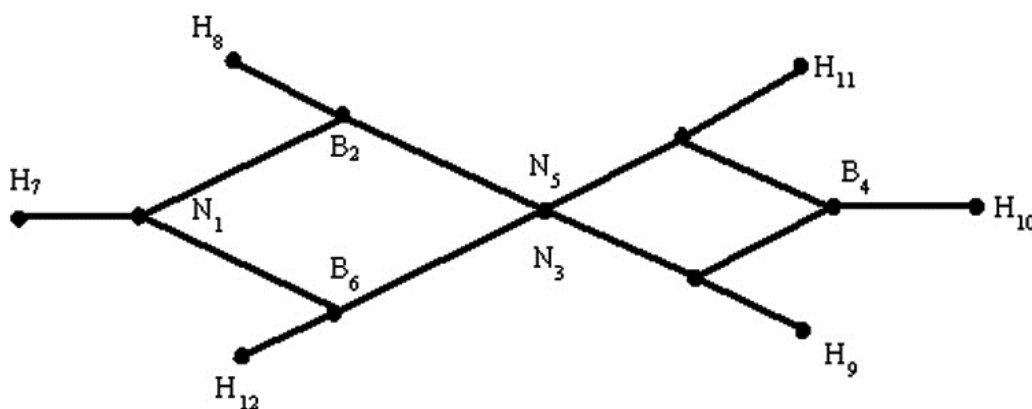
Молекула $B_3H_6N_3$ с симметрией C_2

Таблица 2

Сравнение силовых постоянных, полученных различными методами, при решении ОКЗ

Силовые постоянные, 10^6 см^{-1}	E_3'			
	Интервал изменения значений силовых постоянных			
	PZ_{\min}	PZ_{\max}	OZ_{\min}	OZ_{\max}
K_{11}	12,282	13,956	12,167	12,600
K_{14}	-7,383	-6,598	-7,198	-6,716
K_{15}	-5,493	6,222	5,772	6,160
K_{16}	0,399	0,459	0,328	0,370
K_{17}	-0,426	-0,324	-11,511	-0,438
K_{22}	11,209	14,326	-11,511	11,548
K_{33}	6,503	7,041	5,892	5,943
K_{44}	15,114	15,833	15,850	16,913
K_{45}	-14,105	-12,594	-14,243	-13,499
K_{46}	0,292	-0,168	-0,243	-0,211
K_{47}	0,416	0,515	0,687	15,0
K_{55}	13,834	15,421	-14,560	-0,481
K_{57}	-0,333	-0,247	-0,539	-0,166
K_{66}	0,832	0,979	0,771	0,779
K_{67}	0,027	0,034	0,041	0,055
K_{77}	0,825	0,937	0,870	0,896
	A_2''			
K_{11}	0,652	0,728	0,571	0,898
K_{12}	-0,238	-0,210	-0,179	-0,150
K_{13}	0,396	0,430	0,341	0,377
K_{22}	0,710	0,913	0,621	0,653
K_{23}	-0,261	-0,231	-0,182	-0,159
K_{30}	0,453	0,477	0,346	0,396

Силовые постоянные, 10^6 см^{-1}	E_3'			
	Интервал изменения значений силовых постоянных			
	PZ_{\min}	PZ_{\max}	OZ_{\min}	OZ_{\max}
	E_3''			
K_{11}	0,583984	0,673	0,458	0,492
K_{12}	-0,11092	-0,073	-0,118	-0,082
K_{13}	0,325135	0,372	0,258	-0,302
K_{22}	0,782,751	0,963	0,227	0,876
K_{33}	0,489028	0,545	0,397	0,438
K_{44}	0,575032	0,670	0,459	0,491
K_{45}	0,076	0,103	0,091	0,119
K_{46}	0,321	0,359	0,253	0,293
K_{55}	0,780	0,960	0,826	0,869
K_{56}	0,195	0,236	0,191	0,271
K_{66}	0,481	0,542	0,397	0,430

Таблица 3

Фрагментарный расчёт частот колебаний (квантовый анализ)

Номер колебаний	Форма колебаний	Боразин		Боразин D6		Боразин D3	
		$\nu_{\text{кл.}}$	$\nu_{\text{квант}}$	$\nu_{\text{кл.р.}}$	$\nu_{\text{квант}}$	$\nu_{\text{кл.р.}}$	$\nu_{\text{квант}}$
1	γ (BNB)	510	510	480	480	510	501
2	β (NCH)	779	880	766	705	813	758
3	ρ (HCH)	1023	1049	797	780	1022	963
4	σ (B-N)	1365	1404	1245	1217	1390	730
5	α (HCH)	1455	1489	1418	1397	1440	1435
6	ν (B-H)	1897	2242	1895	1681	1897	2241
7	ν (C-H)	3495	3513	2582	2563	3495	2566

Частоты выражены в обратных см (см^{-1})

В табл. 4-6 приведены фрагментарные расчёты частот колебаний боразина.

Таблица 4

Сравнение фундаментальных частот колебаний боразина (см^{-1}) (квантово-механический анализ)

A_2''

Номер колебаний	Боразин			Боразин D6			Боразин D3		
	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$
1	848	851	854	824	819	821	852	822	826
2	942	941	945	901	899	900	903	938	944
3	2535	2543	2547	1895	1887	1889	1893	2516	2522

Таблица 5

Сравнение фундаментальных частот колебаний боразина (см^{-1}) (квантово-механический анализ)

A_1'

Номер колебаний	Боразин			Боразин D6			Боразин D3		
	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$
1	391	394	395	321	318	318	326	300	392
2	724	723	723	540	541	541	716	541	543
3	913	913	915	782	780	782	808	883	885

Таблица 6

Сравнение фундаментальных частот колебаний боразина (см^{-1})
(квантово-механический анализ)

Е''

Номер колебаний	Боразин			Боразин D6			Боразин D3		
	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$	$W_{\text{оп}}$	$W_{\text{b (min)}}$	$W_{\text{b (max)}}$
1	280	281	282	253	246	248	257	267	269
2	727	730	730	549	574	577	720	669	673
3	967	1016	1019	779	796	803	929	854	859

Органические производные боразина используют для синтеза термостойких полимеров. Известны полимеры на основе алкил- или арилпроизводных боразина, содержащие в молекуле алкиленовые, силоксановые, карборановые и другие фрагменты, например $[(\text{CH}_3)_3\text{N}_3\text{B}_3(\text{CH}_2)_6]_{14}$, устойчивые при $400\text{-}600^\circ\text{C}$.

Выводы

Таким образом, исследования физико-химических свойств боразотных соединений в ангармоническом приближении квантовыми методами показывают, что прямое вычисление силовых полей позволяет решать более сложные задачи по анализу молекулярных соединений, применяемых для синтеза термостойких полимеров.

Список источников

1. Грибов Л.А. Введение в молекулярную спектроскопию. Москва: Наука, 1977. 399 с.
2. Браун П.А., Киселев А.А. Введение в теорию молекулярных спектров. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1983. 300 с.
3. Рихтер Л.Я. Теоретическое исследование колебательных спектров боразина и его производных различных классов: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.05. Саратов, 1973. 188 с.
4. Watson I.K. Simplification of the molecular vibration – rotation on Hamiltonian // Molecular Physics: An International Journal at the Interface Between Chemistry and Physics. 1968. V. 5. № 15. P. 479-490.
5. Фудзинага С. Метод молекулярных орбиталей. Москва: Мир, 1986. 461 с.
6. Ниденцу К., Даусон Дж. Химия боразотных соединений. Москва: Мир, 1968. 240 с.
7. Свердлов Л.М., Ковнер М.А., Крайнов Е.П. Колебательные спектры многоатомных молекул. Москва: Наука, 1970. 560 с.
8. Квантово-химические исследования динамики боразина и боразотных соединений, используемых для получения стойких полимеров / В.Ф. Пулин, Е.В. Рыжова, Т.Ю. Сурина, О.В. Пулин, П.М. Элькин // Вестник СГТУ. 2022. № 4 (95). С. 92-98.

Сведения об авторах

Пулин Виктор Федотович –

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Физика» Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Viktor F. Pulin –

PhD, Associate Professor,
Department of Physics,
Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov

Сурина Татьяна Юрьевна –

старший преподаватель Саратовского
государственного университета
генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н.И. Вавилова

Elena V. Ryzhova –

Senior Lecturer,
Saratov State Vavilov
Agrarian University

Рыжова Елена Владимировна –

старший преподаватель Саратовского
государственного университета
генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н.И. Вавилова

Tatiana Yu. Surinskaya –

Senior Lecturer,
Saratov State Vavilov
Agrarian University

Пулин Олег Викторович –

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Физика» Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Pavel M. Elkin –

PhD, Associate Professor,
Department of Physics,
Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov

Элькин Павел Михайлович –

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Физика» Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Oleg V. Pulin –

PhD, Associate Professor,
Department of Physics,
Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov

Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Вестник Саратовского государственного технического университета», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора MS Word 2007 (параметры страницы А 4; поля 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте vestnik@sstu.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать четкие выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности:

- инициалы и фамилии авторов,
- полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные),
- краткая (5-7 строк) аннотация (курсив),
- ключевые слова (5-7 слов).

Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке.

Затем идет текст самой статьи и список источников.

Статья завершается сведениями об авторах: Ф.И.О. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий; объем обзора 25 страниц, 10 рисунков; объем краткого сообщения не более 3 страниц, 2 рисунков.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Каждая формула должна иметь номер.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т. е., и т. д., и т. п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Список источников должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

8. К статье прилагается экспертное заключение.

9. Рукопись статьи рецензируется ведущим ученым в данной области, как правило, доктором наук.

10. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

11. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

13. Для публикации и своевременной подготовки журнала необходимо заполнить регистрационную карту участника, представляемую отдельным файлом. Высылается вместе с рукописью.

14. Плата с аспирантов за публикацию статьи не взимается..

Вестник Саратовского государственного технического университета – рецензируемый научно-технический журнал, публикующий статьи по следующим научным направлениям и специальностям:

2.3 – Информационные технологии и телекоммуникации

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки, физико-математические науки)

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

2.5 – Машиностроение

2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)

2.5.6 – Технология машиностроения (технические науки)

2.6 – Химические технологии, науки о материалах, металлургия

2.6.6 – Нанотехнологии и наноматериалы (технические науки, физико-математические науки, химические науки)

2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии (технические науки, химические науки)

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки, химические науки)

Журнал имеет следующие соответствующие указанным группам специальностей разделы содержания:

– **Информационные технологии и телекоммуникации**

– **Машиностроение**

– **Химические технологии, науки о материалах, металлургия**

Журнал публикует статьи только по данным группам специальностей!

Регистрационная карта публикующегося в журнале «Вестник Саратовского государственного технического университета»		
Фамилия	Имя	Отчество
Полное название статьи		
Ученая степень	Ученое звание	Должность с указанием кафедры, отдела, лаборатории
Наименование организации места работы		
Электронная почта	Служебный телефон/факс	Домашний адрес и телефон
Группа специальностей, к которой относится статья		