Красноярский
ДНИТ ДОМ НАУКИ И ТЕХНИКИ

28-30 апреля 2022 | г. Красноярск, Россия

Сборник научных статей по материалам
IV Международной научной конференции

МОДЕРНИЗАЦИЯ, ИННОВАЦИИ, ПРОГРЕСС: ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ, МАШИНОСТРОЕНИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ - MIP: ENGINEERING-IV-2022

4 (2022)

г. Красноярск
2022

СНЦ ДНИТ
Сибирский научный центр

IV Международная научная конференция MIP: Engineering-IV-2022: Модернизация, Инновации, Прогресс: Передовые технологии в материаловедении, машиностроении и автоматизации

4 (2022)

Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений

Сибирский научный центр ДНИТ

«МОДЕРНИЗАЦИЯ, ИННОВАЦИИ, ПРОГРЕСС: ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ, МАШИНОСТРОЕНИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ- MIP: ENGINEERING-IV-2022»

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ПО МАТЕРИАЛАМ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(28-30 апреля 2022 | Красноярск, Россия)

г. Красноярск, 2022

УДК 001
ББК 30:30.06
ISBN 978-5-6045165-5-3
DOI 10.47813/mip.4.2022.4

«МОДЕРНИЗАЦИЯ, ИННОВАЦИИ, ПРОГРЕСС: ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ, МАШИНОСТРОЕНИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ- MIP: ENGINEERING-IV-2022»: сборник научных статей по материалам IV Международной научной конференции (Красноярск, 28-30 апреля 2022 г.). – Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники, 2022. – 91 с.

Сборник содержит материалы, отражающие результаты научных исследований ведущих специалистов в области применения наукоемких и информационных технологий в промышленном производстве, в отраслях космического, энергетического и химического машиностроения, в области материаловедения, металлургии и дизайна новых материалов, а также инжиниринга и автоматизации технологических процессов.

Все статьи рецензируются и публикуются в авторской редакции. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. Материалы размещены в сборнике в авторской редакции.

При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Ответственный редактор: Ковалев Игорь Владимирович, президент Красноярского краевого союза НИО, доктор технических наук, профессор (Красноярск, Россия), директор Красноярского краевого Дома науки и техники РосСНИО.

Редакционная коллегия: **Anatoly Ovodenko**, doctor of Technical Sciences, professor, president of the St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, academician of the Metrology Academy of the Russian Federation (St. Petersburg, Russia); **Sergey Drukarenko**, PhD, vice-president, first Secretary of Russian Union of the International and Russian Union of Scientific and Engineering Associations (Moscow, Russia); **Nusratilla Barakaev**, doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Bukhara Engineering Technological Institute (Bukhara, Uzbekistan); **Anna Voroshilova,** PhD, Associate Professor of Siberian Federal University, Vice-director for Science of Krasnoyarsk Science and Technology City Hall (Krasnoyarsk, Russia); **Alena Stupina**, doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia); **Odiljon Mamatkarimov,** doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, rector of Namangan Engineering Technological Institute (Namangan, Uzbekistan); **Sergey Bezzateev**, dr Sci, professor, IEEE member, Institute of Innovative Technologies in Electromechanics and Robotics, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint Petersburg, Russia); **Oybek Ergashev**, doctor of Chemical Sciences, assistant professor, viceRector for Reserach and Innovation, Namangan Engineering Technological Institute (Namangan, Uzbekistan); **Mirzo Sharipov,** doctor of Physics and Mathematics, professor, vicerector for research and innovation of Bukhara Engineering Technological Institute (Bukhara, Uzbekistan); **Lidiya Chubraeva**, dr. Tech. Sc., Corresponding Member of RAS, head of Laboratory of Electric Power Industry of the Institute of Electrophysics and Electric Power Engineering of RAS, Ch. Researcher at the I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry of RAS (St. Petersurg, Russia); **Nikolaj Filimonov**, dr. Tech. Sc., professor, chief Research Associate at Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov Academy of Sciences Russian Academy of Sciences, professor of Lomonosov Moscow State University, Professor of Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia); **Nosir Sharibaev**, doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, Head of the Department: "Energy", Namangan Engineering Technological Institute (Namangan, Uzbekistan).

© Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, 2022
© Сибирский научный центр ДНИТ, 2022
© Коллектив авторов, 2022

г. Красноярск, 2022

СЕКЦИЯ 1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Перспективность применения новейших материалов в космическом материаловедении (Е.С. Зогова, С.А.Арефьева)..... 5-13

Материалы с памятью форм (Д.А. Бутьянов, С.А. Арефьева)..... 14-17

Изучение и использование материалов с эффектом памяти формы (Н.Н. Насирова, С.А. Арефьева) 18-24

Новейшие материалы, применяемые при создании гидротурбин для Гидроэлектростанций (ГЭС) (Э.Э. Мстоев, С.А. Арефьева)..... 25-29

Влияние процессов термической обработки на свойства и структуру углеродистой и легированной стали (Р.В. Лукашевич, С.А. Арефьева) 30-35

Определение стойкости лекарственных покрытий медицинских артериальных стентов (Д.В. Мордвинкин, В.Т. Фомичев, Т.А. Ермакова)..... 36-40

Уникальное применение композитных материалов в современной науке и технике (В.В. Вавилова, С.А. Арефьева)..... 41-47

СЕКЦИЯ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Структурные аспекты моделирования развития машиностроительного производства в промышленности региона в условиях новой индустриализации (А.А. Урасова, Л.В. Глезман, Е.В. Щеглов)..... 48-56

Многоатрибутивный анализ отказоустойчивой программной архитектуры систем мониторинга траектории полета воздушных судов (Д.И. Ковалев, Т.П. Мансурова, Е.В. Туев) 57-63

Программный комплекс анализа надежности телекоммуникационной системы реального времени для мониторинга и управления (Д.И. Ковалев, Т.П. Мансурова, Е.А. Борисова).64-70

Программный комплекс формирования плана развития структуры телекоммуникационных систем реального времени мониторинга и управления (Д.И. Ковалев, Т.П. Мансурова, Е.А. Борисова) 71-76

Применение цифровых фильтров при работе с аудиозаписями на магнитных плёнках (А.В. Блинников, Т.П. Мансурова, Е.А. Борисова)..... 77-81

End-to-end Visual Speech Recognition for Human-Robot Interaction (Denis Ivanko, Dmitry Ryumin, Maxim Markitantov) 82-90

УДК 620.22 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.5-13 EDN: YRKKTY

Перспективность применения новейших материалов в космическом материаловедении

Е.С. Зогова, С.А. Арефьева*

Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, Краснодар, 350072, Россия

*E-mail: zogova02@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются материалы, применяемые в космическом материаловедении. Определены причины появления космического материаловедения. Изучены факторы, воздействующие на материалы со стороны космического пространства. Определены главные эксплуатационные требования. В результате проведения исследования были определены перспективные материалы, использование которых выведет космическое материаловедение на новый уровень.

Ключевые слова: космическое материаловедение, техническое развитие, факторы, эксплуатационные требования, задачи, интеллектуальные композиты, самовосстанавливающийся материал, нанотрубки

The prospects of using the latest materials in space materials science

E.S. Zogova, S.A. Arefieva*

Kuban State Technological University, Moskovskaya str. 2, Krasnodar, 350072, Russia

*E-mail: zogova02@mail.ru

Abstract. This article discusses materials used in space materials science. The reasons for the appearance of space materials science are determined. The factors affecting materials from outer space have been studied. The main operational requirements are defined. As a result of the research, promising materials were identified, the use of which will bring space materials science to a new level.

Keywords: space materials science, technical development, factors, operational requirements, tasks, intelligent composites, self-healing material, nanotubes

1. Введение

Освоение космоса стало переломным моментов всего XX века. Вследствие этого человечество узнало много о космическом пространстве, его составе, безграничности; некоторые убеждения были разрушены, на смену им пришли новые догадки и предположения; увеличилось число исследований, сам масштаб исследований. Стало ясно, что освоение космического пространства стало новой мерой технического развития стран. Для более полной и точной информации была необходима интеграция как государств, так и научных дисциплин. Специалисты разных научных отраслей работали вместе, научные учреждения и институты положили начало созданию целых космических проектов. Отсюда возникло такое важное в настоящее время научное направление – космическое материаловедение.

Космическое материаловедение – это наука, которая теоретически и экспериментально изучает процессы, непосредственно протекающие в элементах и материалах космического аппарата, занимается разработкой новых методов и средств защиты от воздействия многих неблагоприятных факторов и, самое важное, включает в себя создание новых, надёжных, прочных материалов и систем.

Космическое материаловедение как самостоятельная научная отрасль возникла не так давно, однако по сравнению с другими научными направлениями, требует все больше и больше усовершенствований. Это связано, прежде всего, с получением новых знаний о безграничном пространстве. Поэтому, несмотря на достигнутые к настоящему моменту успехи, исследования, проводимые в данной отрасли, остаются актуальными постоянно.

С получением новых меняющихся знаний о космосе, развитием методов исследований, улучшением конструкций космической техники, перед космическим материаловедением встала огромная задача – разработать новые материалы, новые системы, элементы и оборудования.

2. Цель исследования

Цель данной работы заключается в подборке новых материалов, которые бы удовлетворяли бы всем требованиям и подходили для использования в космической технике.

3. Методы и материалы исследования

В данной статье мы разберем основные факторы, воздействующие на элементы космических аппаратов, основные материалы, используемые в настоящее время в космической технике. На основе требований и задач космического материаловедения проведём исследование по поиску новых материалов и их перспективности использования непосредственно в данной отрасли.

Начнём с факторов, которые оказывают наибольшее воздействие на космические аппараты. Одним из главных факторов являются заряженные частицы как средних, так и высоких энергий. Такие частицы входят в состав радиационных поясом Земли, космического корпускулярного излучения как галактического, так и солнечного происхождения. Радиационные условия космических аппаратов зависят от того, через какие зоны космической радиации проходит данный аппарат, сюда же входят и особенности строения конструкции самого аппарата. Под действием излучений различного происхождения проходят обратимые и необратимые эффекты, которые приводят к нарушению нормального функционирования самой системы всего оборудования или аппарата. Согласно данным, космические аппараты и системы имеют небольшой срок службы, в целом, примерно 7 – 10 лет. Отсюда вытекает необходимость повышения радиационной стойкости материалов и оборудования аппаратов. В таблице 1 приводятся основные космические излучения и их характеристики.

Таблица 1. Параметры галактических и солнечных космических лучей, радиационных полюсов Земли и горячей магнитосферной плазмы.

Тип корпускулярных космических излучений	Состав	Энергия частиц, МэВ	Плотность потока, $м^{-2} * с^{-1}$
Галактические космические лучи	Протоны		$1,5*10^4$
	ядра He	10^2 –	10^3
	Тяжелые ядра	10^{15}	$1,2*10^1$
Солнечные космические лучи	Протоны	$1 – 10^4$	$10^7 – 10^8$
Радиационные пояса Земли	Протоны	1 – 30	$3*10^{11}$
	Электроны	>30	$2*10^8$
		0,1 – 1,0	$1*10^{12}$
		>1,0	$1*10^{10}$
Горячая магнитосферная плазма	Протоны	10^{-3} –	$10^{11} – 10^{14}$
	Электроны	10^{-1}	

Среда, которая оказывает самостоятельное влияние как на оборудование космических аппаратов, так и на материалы, является космический вакуум. Рассмотрим механизмы, происходящее в вакууме. При помещении материалов в вакуум начинается выделение газов, примесей, добавок, происходит переход веществ из твердой фазы в газовую. Данные механизмы только ухудшают функционирование систем и аппаратов, например, ухудшаются оптические, электрофизические характеристики. За счёт этих процессов также возможно образование собственной внешней атмосферы, появление которой приводит к загрязнению поверхности космических аппаратов продуктами осаждения, снижения электрической прочности.

«Химическое распыление» также негативно воздействует на космические аппараты. Данный процесс происходит под действием содержащегося в составе атмосферы Земли атомарного кислорода. Химическому распылению в основном подвержены полимерные материалы, которые в настоящее время активно используются при разработке конструкций космических аппаратов.

Что касаемо самого космического пространства, то основным факторов, воздействующим на космические аппараты, является действие плазмы с различными характеристиками. Напомню, что плазмой называют частично или полностью ионизированный газ. При воздействии плазмы на космические аппараты на их поверхности образуется электрический заряд и некоторый потенциал. Этот процесс называется электризацией или заряжением космических аппаратов. Это наиболее опасно для высокоорбитальных аппаратов. В результате воздействия плазмы на космических аппаратах могут возникать электрические заряды, которые создают интенсивные электромагнитные помехи в работе оборудования и приводят к необратимым повреждениям.

Материалы, которые используются при проектировке и изготовлении космических кораблей и ракет, следует выбирать с учетом эксплуатационных требований. Как сказано выше, воздействие космической среды на различные материалы и аппараты является главным разрушающим факторов. Металлы являются основными конструкционными материалы для создания ракетно-космической техники. При проектировке и изготовлении космических аппаратов используют жаропрочные и тугоплавкие металлы, например, ниобий, молибден, тантал, вольфрам и рений. Кроме

того, применение находят такие металлы, как бериллий, сталь, железо, титановые сплавы, магниевые сплавы и алюминиевые сплавы.

Жаропрочные стали и сплавы применяются для изготовления реактивных двигателей, атомных устройств, котлов и других устройств, которые эксплуатируются при высоких температурах. Тугоплавкие металлы используются при строительстве ракет, космических кораблей, реакторов. Молибден и вольфрам используют, в основном, в электронной промышленности. Бериллий в связи с его большой теплоемкостью и жаропрочностью применяются в теплозащитных конструкциях космических аппаратов. Железо является вторым по применению металлом в ракетах.

Самыми распространёнными элементами при изготовлении космических кораблей являются алюминиевые и титановые сплавы. Остановимся на них. Коррозионная стойкость, легкость делают титановые сплавы отличными конструкционными материалами, которые находят применение в широком диапазоне температур. Технический титан славится своей прочностью, так как выдерживает нагрузки, противостоит ударам, подается ковке. Титановые сплавы также применяют для обшивки кораблей, силовых элементов. Их них изготавливают элементы и детали, которые подвергаются высоким инерционным нагрузкам, например, скоростные роторы.

Алюминиевые сплавы являются основными конструкционными материалами в ракетной и космической технике. Конструкции первых спутников включали в себя именно алюминиевые сплавы за счет своей легкости и прочности. Алюминий нашел применение в качестве ракетного горючего.

Новые материалы должны удовлетворять следующим требованиям: они должны выдерживать высокие температуры и давление, вибрационные нагрузки, глубокий вакуум, микрочастицы, низкие температуры и радиационное воздействие. Кроме того, такие материалы должны иметь достаточно низкую удельную массу.

Для определения списка новых материалов, которые нашли бы применение в космической технике, необходимо учесть не только эксплуатационные требования, но и задачи, вставшие перед всем космическим материаловедением. В частности, создание обновленных моделей космической среды; систем для анализа и прогнозирования её воздействия на аппараты; создание новых материалов на основе композитов и наноструктур; создание новых элементов электроники и сенсоров для космической

техники; разработка эффективных методов защиты космических аппаратов от воздействия среды.

Таким образом, новые материалы должны быть изготовлены на основе композитов или наноструктур, устойчивы к высокому радиационному влиянию среды, включать системы автоматического управления и справляться с более новыми и сложными задачами.

В настоящее время пользуются популярностью в космической технике такие материалы, как интеллектуальные композиты, самовосстанавливающиеся материалы и нанотрубки.

Интеллектуальные композиты являются представителями нового класса материалов. Их использование в космической технологии представляет наибольший интерес у специалистов. В чем заключается их уникальность и, соответственно, востребованность? Прежде всего, данные материалы обладают свойством, отличным от свойств других материалов. Они способны не только воспринимать новые нагрузки, но и регулировать степень реакции на данные изменения. Само понятие «интеллектуальные» заключает в себя следующие составляющие: контроль основных параметров, функций; способность материалов оценивать обстановку, ситуацию, в следствие которых происходит изменение их свойств, а также способность моментально реагировать на полученные результаты собственного анализы данной изменяющейся обстановки. Такие уникальные свойства обеспечиваются компонентами, входящими в состав материалов. Например, компоненты с памятью, оптические и пьезоэлектрические датчики, сплавы с магнитными свойствами. Следовательно, вышеперечисленные компоненты встраиваются в полимерную матрицу. Оптические и пьезоэлектрические датчики четко оценивают окружающую среду, реагируют на её воздействия. Компоненты с памятью необходимы для того, чтобы материал мог адаптироваться к изменениям окружающей среды, полученных непосредственно с датчиков. Сплавы делают материал эластичным: при нагревании форма может выпрямляться, а при охлаждении - принимать первоначальную форму.

Таким образом, интеллектуальные композиты отлично подходят для космической техники. Прежде всего, это связано с тем, что сам материал может отлично получать сигналы окружающей среды, распознавать их и адаптироваться к изменениям. Однако

производство таким материалов является очень затратным и энергоёмким. Но это не меняет тот факт, что интеллектуальные композиты не имеют себе равных при строительстве новейших космических аппаратов.

Таким же интересом пользуются самовосстанавливающиеся материалы. К самовосстанавливающим материалам относятся такие материалы, которые могут самостоятельно восстанавливаться свою первоначальную форму, структуру, в следствие их разрушения под действием каких-либо факторов. Раньше было сложно представить, что материалы могут обладать процессом, который широко распространен в природе. Однако с развитием технологий стало очевидно, что и в искусственных материалах может возникать процесс регенерации. В последние годы разработаны многие композиционные материалы, обладающие данным свойством. Сам процесс восстановления осуществляется благодаря наличию в структуре исходного материала восстанавливающего компонента. Наиболее распространенным представителем являются полимеры, которые содержат восстанавливающие компоненты в виде жидкости. Жидкость размещается в специальных микрокапсулах, которые также встроены в матрицу композита. Как работает процесс восстановления целостности материала? При повреждении материала жидкость высвобождается из микрокапсулы и движется к поврежденному участку. К восстанавливающим агентам относят эпоксидные смолы и катализатор, которые ускоряют процесс полимеризации, тем самым восстанавливая повреждённые участки и, следовательно, саму структуру материала.

Данные материалы можно смело использовать при изготовлении аппаратов, которые работают в тяжелых условиях, где особо ценится надежность всего элемента.

Молекула нанотрубки, согласно данным, содержит около 1 миллиона атомов углерода. По форме представляют собой трубу с диаметром около нанометра.

Внутри нанотрубки пологие, а поверхность состоит, соответственно, из атомов углерода. Благодаря тому, что трубки внутри пустые, в них можно вводить атомы других веществ, и тогда это будет похоже на контейнер для их транспортировки. В этом заключается их уникальность. Кроме того, нанотрубки славятся прочностью и легкостью, что, как мы выяснили в начале, очень ценится в космическом материаловедение. Например, одна нанотрубка будет в 6 раз легче, и где-то в 100 раз прочнее обычной стали. Трубки стали востребованными, когда возник проект

«космический лифт» (трос в несколько десятков тысяч километров, который будет соединять орбитальную космическую станцию с установленной на Земле платформой). С помощью такого механизма можно доставлять непосредственно в космос людей и грузы. Для этого будет тратится меньше средств, чем на запуск ракеты. Данный проект находится только на стадии разработки. Однако не стоит считать, что использование нанотрубок ограничивается «космическим лифтом».

4. Полученные результаты

Результаты исследования изобразим в виде таблицы. Из таблицы 2 видно, что интеллектуальные композиты, самовосстанавливающийся материал, нанотрубки удовлетворяют всем эксплуатационным требованиям, поэтому их использование в космической технике очень перспективно. Использовать данные материалы можно совместно с другими. Например, на данный момент известно очень много материалов, использующих в своей основе интеллектуальные особенности. Обширен и список материалов, использующих восстанавливающие агенты, которые возвращают целостность структуры материала.

Таблица 2. Перспективность использования новейших материалов в космической технике.

Название материала	Эксплуатационные требования	Задачи космического материаловедения	Надежность	Легкость производства	Перспективность использования
Интеллектуальные композиты	+	+	+	+	+
Самовосстанавливающийся материал	+	+	+	+	+
Нанотрубки	+	+	+	+	+

5. Выводы

Производство и использование данных материалов очень затратно. С бурным развитием промышленности, наших знаний о космическом пространстве рано или поздно заставит человечество пойти на такие риски.

В данной статье мы разобрали причины возникновения и становления космического материаловедения, определили главные задачи, требования к материалам, основные материалы, используемые в космической технике и провели исследования, где выяснили, что в скором времени на смену алюминиевых, титановых и других наиболее известных нам металлов, придут определено новые, уникальные материалы с особыми

свойствами и механизмами: интеллектуальные композиты, самовосстанавливающиеся материалы и нанотрубки.

Список литературы

1. Акишин, А. И. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов / А. И. Акишин, Л. С. Новиков. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
2. Акишин, А. И. Модель космоса. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / А. И. Акишин, Л. С. Новиков, А. А. Маклецов, В. Н. Милеев. Под ред. проф. Л.С. Новикова. – М.: ЭНЦИТЕХ, 2007. – 315 с.
3. Милинчук, В. К. Основы радиационной стойкости и органических материалов / В. К. Милинчук, Э. Р. Клиншпонт, В. И. Тупиков. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 252 с.
4. Новиков, Л.С. Физические механизмы радиационной электризации космических аппаратов / Л. С. Новиков Л.С. // Космонавтика и ракетостроение. Научно-технический журнал ЦНИИМАШ. – 2003. – № 1(30). – С. 15-24.

УДК 004 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.14-17 EDN: VYYDUE

Материалы с памятью формы

Д.А. Бутьянов*, С.А. Арефьева

Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, Краснодар, Россия

*E-mail: dima_dima2_13_dima@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрена характеристика материалов с эффектом памяти формы, суть явления и сферы их применения. Данная работа является актуальной, так как исследования в данной области проводятся до сих пор во многих странах.

Ключевые слова: материалы, память формы, сплавы, кристаллическая решетка и т.д.

Shape memory materials

D.A. Butyanov*, S.A. Arefieva

Kuban State Technological University, st. Moscow, 2, Krasnodar, Russia

*E-mail: dima_dima2_13_dima@mail.ru

Abstract. The paper considers the characteristics of materials with the shape memory effect, the essence of the phenomenon and the scope of their application. This work is relevant, because. research in this area is still being carried out in many countries.

Keywords: materials, shape memory, alloys, crystal lattice, etc.

1. Введение

На нашей планете есть множество материалов и каждый из них обладает своими уникальными свойствами. Некоторыми из таких свойств являются твердость, прочность и долговечность. Их можно долго перечислять, но я хочу обратить внимание на очень интересное свойство, о котором многие даже не подозревают. Это свойство называется памятью формы.

Исследования этого свойства до сих пор ведутся во многих странах и поэтому актуальность данной темы достаточно высока. В пример можно взять обычную пружину, для нас возвращение пружины из растянутого состояния в изначальное кажется совсем привычным и естественным, однако если превысить предел деформации пружины, то она уже не сможет вернуться в изначальное состояние из-за пластической деформации.

Однако, совсем недавно учёные обнаружили материалы (сплавы), которые могут вернуться в изначальное состояние при деформации формы. Это означает, что некоторые сплавы при их предварительной деформации могут вернуться в исходное состояние после нагрева. То есть некоторые материалы, не являясь живыми существами, способны проявлять такую своеобразную память.

2. Материалы с эффектом памяти формы и сферы их применения

Материалы с памятью формы (МПФ) характеризуются способностью восстанавливать свою первоначальную форму после значительной и кажущейся пластической деформации при приложении определенного стимула. Это известно как эффект памяти формы (ЭПФ). Сверхэластичность (в сплавах) или вязкоупругость (в полимерах) также обычно наблюдается, если материалы с памятью формы деформируется в момент воздействия раздражителя. Эффект памяти формы можно использовать во многих областях, от аэрокосмической техники (например, в развертываемых конструкциях и трансформируемых крыльях) до медицинских устройств.

С помощью таких материалов были разработаны перчатки помогающие человеку в процессе его реабилитации, зажимы для защемления малых вен, проволока для исправления зубного ряда, фильтры для введения в сосуды кровеносной системы и еще огромное множество полезных и жизненно необходимы медицинских изобретений.

Несмотря на то, что ЭПФ был обнаружен в сплаве AuCd еще в 1932 г., это явление, по-видимому, не было столь привлекательным до 1971 г., когда в Военно-морских артиллерийских лабораториях США была обнаружена значительная восстанавливаемая деформация в сплаве NiTi2. На сегодняшний день разработан ряд сплавов с памятью формы (СПФ). Среди них только три системы сплавов, а именно на основе NiTi, на основе Cu (CuAlNi и CuZnAl) и на основе Fe, в настоящее время имеют большее коммерческое значение.

Было проведено систематическое сравнение сплавов с памятью формы NiTi, CuAlNi и CuZnAl с точки зрения различных показателей эффективности, представляющих интерес для инженерных приложений. В то время как NiTi должен быть первым выбором из-за его высокой производительности и хорошей биосовместимости, что имеет решающее значение в биомедицинских применениях, например, в стендах и проводниках в минимально инвазивной хирургии, СПФ на основе Cu имеют преимущества низкой стоимости материала и хорошей обрабатываемости. ЭПФ в СПФ на основе Fe относительно намного слабее, и они, скорее всего, используются только как застежка/зажим для одноразового срабатывания в основном из-за чрезвычайно низкой стоимости. Все эти СПФ являются термочувствительными, то есть стимулом, необходимым для запуска восстановления формы, является тепло.

В последние годы был достигнут хороший прогресс в разработке ферромагнитных СПФ, которые являются магниточувствительными. Но с точки зрения реального инженерного применения термочувствительный СПФ является более зрелым, и к настоящему времени реализовано множество коммерческих приложений.

3. Феномен и суть явления

Чтобы понять суть данного феномена нужно лишь один раз увидеть, как он действует. Для это можно взять проволоку, изогнуть её и нагреть. В ходе действия этого эксперимента мы увидим, как проволока медленно начнет принимать свою изначальную форму.

Если разбирать его более детально, то можно сказать, что при деформации внешние слои вытягиваются, а внутренние сжимаются. Такие вытянутые структуры называют мартенситными пластинами, которые являются совершенно естественными для металлических сплавов. Необычность этого эксперимента проявляется в другом:

мартенстит является термоупругим в сплавах с памятью формы. Поэтому материал при нагреве восстанавливает свою исходную форму, можно сказать, что мартенсит проводит автодеформацию в обратном направлении.

Есть такое понятие как кристаллическая решетка, если говорить простым языком, то это периодическое расположение атомов вещества в пространстве. И у каждого металла есть строение кристаллической решетки, заложенное в его структуру изначально. Но можно совершить изменения в строении кристаллической решетки с помощью таких факторов как температура и давление. В таком случае говорят о полиморфном превращении, то есть происходит перестроение структуры кристаллической решётки. Полиморфное превращение можно совершить при помощи нескольких способов: воздействие на сплав высокой температуры и мартенситного превращения. Однако, если при применении первого способа температура будет недостаточно высокой, то нужно применить бездиффузный способ.

При изучении одного из древнейших способов термообработки – закалки стали, был обнаружен так называемый бездиффузный способ. В результате закалки образовывалась фаза с новой кристаллической решёткой, которая называется мартенсит. Поэтому полиморфное превращение решили заменить на мартенситное превращение. Данный способ характерен для цветных сплавов, чистых металлов, сталей и полимеров в случае перестройки кристаллической решётки при отсутствии диффузии.

4. Выводы

Исследования по изучению свойств памяти формы ведется и по сей день во многих странах мира. На данный момент её изучение внесёт очень большой вклад в развитие будущего.

Благодаря этим изучениям появилось очень много прогрессирующих механизмов, помогающих человечеству во многих сферах жизнедеятельности.

Список литературы

1. Муслов, С. А. Сверхэлластичные сплавы с эффектом памяти формы в науке, технике и медицине. Справочно-библиографические издание / С.А Муслов, В.А. Андреев, А.Б. Бондарев, П.Ю. Сухочев. – М., Издательский дом «Фолиум», 2010.
2. Хачин, В. Н. Память формы / В. Н. Хачин. – М.: Знание, 1984.

УДК 620.22 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.18-24 EDN: XIPUFB

Изучение и использование материалов с эффектом памяти формы

Н.Н. Насирова, С.А. Арефьева*

Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, д. 2, Краснодар, 350072, Россия

*E-mail: materialoved@mail.ru

Аннотация. Приведен краткий обзор по получению и применению материалов с эффектом памяти формы. Приведены данные, появления такого понятия, как эффект памяти формы в целом, также данные о первых исследованиях материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ), данные свидетельствующие об отсутствии упрочнения процесса накопления деформаций прямого мартенситного превращения в сплавах с памятью формы. Рассказано о возникновение внутренних напряжений, стремящихся вернуть структуру в исходное состояние. Показаны преимущества и уникальность этих сплавов. Эффект памяти формы металлов связан с особыми видами деформации - мартенситными превращениями. Как от температуры зависят мартенситные превращения. Также большинство сплавов с памятью формы чаще всего содержат сплавы меди, алюминия и никеля, а также никеля и титана. Широкое использование таких материалов в различных сферах жизнедеятельности. Рассматривается характеристика эффекта памяти формы и обратимой памяти формы. Анализируется реализация механизмов с эффектом памяти формы. Спектр применения этих материалов растет день ото дня и обещает еще много интересного. Материалы с эффектом памяти формы – это материалы будущего.

Ключевые слова: материал, форма, деформация, мартенсит, память, упругость

Exploring and using shape memory materials

N.N. Nasirova, S.A. Arefieva*

Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, Russia

*E-mail: materialoved@mail.ru

Abstract. A brief overview of the production and application of materials with shape memory effect is given. Data are given, the emergence of such a concept as the shape memory effect in general, as well as data on the first studies of materials with a shape memory effect (SME), data indicating the absence of hardening of the process of accumulation of deformations of direct martensitic transformation in shape memory alloys. It is told about the occurrence of internal stresses, tending to return the structure to its original state. The advantages and uniqueness of these alloys are shown. The shape memory effect of metals is associated with special types of deformation - martensitic transformations. How does martensitic transformation depend on temperature Also, most shape memory alloys most often contain alloys of copper, aluminum and nickel, as well as nickel and titanium. Widespread use of such materials in various spheres of life. The characteristics of the effect of shape memory and reversible shape memory are considered. The implementation of mechanisms with the memory shape effect is analyzed. The range of applications of these materials is growing day by day and promises many more interesting things. Shape memory materials are the materials of the future.

Keywords: material, shape, deformation, martensite, memory, elasticity

1. Введение

В настоящее время ключевой задачей материаловедения является создание новых конструкционных и функциональных материалов и технологий их производства, необходимых для обеспечения конкурентоспособности высокотехнологичных отраслей экономики. Приоритетным направлением является разработка «умных» материалов, в том числе с эффектом памяти формы (ЭПФ).

Целью данной работы является анализ возможностей использования материалов с «умными» элементами, сплавов и их систем с обратимой фазовой структурой– материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ).

Формирование наноструктурированных слоев на поверхности из материалов с ЭПФ, обладающих помимо высоких механических свойств, также высокой сглаживающей способностью и особыми функциями, что является эффективным способом повышения эксплуатационных характеристик и срока службы изделий [1].

В перечень стандартных представлений людей о явлениях окружающего мира входит надежность и долговечность конструкций и изделий, выполненных из металла, которые обладают способностью на протяжении длительного промежутка времени сохранять имеющуюся функциональную структуру.

Для всех природных материалов, которые находятся в окружающем мире характерно наличие строго обозначенного перечня свойств, к ним можно отнести удельную прочность, твердость, упругость. Одновременно с этим многие забывают о таком свойстве материалов как память.

2. Материалы и методы

Исследованием обозначенного свойства занимались и занимаются ученые по всему миру. Люди воспринимают тот факт, что пружина приходит в исходное положение, как обычное явление, при этом никто не задается вопросом, почему так происходит [2].

Не так давно исследователи нашли металлы, они после воздействия и изменения своей формы «вспоминают» ту форму, которую они имели до обработки. На основании этого была сформирована доказательная база о существовании набора металлических сплавов, материалов, они в условиях высоких температур после предварительного

воздействия обнаруживают явление возврата к той форме, которая была до обработки. Данный эффект получил название эффект памяти формы.

Под эффектом памяти формы принято понимать явление возвращения к начальной форме в условиях температурного воздействия. Это явление нашло свое отражение в некоторых материалах после предварительного изменения формы в конкретном для каждого сплава температурном режиме.

Эффект памяти формы (ЭПФ) в случае с металлами является одним из важнейших открытия в сфере материаловедения. Значимость этого открытия на данный момент времени высокого оценивается учеными и исследователя, которые продолжаются изучение и применяют на практике полученные результаты [3].

Многие учение проявляют особый интерес к данному явлению. Все дело в том, что они стремятся найти ответы на вопросы о физической природе и механизме ЭФП, что оказывает положительное влияние на формирование представления о неупругом поведении твердых тел.

3. Результаты и практические приложения

С практической точки зрения данные исследования актуальны в том плане, что ЭПФ в металлах уже открывает большие перспективы для использования в технологическом процессе, благодаря этому можно разрабатывать элементы и устройства, оснащенные новыми функциональными свойствами.

Исследования в области изучения свойства памяти формы у материалов начались много лет назад. Первые исследования в этом направлении были начаты в начале 20 века, когда учеными была предпринята попытка к изучению свойств сплавов и металлов.

Специалист в области физики из Швеции Арни Оландер стал тем, кто в 1932 году открыл эффект памяти формы, также результаты его работы заложили основы для формирования представления о сверхэластичности. При этом термин «сплав с памятью формы» был сформулирован после случая, который произошел в середине прошлого столетия. Материалы с памятью формы стали очень актуальные после того, как У. Бугер и Ф. Ванг представили данные о найденном ими материале, обладающем памятью формы, что произошло в 1962 на научной конференции. Исследователи осуществляли свою деятельность на базе Военно-морской артиллерийской лаборатории. Основным направлением из работы был анализ жаропрочности и жаростойкости сплавов системе

Ti-Ni. Им удалось выяснить, что при эквиатомном составе (50 ат. % Ti + 50 ат. % Ni) материал при охлаждении начинает накапливать значительные деформации и может восстанавливать их при повторном температурном воздействии, другими словами вернуться к своей первоначальной форме. Это открытие эффекта памяти формы, применимое к никелевым и титановым сплавам экви-атомного состава (TiNi) в дальнейшем получило название никелид титана. Это внесло большой вклад в исследование эффекта памяти формы [4].

Данный эффект характеризуется наличием тесной взаимосвязи с особыми видами деформациями, в данном случае речь идет о мартенситных превращениях.

В своем изначальном состоянии материал имеет строго обозначенную структуру. В ходе деформации (изгибе) наблюдается растяжение внешних слоев материала, одновременно с этим происходит сжатие внутренних слоев материалов, средние не подвергаются изменениям. Эти удлиненные структуры принято называть мартенситными пластинами, что является распространенным явлением для металлических сплавов. Важно отметить, что в материалах с памятью формы мартенсит проявляет термоупругость [5].

В условиях воздействия высоких температур проявляется термоупругость мартенситных пластин, другими словами, формируются внутренние напряжения, стремящиеся вернуть структуру в первоначальную форме, на практике это выражается в сжатии вытянутых пластин и растяжении плотных.

С учетом того факта, что наружные удлиненные пластины сжимаются, а внутренние уплощенные начинают растягиваться, материал изменяется в противоположном направлении и возвращается к своей первоначальной структуре, это же актуально для формы.

В ходе проявления эффекта памяти формы принимают участие мартенситные превращения двух типов: прямое и обратное. Каждая из них проявление в своем температурном режиме: Мн и Мк – начало и конец прямого мартенситного превращения при охлаждении, Ан и Ак – начало и конец обратного мартенситного превращения в условиях воздействия высоких температур [6].

Марка сплава (система сплавов) и его химический состав оказывает большое влияние на температуру мартенситного превращения. Малые изменения состава сплава

приводят к изменению этих температура. В связи с этим уделяется особое внимание соблюдению химического состава сплавов, для однозначного функционального проявления эффекта памяти формы, создавая условия для перевода металлургической промышленности в сферу высоких технологий. Проявление эффекта памяти формы наблюдается после большого количества циклов, его необходимо укрепить за счет предварительной обработки высокими температурами.

Отдельного внимания заслуживает обратимый эффект памяти форм, когда материал при строго обозначенном температурном режиме «запоминает» одну конфигурацию, а при изменении температуры – другую. Показатель температуры обратного мартенситного превращения оказывает большое влияние на выраженность эффекта формы памяти.

В перечень функциональных свойств памяти форм входит явление, получившее название – направленная трансформационная деформация, которая имеет особое теоретическое и практическое значение. Есть суть можно представить таким образом: если тело, охлажденное под напряжением, переместить в области температуры, в которых проявляется пластичность прямого мартенситного превращения, и не прекратить уменьшение температуры, то в условиях продолжающегося охлаждения не всегда будет наблюдаться деформация на макроскопическом уровне. В таких условиях деформация накапливается. В других случаях наблюдается повышенная отдача, когда снижается температурный режим. Такие свойства как деформация ориентированного превращения и аномальный возврат деформации характеризуются наличием тесной взаимосвязи с ростом кристаллов мартенсита, возникающие под действием нагрузки – в случае изменения ориентированного превращения кристаллов положительной ориентации. В случае с аномальным возвратом наблюдается негативная ориентация. Для запуска этих явлений одним из условий являются направленные малые напряжения [7].

Сверхэластичность представляет собой свойство материала, связанное с воздействием памяти формы. Речь идет о свойстве материала, нагруженного напряжением, которое превышает его предел текучести, для полного восстановления его начальной формы после снятия нагрузки. Повышенная эластичность начинает проявляться в условиях определенного температурного режима. На данный момент времени самым изученным материалом с точки зрения памяти формы является никелид

титана (нитинол) — с 55 % Ni (по массе). Для плавления этого материала необходимо создать температурный режим от 1240 до 1310 градусов.

В конце 20 века этот эффект был обнаружен у большого количества сплавов.

Важно отметить, что после соответствующей обработки сплавы с эффектом памяти могут самостоятельно принимать одну формы при охлаждении и другую при воздействии высокими температурами. Это свойство получило название обратимый эффект памяти формы. В строго обозначенном интервале температур сплавы с памятью формы начинают проявлять свойства, характерные для резины, речь идет об эффекте сверхэластичности и сверхпластичности. Эти сплавы нашли свое применение в разных областях, включая науку, технику и медицину.

С металлом, которые может возвращать деформации, можно выполнять сложные операции с точки зрения изменения его форм. На практике это выражается в термине «трансформируемые конструкции».

Сочетая силовые и деформационные свойства металлических элементов с эффектом памяти формы, можно разрабатывать и внедрять простые и эффективные приводы роботов, приводы в конвейерном производстве, усилители перемещений.

Сплавы с памятью формы проявляют уникальной поведение, по этой причине им отдается предпочтение при изготовлении изделий и компонентов. Область применения материала с памятью формы расширяется. Изделия из такого сплава нашли свое применение в стоматологии и создании очков. У этого материала имеются большие перспективы, которые находят свое отражение в новых областях.

4. Заключение

Мировой опыт показывает, что использование материалов ЭПФ вместе с нанотехнологиями является интенсивно развивающейся и самостоятельной областью современного космического, стратегического и гражданского материаловедения [8]. Такой повышенный интерес обусловлен возможностью создания технологий нового поколения в областях аэрокосмической и автомобильной промышленности, приборостроения и машиностроения, электроники, биомедицины и др.

Список литературы

1. Харрисон, Дж. Д. Использование сплавов системы Ti-Ni в механических и электрических соединениях / Дж. Д. Харрисон, Д. Е. Ходгсон // Эффект памяти формы в сплавах. Под ред. В.А. Займовского. – М.: Металлургия, 1979. – 429-434 с.
2. Academic.RU: агрегатор энциклопедий: сайт. – 2000. https://academic.ru/
3. Интернет-энциклопедия: сайт. – 2001. https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_памяти_формы
4. Скрипко, З. А. Изучение темы «Эффект памяти формы материалов» в педагогическом вузе: учебно-методическое пособие / З. А. Скрипко; ГОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет». – Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. – 40 с.
5. Бледнова, Ж.М. Структурно-механические свойства материалов, поверхностно-модифицированных сплавами с эффектом памяти формы / Ж.М. Бледнова, Д.Г. Будревич, Н.А. Махутов, М.И. Чаевский // Заводская лаборатория. – 2003. – № 9. – С. 61-64.
6. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К.Ооцука, К.Симидзу, Ю. Судзуки // Под ред. Х. Фунакубо. – М.: Металлургия, 1990. – 224 с.
7. Лихачев, В. А. Эффект памяти формы / В. А. Лихачев, С. Л. Кузьмин, З. П. Каменцева. – Л.: ЛГУ, 1987. – 216 с.
8. Хачин, В. Н. Никелид титана. Структура и свойства / В. Н. Хачин, В. Г. Пушин, В. В. Кондратьев. – М.: Наука, 1992. – 160 с.

УДК 620.22 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.25-29 EDN: RPQAGA

Новейшие материалы, применяемые при создании гидротурбин для Гидроэлектростанций (ГЭС)

Э.Э. Мстоев, С.А. Арефьева*

Кубанский государственный технологический университет, 2, Московская ул., Краснодар 350072, Россия

*E-mail: mstoevaldar22@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматриваются материалы, используемые в создании гидротурбин путем знания материаловедения. Определены причины для использования материаловедения в этом направлении. Найдены факторы, воздействующие на материалы со стороны окружающей среды. Выявлены главные эксплуатирующие требования. В результате исследования были определены рентабельные материалы. При использовании таких материалов на ГЭС, человечество выйдет на новый уровень добычи электроэнергии.

Ключевые слова: гидротурбина, ГЭС, сталь, механические свойства, химический состав, марка стали, процесс изготовления, термообработка, сварка изделий, рабочее колесо

The latest materials used in the construction of turbines at a power plant

E.E. Mstoev, S.A. Arefieva*
Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya st., Krasnodar, 350072, Russia

E-mail: mstoevaldar22@gmail.com

Annotation. This article discusses the materials used in the study of hydraulic turbines knowledge of the methods of materials science. Certain reasons for using materials science in this appendix. Factors affecting materials from the environment are found. Key operating requirements have been identified. As a result of the study, there were resource gaps. When using materials such as hydroelectric power, it is possible that a new level of energy consumption will arise.

Keywords: hydraulic turbine, hydroelectric power station, steel, mechanical properties, chemical composition, brand, manufacturing process, heat treatment, welding of products, solid wheel

1. Введение: основные понятия

Электричество – это одно из важнейших явлений, которое открыло человечество, с появлением электроэнергии жизнь людей изменилась кардинально. Большинство приборов, которые создал человек, работают при помощи электрического тока.

Гидроэлектростанция – это станция, которая при помощи потока реки, или прилива и отлива морской или океанической воды, получает электроэнергию. ГЭС строят на крупных реках, для хорошей ежегодной выработки нужно строить ГЭС на реках с уклонами.

Принцип работы ГЭС состоит в том, напор воды, который образует платина, попадает по водопроводу на лопасти гидротурбины, турбина в этот моменты приводит в действие гидрогенератор, который преобразует электрический ток. Все приборы и оборудования находятся в закрытом помещении так называемой – электростанцией.

Гидротурбина – это такой вид турбины, который приходит в действие с использованием водных ресурсов.

Производство деталей зависит от: сложности изделия, учитывая выполнения некоторых изделий ручной работой; использования станков разной сложности и эффективности [3].

2. Металлоемкость изделий

Прежде чем начинать создание изделия, объект проектируется, проходя стадии согласования чертежей, это помогает быстро и качественно изготовить детали.

Таблица 1. Металлоемкость по параметрам гидротурбин, произведенных в России и за границей.

Название ГЭС	Тип	Год выпуска	Мощность, Тыс. кВт	Диаметр рабочего колеса, м	Металлоемкость, кг/кВт
Волжская	Вертикальная	1958	126	9,3	13,0
Саратовская		1964	59,3	10,3	19,1
«Ашах» (Австрия)		1964	66,54	8,4	31,0
Братская	Радиально-осевая	1961	217	5,5	2,6
«Бхакра» (Индия)		1964	127	4,1	2,6
Саяно-Шушенская		1977	650	6,77	1,9
Зейская	Поворотно-лопастная	1974	220	6,0	4,6
Колымская	Диагональная	1979	184	4,2	2,9
«Кемано» (Канада)	Ковшовая	1952	110	3,35	2,9

3. Материалы

Материалы для создания деталей гидротурбины должны иметь следующие свойства:

- деталь должна обладать высокой прочностью, при высоких нагрузках во время эксплуатации;
- материал должен придать долговечность турбины;
- высокую коррозионную стойкость.

В наше время использовать такой материал не выгодно с материальной точки зрения и многие производители пытаются изготовить детали для гидротурбин меняя цветные металлы на неметаллические материалы. Начали менять бронзовые детали в колесах поворотно-лопастных гидротурбин на не металлические детали. 75-90% используемого листового проката делают из углеродистой стали марки ВСт3 и БСт3 по ГОСТ 380—71* толщиной листа от 4 до 160 мм.

Таблица 2. Механические свойства и химический состав стали.

Марка стали	Химический состав стали группы Б, %			Механические свойства стали группы А при 20°С, не менее			
	C	Si	Mn	Размер сечения, мм	σ_B, МПа	υ_T, МПа	δ_S, %
Ст2пс	0,09-0,15	0,05-0,17	0,25-0,50	До 20	340-440	230	32
				20-40		220	31
Ст2сп		0,12-0,30		40-100		210	29
Ст2Гпс				Св. 100		200	29
Ст3пс	0,14-0,22	0,05-0,17	0,40-0,65	До 20	380-490	250	26
				20-40		240	25
Ст3сп		0,12-0,30		40-100		230	23
				Св.100		210	23
Ст3Гпс	0,14-0,22	0,15	0,8-1,1	До 20	380-500	250	24
				20-40		260	25

В этом случае стали делят на группы:

- По механическим свойствам.
- По химическому составу.
- И непосредственно механические и химические свойства.

Также каждая сталь маркируется. Стали могут маркироваться по степени раскисления:

1. Кипящая (кп).
2. Спокойная (сп).
3. Полуспокойная (пс).

Пример маркировки стали-Ст3Гпс. Углеродистая конструкционная качественная сталь, с повышенным уровнем Mn, полуспокойная. [1]

4. Результаты

Сформулируем требования по качеству изготовления рабочих колес, которые можно разделить на следующие категории:

I. Требование по качеству материала и сварных работ.
1. Механические свойства и химический состав сталей, используемый для изготовления колес.
2. При отливах ступичных деталей не допустимы микродефекты, минимальная погрешность дефекта равняется до 5 мм, при условии, что расстояние между дефектами не менее 50 мм.
3. Изготовление лопастей с помощью листового проката, не должны иметь трещин и разных металлических и не металлических включений.
4. При сварных работах не допускаются дефекты.
5. При термообработке рабочих колес мы получаем более крепкое изделие путем его упрочнения методом закалки, например.

II. Требование по точности форм и размеров изделий.
1. Погрешность отклонения принимается в зависимости от размера колеса.
2. Форма поверхности лопастей проверяется гибкой рулеткой.
3. Ra- это значение шероховатости. Оно примерно ровняется 2,5 мкм после шлифования.

III. Требуемая точность механических изделий.
1. Сопряжения вала с выточкой колеса нужно выполнять с посадкой H6/h6.
2. Кольца вращения изготавливают в пределах h6-h7.

3. Вогнутость фланца составляет 0,02:1000.

Производство литейных колес.

Детали литейных колес производят в специальных формах, иначе называемых кессоны. Они прочно защищены от проникновения воды из недр земли дренажной системой, форма сооружается устойчивой арматурой. Отливки делают из стали которые препятствуют коррозии, необходимо ее заправлять инертным газом для предотвращения появления оксидных пленок.

Производство сварных колес.

Такие колеса изготавливаются следующими пунктами:

1. Заготовка изделий.
2. Подготовка изделия для сварки.
3. И сама сварка, но в этом пункте изделие может проходить термообработку. [2]

Список литературы

1. Кушнер, В. С. Конструкционные и инструментальные стали и сплавы / В.С. Кушнер. – Омск: Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2008. – 222 с.
2. Щапов, Н. Б. Турбинное оборудование гидростанций / Н. Б. Щапов. Изд. 3-е, доп. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 319 с.
3. Аршеневский, Н. Н. Гидроэлектрические станции / Н. Н. Аршеневский, Ф. Ф. Губин, М. Ф. Губин, В. Я. Карелин, Г. И. Кривченко, А. И. Попов. – Москва, Энергия, 1980 г. – 368 с.

УДК 671.78 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.30-35 EDN: SKXUNX

Влияние процессов термической обработки на свойства и структуру углеродистой и легированной стали

Р.В. Лукашевич, С.А. Арефьева*

Краснодарский государственный технологический университет, 2, ул. Московская, Краснодар, 350042, Россия

*E-mail: materialoved@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс обработки стали в условиях высоких температур, включая отжиг, закалку и отпуск. Особое внимание уделяется влиянию процесса на структуру и свойства материала. Также проанализированы отличительные особенности обработки разных видов стали: углеродистой и легированной. Посредством реализации опыта было подтверждено, что отжиг и отпуск оказывают негативное влияние на твердость и заметно упрощают работу со сталью, при этом закалка повышает показатели прочности и твердости исходного материала.

Ключевые слова: термическая обработка, сталь, закалка, отжиг, отпуск

Influence of heat treatment processes on the properties and structure of carbon and alloy steel

R.V. Lukashevich, S.A. Arefieva*

Krasnodar State Technological University, 2, st. Moscow, Krasnodar, 350042, Russia

*E-mail: materialoved@mail.ru

Abstract. The article discusses the process of steel processing at high temperatures, including annealing, hardening and tempering. Particular attention is paid to the influence of the process on the structure and properties of the material. Also, the distinctive features of the processing of different types of steel: carbon and alloy steel are analyzed. Through the implementation of the experiment, it was confirmed that annealing and tempering have a negative effect on hardness and significantly simplify the work with steel, while hardening increases the strength and hardness of the source material.

Keywords: heat treatment, steel, hardening, annealing, tempering

1. Введение

Под термической обработкой принято понимать процесс нагревания и охлаждения металлов с использованием строго обозначенных заранее подобранных способов для получения заданного перечня свойств. Важно отметить, что черные и цветные металлы перед применением погружаются в условия высоких температур. Процедура реализуется в специальных печах, альтернативный вариант – это холодильные установки. С их помощью можно контролировать температурный режим на всех этапах технологического процесса. Это значимый фактор с точки зрения обеспечения эффективной закалки. Необходимо понимать, что игнорирование технологии может привести к негативным последствиям, ярким примером является придание металлу отрицательных свойств. Большое влияние на режим обработки в условиях высоких температур оказывает структурный состав материала. Все они установлены посредством реализации практических действий, подразумевающих под собой проведение многократных испытаний, по этой причине современные способы упрочнения при выполнении всех критериев дают возможность получать материалы высокого качества, обладающие высокими показателями прочности. На итоговый результат оказывают влияние множество факторов. Среди них можно выделить время нагрева, время выдержки детали из металла в условиях строго обозначенного температурного режима, скорость охлаждения, окружающие условия, это далеко не полный перечень факторов. В рамках этих процессов свойства металла подвергаются изменениям. К данным свойствам можно отнести электрическое сопротивление, магнетизм, показатели твердости, вязкость, пластичность, хрупкость и устойчивость перед коррозийными процессами.

2. Цель исследования

В качестве основной цели исследования можно выделить выполнение комплексного анализа влияния термической обработки на состав и структуру разных видов стали: углеродистая и легированная. Еще одна цель подразумевает обозначение различий этого процесса с принятием во внимание специфики химического состава.

3. Методы и материалы исследования

Для проведения исследования была выбрана сталь 40 и сталь 40Х (состав представлен в содержании таблицы 1). Сталь 40 представляет собой конструкционную

углеродистую сталь высокого качества, широко применяется для изготовления деталей с хорошими эксплуатационными свойствами, может использоваться в температурных условиях до 425 градусов Цельсия. Сталь 40Х – это конструкционная легированная сталь, которая нашла свое применение в области производства улучшаемых деталей с высокими показателями прочности. Отличительная особенность этого вида стали заключается в том, что в нее специальной вводят легирующие элементы, такое решение позволяет получить необходимые свойства, в контексте исследования речь идет о хроме (Cr). С точки зрения своей теплопроводности легированная сталь заметно уступает углеродистой стали. Важно отметить, что чем больше легированных элементов вводится в материал, тем ниже становится теплопроводность, особенно карбидообразующих сталей. Следствием снижения теплопроводности является увеличение разницы температур между наружным слоем и внутренним объемом детали, выполненной из стали, особенно в условиях быстрого нагрева, в результате может нарушиться целостность материала. Для легированных сталей, подвергаемых обработке в условиях высоких температур, требуется больше времени выдержке, по сравнению с углеродистой сталью. Это обусловлено тем, что легированная сталь обладает более низкой тепловодностью, если сравнивать ее с углеродистой сталью, по этой причине для полного прогрева детали нужно больше времени. Также для получения оптимальных механических свойств возникает необходимость в выдержке для более полного растворения легированных карбидов в аустените. Скорость охлаждения материала в условиях высоких температур обозначается с принятием во внимание стабильности переохлажденного аустенита и величины критической скорости закалки. В связи с этим при термообработке деталей из легированной стали важно учитывать их размеры и форму.

Таблица 1. Химический состав в % вещества.

Марка стали	C	Mn	Si	S	Cr
40	0,37-0,45	0,5-0,8	0,17-0,37	≤0,04	≤0,25
40Х	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	≤0,035	0,8-1,1

Образцы исследования представлены в виде кубов объемом 8см3. Структурное наполнение подготовленного шлифа подвергалась анализу посредством применения

микроскопа Axio Observer, для измерения твердости был использован твердомер Бринелля.

Исходная структура для обоих видов стали включала в себя перлит и феррит. Твердость в исходном состоянии для стали 40 была равна НВ 10^{-1} = 187 МПа, а для 40Х НВ 10^{-1} = 217МПа (рисунок 1). Различие в твердости обусловлено легированным хромом ферритом.

4. Полученные результаты

На первом этапе стали были подвергнуты отжигу. С принятием во внимание влияния легирующей добавки в стали 40Х, которое проявляется в том, что хром повышает критические точки превращения, феррит становится прочнее. Нами был реализован полный отжиг с температурой для стали 40 - 800 градусов Цельсия, а для стали 40Х – 850 градусов Цельсия. Время выдержки составило 30 минут, после этого материал медленно охлаждался в печи. Результатом обработки стало понижение показателей твердости у сталей, что характерно для отожженных сплавов, для стали 40 она составила НВ 10^{-1} = 179 МПа, для 40Х - НВ 10^{-1} = 206 МПа (рисунок 1). Следствием отжига является повышение мягкости, это делается для того, чтобы снять внутреннее напряжение, что позволяет получить однородную структуру, которая подходит для дальнейших операций механической обработки.

После отжига материал проходит закалку. Данная процедура подразумевает под собой термическую обработку, предполагающую нагрев сплава выше критической температуры, далее материал отправляется на быстрое охлаждение. С учетом того факта, что объектом анализа являются доэвтектоидные стали, было принято решение осуществлять полную закалку в условиях температуры 820-840 градусов Цельсия с выдержкой 35 минут и погружением в воду. Структура стали 40 при температуре нагрева под закалку включает в себя аустенит, вследствие охлаждения – мартенсит и остаточный аустенит. Твердость после прохождения закалки стала равняться НВ 10^{-1} = 234 МПа (рисунок 1).

Для стали 40Х температуру закалки важно подбирать с принятием во внимание легирующего элемента – хрома, который оказывает влияние на повышение критических точек. Она будет приблизительно равна 850-900 градусов Цельсия. Структура включает

в себя мартенсит и остаточный аустенит. Твердость после процесса стала равняться НВ 10^{-1} = 255 МПа (рисунок 1).

Отпуск представляет собой завершающую обработку, центральное место в которой занимает распад мартенсита, рекристаллизация и полигонизация. Основной целевой задачей является снятие напряжения закалки. При отпуске деталь подвергается воздействию высоких температур, после этого она выдерживается и охлаждается, в большинстве случаев, на воздухе. Отпуск проводится для того, чтобы подвергнуть изменениям структуру и свойства закаленной стали: снижение внутренних напряжений, повышение ударной вязкости и пластичности, снижение твердости и хрупкости металла. Присутствие в составе стали легирующих элементов вносит ряд изменений в практику отпуска.

Для стали 40 выполнялся низкий отпуск в условиях температурного режима 200 градусов Цельсия, выдержкой 90 минут и охлаждением в печи. Сталь 40 получила структуру отпущенного мартенсита с показателями твердости НВ 10^{-1} = 230 МПа (рисунок 1). Для стали 40Х осуществлялся высокий отпуск с температурой 600 градусов Цельсия, с выдержкой 250 минут и охлаждением на воздухе, следствием этого станут лучшие свойства. Сочетание закалки и высокого отпуска принято называть улучшением. Следствием проведения всех действий стало то, что сталь 40Х получила структуру сорбита отпуска – высокодисперсного перлита. Твердость стала равняться НВ 10^{-1} = 245 МПа (рисунок 1).

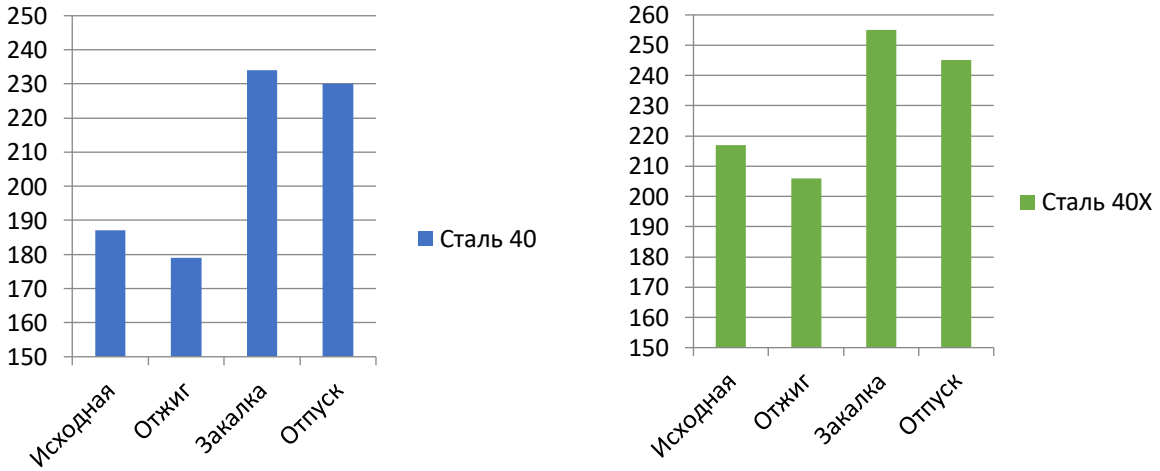

Рисунок 1. Твёрдость сталей 40 и 40Х (МПа).

5. Выводы

Проведенное нами исследование о воздействии обработки стали в условиях высоких температур на свойства и структуру этого материала, позволяет сделать вывод о том, что отжиг и отпуск оказывают влияние на материал, в результате у него снижается твердость, одновременно с этим наблюдаются положительные тенденции с пластичностью, это же касается снятия внутреннего напряжения, что заметно облегчает работу со сталью, которой не нужно сталкиваться с большими нагрузками. Результатом закалки является повышение твердости, прочности и ударной вязкости материала, что дает возможность применять, выбранные виды стали в промышленном оборудовании. В ходе термической обработки легированной стали важно в технологии процесса принимать во внимание повышение критических точек и снижение теплопроводности.

Список литературы

1. Ассонов, А. Д. Основные сведения о металловедении и термической обработке / А. Д. Ассонов. – М.: Машиностроение, 2016. – 112 с.
2. Бочвар, А. А. Основы термической обработки сплавов / А. А. Бочвар. – М.: Медиа, 2014. – 118 с.
3. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термообработка металлов. – М.: Металлургия, 1993, 447 с.

УДК 544.6:678.746.523 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.36-40 EDN: LEYHIT

Определение стойкости лекарственных покрытий медицинских артериальных стентов

Д.В. Мордвинкин*, В.Т. Фомичев, Т.А. Ермакова

Волгоградский государственный университет, пр. Университетский, 100, Волгоград, 400062, Россия

*E-mail: vundmitry@mail.ru

Аннотация. Изучены публикации по изучению материалов, пригодных для изготовления коронарных стентов, а также свойств поливинилпирролидона и ацетилсалициловой кислоты. Рассмотрены причины возникновения рестеноза. Дана оценка полученного покрытия, нанесенного электрохимическим методом. Проведены коррозионные испытания исследуемых образцов с нанесенным покрытием методом поляризационного сопротивления. Выявлена зависимость коррозионной стойкости материала от концентрации ацетилсалициловой кислоты в составе лекарственного покрытия.

Ключевые слова: стентирование, рестеноз, поливинилпирролидон, коррозия

Determination of the resistance of medicinal coatings of medical arterial stents

D.V. Mordvinkin*, V.T. Fomichev, T.A. Ermakova

Volgograd State University, 100 Universitetskiy pr., Volgograd, 400062, Russia

*E-mail: vundmitry@mail.ru

Abstract. Publications on the study of materials suitable for the manufacture of coronary stents, as well as the properties of polyvinylpyrrolidone and acetylsalicylic acid were studied. The causes of restenosis are considered. The evaluation of the obtained coating applied by electrochemical method is given. Corrosion tests of the studied samples with a coating by the method of polarization resistance were carried out. The dependence of the corrosion resistance of the material on the concentration of acetylsalicylic acid in the composition of the drug coating was revealed.

Keywords: stenting, restenosis, polyvinylpyrrolidone, corrosion

1. Введение

Сердечно-сосудистые заболевания, обусловленные образованием атеросклеротических бляшек на стенках кровеносных сосудов, в частности, коронарных артерий, являются основной причиной смертности населения, а потому остаются наиболее актуальной проблемой здравоохранения в большинстве стран мира, в том числе и в России, несмотря на существенный прогресс последних десятилетий в сфере диагностики и лечения кардиоваскулярной патологии.

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Одним из эффективных методов лечения сердечно-сосудистых заболеваний является стентирование – установка в просвет кровеносного сосуда, суженного патологическим процессом, металлического цилиндрического каркаса с сетчатой структурой (стента) с целью восстановления нормального сердечного кровотока. Однако любое инородное тело, контактирующее с клетками крови, активирует механизм свертывания крови, что является причиной возникновения рестеноза – повторной закупорки сосуда. Чтобы предотвратить риск развития рестеноза, на стент наносят лекарственное покрытие, препятствующее образованию тромбов в кровеносных сосудах [1]. При выборе покрытия для стента необходимо учитывать некоторые условия, одним из которых является коррозионная стойкость материала с нанесенным лекарственным покрытием.

3. Методы и материалы исследования

Хромоникельмолибденовая сталь аустенитного класса 03Х17Н13М3 является широко распространенным материалом для изготовления коронарных стентов. Опираясь на ранее проведенные исследования, нанесение на исследуемые подложки данного вида стали тонкого лекарственного покрытия на основе поливинилпирролидона с ацетилсалициловой кислотой было осуществлено на установке электрохимического осаждения «Нано-эх-09» производства Московского института электронной техники [2,3]. Толщина полученного покрытия - от 360 до 600 нм. Оценка коррозионной стойкости методом поляризационного сопротивления проводился с помощью потенциостата - гальваностата Р-40Х компании Elins. Коррозионные испытания образцов проводились в модельном растворе, имитирующий состав плазмы крови (раствор Рингера-Локка).

Рассчитав плотность тока коррозии j_{corr}, можно определить скорость коррозии v_{corr}, используя данные множителей для перерасчета скорости коррозии $n_э=A_M/\gamma zF$ [4].

4. Полученные результаты

На рисунке 1 дан общий вид вольтамперных кривых исследуемых образцов, снятых на персональный компьютер с помощью программного обеспечения «ES8».

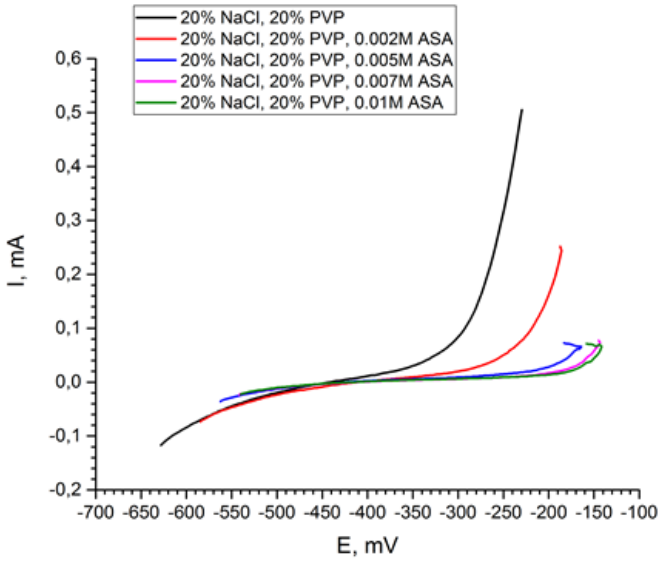

Рисунок 1. Общий вид вольтамперных кривых образцов (в рамке указан состав покрытия: PVP – поливинилпирролидон; ASA – ацетилсалициловая кислота).

В таблице 1 представлены результаты коррозионных испытаний для всех экспериментальных образцов.

Таблица 1. Результаты коррозионных испытаний.

№ образца	Состав покрытия	Плотность тока коррозии (мкА/см^2)	Скорость коррозии (мм/год)
1	ПВП-20%+NaCl-20%	3,37	0,04
2	ПВП-20%+NaCl-20%+АСК (0,002М)	5,43	0,06
3	ПВП-20%+NaCl-20%+АСК (0,005М)	4,35	0,05
4	ПВП-20%+NaCl-20%+АСК (0,007М)	3,12	0,04
5	ПВП-20%+NaCl-20%+АСК (0,01М)	1,07	0,01

ПВП – поливинилпирролидон.
АСК – ацетилсалициловая кислота.

Проведем анализ изменения коррозионной стойкости материала в зависимости от концентрации ацетилсалициловой кислоты, входящей в состав лекарственного покрытия (рисунок 2). Данная зависимость имеет линейный характер – коррозионная стойкость увеличивается с увеличением концентрации ацетилсалициловой кислоты.

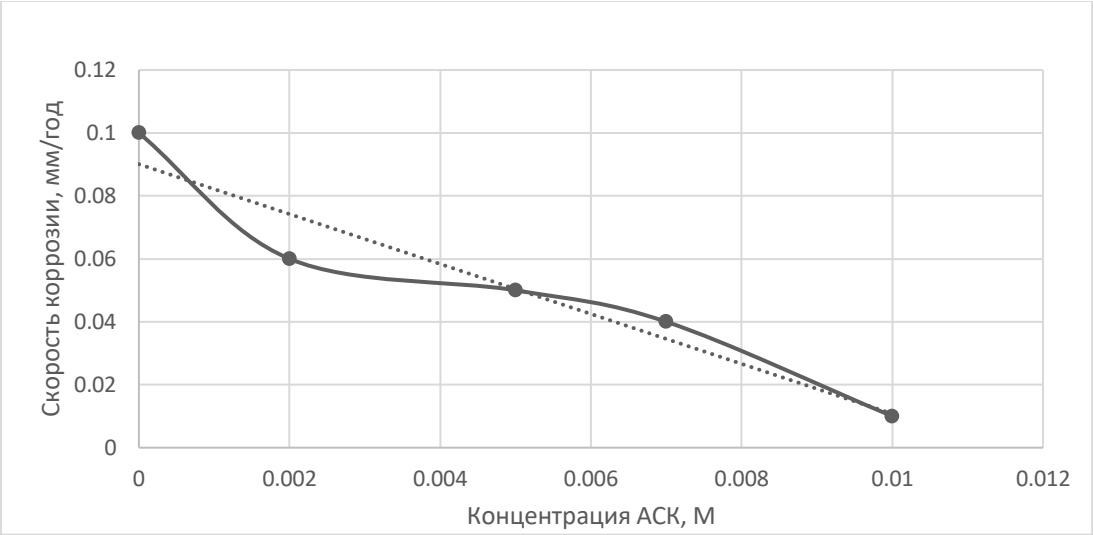

Рисунок 2. Изменение коррозионной стойкости в зависимости от концентрации ацетилсалициловой кислоты (АСК)

Данные результаты свидетельствуют о том, что добавление ацетилсалициловой кислоты позволяет повысить коррозионно-защитные свойства лекарственного покрытия на основе поливинилпирролидона.

5. Выводы

Коррозионные испытания методом поляризационного сопротивления показали следующее: нанесение полимерного покрытия с добавлением ацетилсалициловой кислоты увеличивает коррозионную стойкость стали. При добавлении 0,01М ацетилсалициловой кислоты в состав покрытия коррозионная стойкость увеличивается в 4 раза. Это, в свою очередь, может увеличить срок службы коронарного стента. Покрытия, полученные электрохимическим методом, наносятся квазиравномерно.

Список литературы

1. Стентирование коронарных сосудов. – URL: http://www.medmanager.ru/operacii_stentirovanie_koronarnyh_sosydov.htm (дата обращения: 25.01.2020).

2. Мордвинкин, Д. В. Создание лекарственных покрытий на медицинских металлических стентах электрохимическим методом / Д. В. Мордвинкин, А. А. Королева, Т. А. Ермакова, И. В. Запороцкова // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов. В 6 томах – Санкт-Петербург, 2019. – № 5. – 360 с.
3. Мордвинкин, Д. В. Создание лекарственных нанопокрытий медицинских артериальных стентов электрохимическим методом / Д. В. Мордвинкин // Материалы научной сессии в 2-х томах / под общ. ред. А.Э. Калининой, А.В. Шевадрина. – Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2020. – с. 248-250.
4. Защита подземных металлических сооружений от коррозии / Сост. И.В. Стрижевский, А. Д. Белоголовский, В. И. Дмитриев и др. – М.: Строй-издат, 1990. – 303 с.

УДК 620.22 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.41-47 EDN: LZLPXL

Уникальное применение композитных материалов в современной науке и технике

В.В. Вавилова*, С.А. Арефьева

Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, Краснодар, 350072, Россия

*E-mail: vlada.vavilova@inbox.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются композитные материалы, их строение, достоинства и недостатки, в каких отраслях они применяются и почему их использование так актуально и востребовано в современном мире. Отмечается, что композитные детали гораздо более устойчивы к разрушению под напряжением, чем металлические детали, так как композиты из-за своей сложной структуры перераспределяют внутренние напряжения и блокируют распространение мелких трещин. Сделан вывод о том, что композитные материалы станут наиболее используемыми и удобными материалами при правильном их использовании.

Ключевые слова: композитные материалы, космические композиты, космический корабль «Шаттл», нанотехнологии, нанотрубки

Unique application of composite materials in modern science and technology

V.V. Vavilova*, S.A. Arefieva

Kuban State Technological University, Moskovskaya str. 2, Krasnodar, 350072, Russia

*E-mail: vlada.vavilova@inbox.ru

Annotation. This article discusses composite materials, their structure, advantages and disadvantages, in which industries they are used and why their use is so relevant and in demand in the modern world. It is noted that composite parts are much more resistant to stress fracture than metal parts, since composites, due to their complex structure, redistribute internal stresses and block the propagation of small cracks. It is concluded that composite materials will become the most used and convenient materials if used correctly.

Keywords: composite materials, space composites, space shuttle "Shuttle", nanotechnology, nanotubes

1. Введение: основные понятия

Интенсивное становление науки, техники, космоса, освоение новейшими источниками энергии, в разработке модернизированных обликов автотранспорта и связи, в освоении практически не изученных глубин Мирового океана является отличительными чертами XXI века. Улучшение науки и техники во многом находится в зависимости от фуроров в области сотворения новых материалов. Первостепенно это относится к областям, где сочетание между прочностью (жесткостью) и массой строения обуславливает ее высокоэффективность. Данным критериям, несомненно, отвечают композитные материалы.

Композитные материалы – это такие «супервещества», которые получают соединением двух и более компонентов. Сочетание свойств образовывает новые материалы с уникальными свойствами, отличными от исходного сырья. То есть это суперновые материалы, вобравшие в себе, все лучшее от родителей [1].

2. Постановка задачи

Цель данной работы состоит в подробном изучении композитных материалов, областей их использования во всевозможных областях науки и техники. В данной работе будет рассмотрены их аспекты, достоинства и недостатки, применение в различных отраслях, а также актуальность. Композиты состоят из 2 основных частей: первая часть — матрица, а вторая часть — наполнитель. Каждая из частей, входящих в структуру композиционных материалов, выполняет определенную функцию. Таким образом, матрица передает нагрузки между армирующими элементами, защищает их от вредных наружных воздействий, гарантирует целостность, фиксирует форму и размеры изделий из композиционных материалов. При этом наполнитель отвечает за обеспечение прочностных и жесткостных характеристик композиционных материалов, устраняет возникшие трещины и т.д. [2].

Выбирая состав и свойства наполнителя матрицы, их пропорции, направление наполнителя, можно получить материалы с сочетанием необходимых эксплуатационных и технологических свойств. Сейчас композиты подходят для изготовления всех изделий, которые должны быть одновременно крепкими и легкими. Сейчас композиты актуальны для производства всех изделий, которые должны быть надежными. Они применяются в

автомобилестроении, авиационной промышленности, космической технике и т.д. Композитные материалы действительно можно отнести к материалам будущего, так как сочетают в себе несколько свойств: легкость, прочность, достаточно высокую жесткость, немагнитность, радиопрозрачность и др.

3. Разработка космических машин с помощью композитов

Композитные материалы в текущее время незаменимы в космической технике. Современные композиты, предназначенные для рассматриваемой отрасли, выдерживают относительно значительные нагрузки от космического полета и владеют достаточно малой массой. Углеродные композиты намного легче и более износостойкие, чем многие из наиболее подходящих металлических сплавов с точки зрения их физических свойств. Использование композитных материалов позволяет снизить массу изделия на 15-60% в зависимости от типа самой конструкции, и, конечно же, это снижает расход топлива и повышает надежность.

В аэрокосмической промышленности важное значение имеют такие свойства композиционных материалов, как чрезвычайно высокая удельная прочность, стойкость к высоким температурам, магнитным волнам, радиации, устойчивость к вибрационным нагрузкам и малый удельный вес. Углеродные композиты являются основным материалом, используемым в производстве современных ракет-носителей и теплозащитных экранов космических аппаратов. Они нашли свое применение в производстве рефлекторов антенн, траверсов для космических кораблей, переходных модулей и соединителей.

Композитные детали гораздо более устойчивы к разрушению под напряжением, чем металлические детали. Таким образом, очень маленькая трещина в металлической детали может за очень короткое время превратиться в большую дыру. В то время как композиты из-за своей сложной структуры перераспределяют внутренние напряжения и блокируют распространение мелких трещин. Композитные материалы для космической отрасли можно считать идеальным материалом [4].

Например, рассмотрим орбитальный космический корабль «Шаттл», многие детали которого изготовлены из композитных материалов. Он способен летать в атмосфере Земли с гиперзвуковой скоростью. Из рассматриваемых материалов выполнены следующие детали: двери грузового отсека - из графито-эпоксидного

композиционного материала; теплозащита обеспечивается примерно 310 легкими панелями, выполненными из композитного материала, армированного дисперсией ТД-нихром. Они покрывают те участки поверхности, которые уязвимы для значительных тепловых потоков. Кроме того, было изготовлено около 250 бороалюминиевых трубчатых опор и стабилизаторов, предназначенных для использования в центральной части конструкции фюзеляжа. Таким образом, замена этих элементов соответствующей алюминиевой конструкцией приводит к снижению веса примерно на 48%.

4. Нанокомпозиты и инновационные конструкции будущего

В наше время, безусловно, наблюдается активное использование нанотехнологий при разработке композиционных материалов. Использование передовых технологий, в частности нанотехнологий, упрощает постиженье космоса. Вот почему такая компания, как NASA, планирует снизить сложность вывода космического корабля на орбиту с помощью космического лифта на основе нанотрубок. Нанотрубки представляют собой полую цилиндрическую структуру диаметром от десяти до нескольких десятков нанометров и длиной от одного микрометра до нескольких сантиметров, благодаря плоскостности трубок в них могут быть внедрены атомы различных веществ, что делает этот материал удивительным. Нанотрубки характеризуются такими качествами, как высокая жесткость, в связи с чем их применение будет расширяться в различных областях. Композиты на основе нанотрубок понизят вес современных космических аппаратов в несколько раз. Таким образом, была разработана технология создания макроскопических объемных структур из углеродных нанотрубок. Первостепенно формируется высокопористая структура оксида цинка, являющаяся основой композита. Далее создается раствор многослойных углеродных нанотрубок в воде, который добавляется к пористой матрице, после чего нанотрубки прикрепляются к оксидному каркасу. [3]

При испытании выяснилось, что прочность композита на растяжение увеличилась примерно в 50 раз по сравнению с исходной матрицей, а прочность на сжатие почти в 160 раз. Композит может выдержать в 130 000 раз больше собственного веса. Кроме того, в исследуемом композите возможно растворение керамической матрицы, что значительно увеличит площадь поверхности. Теперь вернемся к разработке космического лифта. Он представляет собой ленту такого типа, один конец которой

прикреплен к поверхности Земли, а другой вращается вокруг нее. Изменяя длину ленты, можно получить разные орбиты. Космическая капсула, в которой будет находиться полезная нагрузка, будет двигаться по ленте. А на конечной станции капсула может отсоединиться от лифта и уйти в космос.

Планировалось, что вся эта конструкция будет держаться на нанотрубках. Сейчас прочности нанотрубок недостаточно, так, при необходимых 120 ГПа самый лучший результат испытаний — пока что 54 ГПа. Поэтому создание космического лифта остается только в теории. Но идею космического лифта можно приблизить к реальности, использовав композитные материалы, наполненные нанотрубками. Данный синтез материалов будет обладать намного большей прочностью, износостойкостью, растяжением, а также хорошим сопротивлением химическим воздействиям. В целом, характеристики такого нанокомпозита будут на очень высоком уровне, что позволит его использовать в конструкции космического лифта.

Немалым интересом пользуются самовосстанавливающиеся композиты, которые стали большим прорывом в науке. Такой конструкционный материал утроит срок службы космического корабля. Трещины и мелкие дефекты будут сразу же затянуты специальным быстротвердеющим составом, не вызывающим снижения прочности конструкции. Новый материал отличается повышенной устойчивостью к космической эрозии благодаря способности восстанавливаться в случае любого повреждения.

При разработке этого материала разработчики, несомненно, вдохновлялись способностью живых тканей нашего организма самостоятельно заживлять раны за счет свертывания крови. В свою очередь, свертывание крови происходит под воздействием воздуха, поэтому для космических конструкций пришлось использовать совершенно иной подход. Поэтому в композиционный материал введено множество тончайших стеклянных сосудов с внешним диаметром 60 мкм и внутренним диаметром 30 мкм.

Сосуды были заполнены двумя жидкостями, которые быстро затвердевают при смешивании. А при возникновении трещины стеклянные сосуды разрушаются, и содержащаяся в них жидкость заполняет трещину. Скорость процесса такова, что жидкости не успевают испаряться в космическом вакууме. Это сразу останавливает дальнейшее распространение трещины. Таким образом, инновационный материал

продлит время эксплуатации таких космических аппаратов, для которых эрозия является лимитирующим фактором.

5. Применение композитных материалов в авиастроении

Появление композитных материалов из углеродного волокна в аэрокосмической промышленности произвело революцию в замене тяжелых металлов легкими и прочными композитами. Так как вес композитных деталей не превышает 25% аналогичных деталей из алюминия, они превосходят их по гибкости, прочности, стойкости к давлению и, конечно же, по коррозионной стойкости.

Применение композитов оказало большое влияние на увеличение мощности двигателей, энергетических и транспортных средств, на снижение массы машин и устройств. Высокомодульные углеродные волокна используются для изготовления деталей самолетов. Применяются для термозащиты, авиатормозных дисков, химстойкого оборудования. Изделия из борного волокна используются для изготовления панелей, роторов и лопаток компрессоров, лопастей винтов и трансмиссионных валов вертолетов и т.д.

В настоящее время нашей стране важен новый проект инновационного самолета Иркут МС-21 ("Главный самолет 21 века") - это проект ближне-среднемагистрального пассажирского самолета, который заменит Ту-154 и Ту-204 в будущем и даже выйдет на «закрытый» международный рынок, где доминируют Airbus и Boeing. Его главная отличительная особенность заключается в том, что самолет имеет составное крыло впервые в России и притом раньше, чем у многих ведущих авиастроителей. Обычно аэродинамики стараются увеличить удлинение крыла, т.е. отношение размаха крыла к средней хорде крыла, так как это способствует уменьшению лобового сопротивления.

Однако достижению этой цели мешает одна проблема – это увеличение веса конструкции, поэтому приходится искать компромисс. По этой причине необходимо увеличить долю композиционных материалов в конструкции самолета. Например, в конструкции самолетов Boeing 787 и Airbus A350 композиты составляют примерно 55 %, в самолете SSJ-110 примерно 16 %, а в МС-21 доля композиционных материалов приближается к 44 % [5].

Несомненно, использование композиционных материалов в конструкции самолета позволяет значительно увеличить удлинение крыла по сравнению с

металлическими конструкциями, что достигается на покрытии МС-21. Сравним, как изменится удлинение крыла при использовании в его конструкции композитов. Так, типичное удлинение крыла для самолетов предыдущего поколения составляет около 8-9, у современных самолетов - 9,5-10, а на МС-21 положено 11,5. В результате аэродинамические характеристики на высоких скоростях полета МС-21 до 5,5% выше, чем у лучших современных аналогов. По сегодняшним меркам это большое преимущество. Благодаря этому наблюдается незначительный расход топлива, увеличение высоты полета и крейсерской скорости. Отсюда следует, что главной особенностью МС-21 является так называемое «черное» (составное) крыло лайнера.

6. Выводы

Области применения композиционных материалов не ограничены. Их применяют в авиации для высоконагруженных деталей, в космической технике, в автомобилестроении для облегчения кузовов, рессор, рам, кузовных панелей, бамперов, в судостроении, в химической промышленности и во многих других отраслях промышленности. Несомненно, композитные материалы станут наиболее используемыми и удобными материалами при правильном использовании.

Список литературы

1. Горчаков, Г. И. Строительные материалы / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986.
2. Микульский, В. Г. Строительные материалы. [Текст]: учеб. для вузов по строит. спец. / В. Г. Микульский, В. Н. Куприянов, Г. П. Сахаров и др. Под ред. В. Г. Микульского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 534 с.
3. Справочник по композиционным материалам: в 2-х книгах. Кн.2 Под ред. Дж. Любина. – М.:Машиностроение, 1988. – 448 с.
4. Гардымов, Г. П. Композиционные материалы в ракетно-космическом аппаратостроении. Г. П. Гардымов, Е. В. Мешков, А. В. Пчелинцев, Г. П. Лашманов, Ю. А. Афанасьев. Под ред. Г.П. Гардымова, Е. В. Мешкова. – СПб.: СпецЛит, 1999. – 271 с.
5. Журнал "Актуальные проблемы авиации и космонавтики". – 2010. – № 6(1).

УДК 338.012 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.48-56 EDN: KDITBU

Структурные аспекты моделирования развития машиностроительного производства в промышленности региона в условиях новой индустриализации

А.А. Урасова[1*], Л.В. Глезман[1], Е.В. Щеглов[2]

[1]Институт экономики УрО РАН, ул. Московская, 29, Екатеринбург, 620014, Россия
[2]Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, Пермь, 614068, Россия

*E-mail: annaalexandrowna@mail.ru

Abstract. В статья раскрываются положения, постулирующие обязательных учет и регулярность наблюдений в структурных изменениях отраслей промышленности, а также производственных комплексах. Наработки в этом отношении призваны стать новым инструментом прогнозирования технологических доминант в развитии регионов РФ. Используя отдельные индикаторы и показатели пространственного и отраслевого развития отраслей и комплексов в совокупности с методами коэффициентного анализа, авторы попытались выстроить структурные модели машиностроительного производства в отдельном регионе, которые интерпретируют тенденции технологических изменений в условиях новой индустриализации. Авторы акцентировали внимание на трендах развития в промышленном производстве, поскольку именно эти отрасли и сектора становятся основой для применения сквозных технологий. В этом контексте в работе постулируется тезис о регулярных наблюдениях и мониторинге структурных индикаторов в базовых отраслевых направлениях развития региона с целью выработки новых мер по преодолению технологического отставания российской промышленности.

Ключевые слова: структурное моделирование, машиностроительное производство, промышленность региона, отрасль экономики

Structural aspects of modeling the development of machine-building production in the industry of the region in the context of new industrialization

A.A. Urasova[1]*, L.V. Glezman[1], E.V. Shcheglov[2]

[1]Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Moscow, 29, Yekaterinburg, 620014, Russia
[2]Perm State National Research University, st. Bukireva, 15, Perm, 614068, Russia

*E-mail: annaalexandrowna@mail.ru

Abstract. The article reveals the provisions postulating mandatory accounting and regularity of observations in structural changes in industries, as well as industrial complexes. The developments in this regard are intended to become a new tool for predicting technological dominants in the development of the regions of the Russian Federation. Using individual indicators and indicators of the spatial and sectoral development of industries and complexes in conjunction with the methods of coefficient analysis, the authors tried to build structural models of machine-building production in a particular region, which interpret the trends of technological changes in the conditions of new industrialization. The authors focused on development trends in industrial production, since it is these industries and sectors that become the basis for the use of end-to-end technologies. In this context, the paper postulates the thesis of regular observations and monitoring of structural indicators in the basic sectoral directions of the region's development in order to develop new measures to overcome the technological backwardness of the Russian industry.

Key words: structural modeling, machine-building production, industry of the region, branch of the economy

1. Введение

Сбалансированное развитие отраслей и комплексов экономики страны сопровождается качественными характеристиками развития отдельных секторов: их устойчивостью, адаптивными свойствами и пр. Динамика структурных изменений в развитии отраслей формируют уровень факторной зависимости экономики. Такая постановка вопроса в совокупности с активной индустриализацией производственных секторов выносят на повестку дня необходимость измерения структурных индикаторов и прогнозирования структурных и модельных позиций в промышленности. Поскольку машиностроительный комплекс является отраслеобразующим и якорным для экономики большой части регионов РФ, требуется особое отношение к идентификации структурных индикаторов и выбору методов их анализа. Установочной позицией также при этом является модели интенсивного развития и преодоления сырьевого подхода в развитии.

Методические вопросы и трудности в оценочных подходах в части структурных показателей исследовались научным сообществом достаточно активно. Например, отдельные авторы проводили комплексную оценку структурных сдвигов на рынке труда в отраслевом разрезе применительно к промышленности стран, входящих в состав Евразийского экономического союза. В частности, в данной работы были рассчитаны структурны индексы Гатева и Рябцева, которые выступили в качестве интегральных комплексных показателей [1]. Если рассматривать работы зарубежных авторов, то можно обнаружить исследования, включающие оценку процессов трансформации отдельных отраслей. Так, любопытным является оценка отраслей в одиннадцати префектурах Чжэцзян Китая за пятилетний период, в котором исследователи используют метод сдвига-доли с применением эталонных значений показателей. Под эталонными приняты уровни развития ключевых отраслей в каждой из рассматриваемых провинций. В качестве интересных результатов такого подхода, можно привести тезис о том, что ни одна из территорий не имеет положительных структурных изменений в направлении развития сырьевых отраслей [5].

В контексте заданных нами положений, хочется отметить также ряд российских разработок. В частности, приведем выдержки из работы, посвященной оценке изменений в структурных характеристиках сельского хозяйства, в отрасли зерновых культур.

Исследователи провели масштабный анализ на материалах более чем 60 регионов РФ за семилетний период [2]. Обратившись к деталям данного исследования, подчеркнем целесообразность и эффективность использования интегральных индексов Гатева и Рябцева. Именно эти инструменты способствовали разработке авторской типологии регионов РФ в разрезе интенсивности изменений. Кроме того, были была произведена оценка массы структурных сдвигов в отраслях агропромышленного комплекса. Детализируя полученные результаты, авторы использовали методику Сухарева, которая призвана комплексно оценить все структурные изменения. Благодаря такому взгляду, авторы сделали вывод об общей ориентации регионов РФ на экспорт, хотя значимость показывают и факторы импортозамещения, интенсивной индустриализации, а также дефицит спроса на зерновые культуры на внутреннем рынке [2]. Целый ряд авторов [3] также используют инструменты Рябцева и Салаи для разного рода структурного анализа. Интерес представляет анализ динамики валового регионального продукта в регионах Сибирского федерального округа [3]. А именно, в данной работе предложена для обсуждения методика оценки конвергенции промышленных отраслей. Данная методика выступает как универсальная, для ее применения требуются данные по валовому региональному продукту.

В свою очередь, другие исследователи [4] отмечают действенность индексов Рябцева и Салаи при анализе валового регионального продукта в автономных округах. Так, авторы отмечают несколько тенденций: спад в объемах горнодобывающих отраслях на фоне роста доли валового регионального продукта; замедленное смещение сбалансированности интересов в условиях ускоренного роста валового регионального продукта. Авторы использовали полученные структурные показатели для расчета комплексных индикаторов, благодаря чему был сделан вывод об общем снижении структурных показателей в масштабах федеральных округов. Данные результаты можно использовать для разного рода межрегиональных объединений (экономических районов, макрорегионов и пр.)

Обозначим позиции отдельных исследователей [6], выделяющие в качестве критерия для оценки отраслей уровень доходности и отраслевую дифференциацию. При этом, помимо отраслевых данных, в расчете задействованы и данные о качестве трудовых ресурсов. Используя синтез структурных и долевых принципов расчета,

авторы выделили элементы развития промышленных отраслей и рассчитали индикаторы их пропорций. Это позволило выявить значимые взаимосвязи экономического роста и структурных изменений в разрезе отраслей. Кроме того, авторы отметили процесс смены и переориентации отраслей на фоне динамики качественных составляющих трудовых ресурсов и выпуска продукции [6].

Резюмируем, что имеющиеся исследования в направлении структурного моделирования развития отраслей используют определённый набор инструментов, доказывающих свою целесообразность и эффективность применительно к промышленности. Исходя из этого, в рамках нашей работы, считаем возможным использовать метод коэффициентного анализа развития машиностроительного производства с позиции аналитики развития региональной промышленности как таковой.

2. Основная часть

В качестве модельного региона нами выбран Пермский край, как традиционного индустриально развитый субъект РФ. Машиностроительное производство выступает основой для развития промышленного комплекса и смежных отраслей, что представлено целым рядом крупных предприятий (рисунок 1).

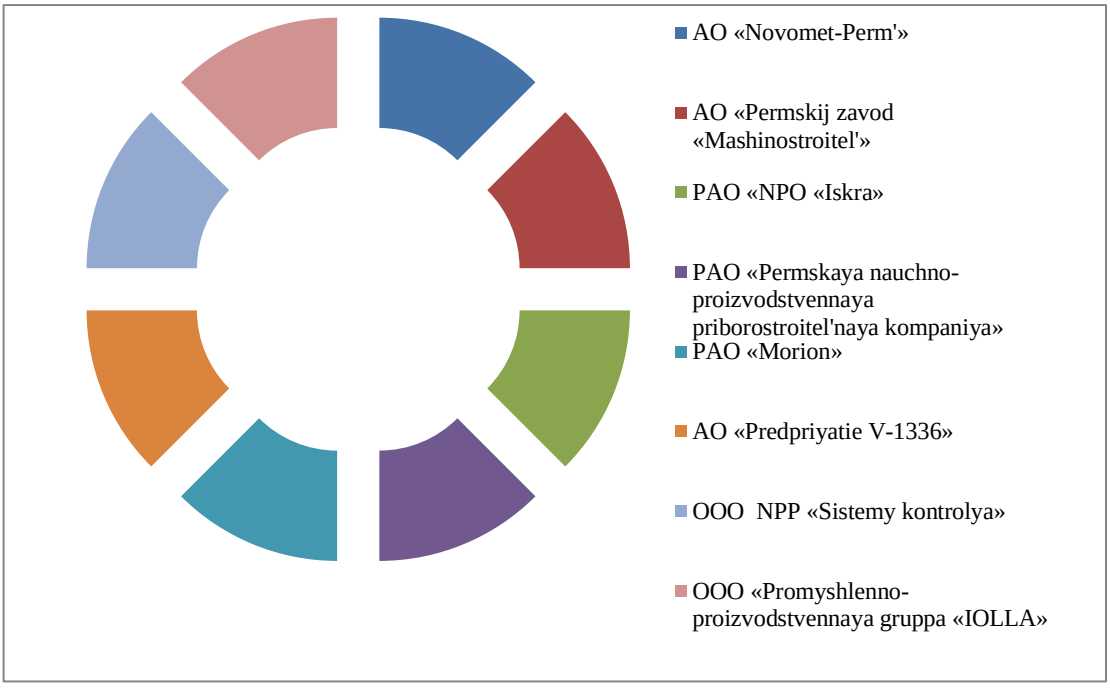

Рисунок 1. Ключевые предприятия отраслей машиностроительного комплекса Пермского края.

Современные условия, сопряженные с распространением коронавирусной инфекции, значимых макроэкономических изменений являются ключевыми с позиции стабильности развития машиностроительного комплекса любого региона. Высокая неопределенность ставим во главу угла вопрос корректировки траектории развития отдельных отраслей промышленности на основе прогнозирования структурных показателей и новых пропорциональных сдвигов.

В нашем распоряжении имеются данные в разрезе 186 предприятий, являющихся якорными для ключевых отраслей промышленности Пермского края, наблюдения за которыми производились в период с 2007 по 2020 годы. В том числе, 47 предприятий принадлежать машиностроительному комплексу. Выбрав в качеств инструментов структурных анализ, в частности коэффициенты К. Гатева, А. Салаи, мы попытались представить результаты в разрезе отраслей.

Помимо стоимостных метрик, в анализ включены показатели количества занятых в отраслях Пермского края.

В работе использовались методы расчета массы структурных сдвигов, расчета интегрального индекса К. Гатева (1), интегрального индекса А. Салаи (2).

$$К_{гатева} = \sqrt{\frac{\sum(w_1 - w_0)^2}{\sum w_1^2 + \sum w_0^2}} = \frac{0{,}00407}{0{,}30867} = \mathbf{0{,}11478} \quad (1)$$

$$К_{салаи} = \sqrt{\left(\sum\left(\frac{d_1 - d_0}{d_1 + d_0}\right)^2 / k\right)} = \sqrt{\frac{1{,}17438}{8}} = \mathbf{0{,}14679} \quad (2)$$

Представим наиболее интересные результаты (рисунок 1). Для каждой из ключевых отраслей промышленности Пермского края была рассчитана масса структурного сдвига. При этом значимые изменения наблюдаются в нескольких группах отраслей. Прежде всего отрицательный тренд – в лесной, легкой и пищевой промышленности; положительные – машиностроении, металлургии, нефтяной и химической отраслях и пр.)

Экономическая коннотация данных трендов обусловлена позицией о многоукладности, постепенного формирования нового технологического ядра, влекущего приоритетность новой индустриализации.

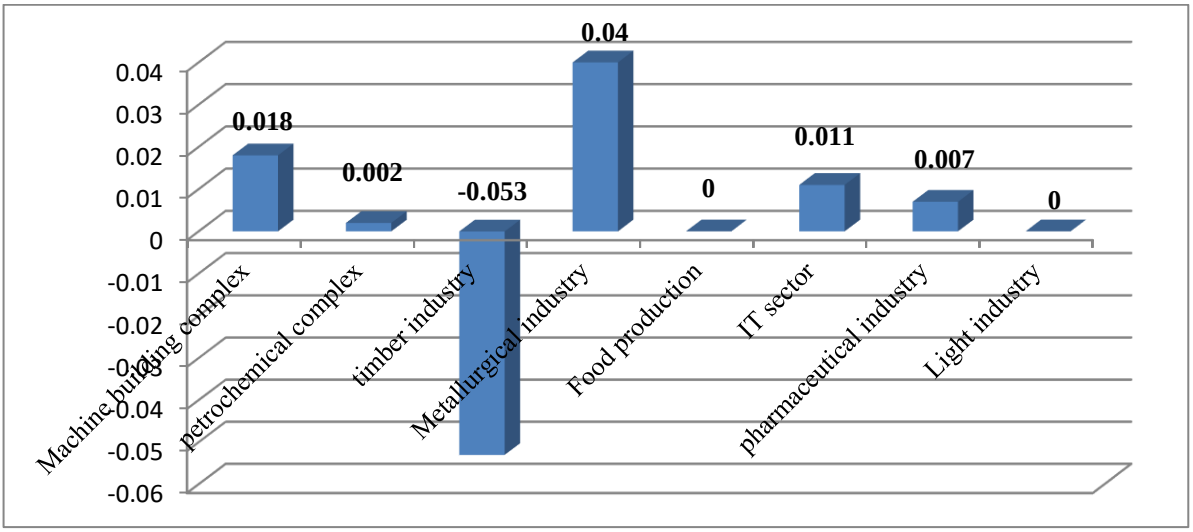

Рисунок 1. Расчетные показатели массы структурных сдвигов промышленных отраслей и комплексов Пермского края с 2007 по 2020 гг.

Рассчитанная масса структурного сдвига показывает траектории структурных изменений производственных процессов в регионе. Но данный показатель, носит общий характер и требует детализации в разрезе более конкретных метрик. Исходя из этого, мы произвели расчеты структурных показателей: интегральный индекс сдвигов К. Гатева (таблица 1); интегральный индекс структурных различий А. Салаи (таблица 2).

Таблица 1. Последовательность расчета интегрального индекса К. Гатева в разрезе отраслей Пермского края.

Отрасль	$\sum(w_1 - w_0)^2$	w_1^2	w_0^2	$\sum w_1^2 - \sum w_0^2$
Машиностроительный комплекс	0,00032	0,03786	0,03126	
Нефтехимический комплекс	0,00008	0,02798	0,02657	
Лесная промышленность	0,00163	0,0504	0,0669	
Металлургическая промышленность	0,00162	0,03022	0,01786	
Пищевое производство	0,00017	0,00605	0,00823	
IT-сектор	0,00013	0,00189	0,00104	
Фармацевтическая промышленность	0,00005	0,00005	0,00000	
Легкая промышленность	0,00009	0,00087	0,00150	
Итого	0,00407	0,15532	0,15335	0, 11478

Таблица 2. Последовательность расчета интегрального индекса А. Салаи в разрезе отраслей Пермского края.

Отрасль	$d_1 - d_0$	$d_1 + d_0$	$\frac{d_1 - d_0}{d_1 + d_0}$	$\sum\left(\frac{d_1 - d_0}{d_1 + d_0}\right)^2$
Машиностроительный комплекс	−0,00698	0,04808	−0,14515	
Нефтехимический комплекс	-0,02653	0,53465	-0,00229	
Лесная промышленность	0,02545	0,4754	-0,00303	
Металлургическая промышленность	−0,01290	0,16853	−0,07654	
Пищевое производство	0,00536	0,32667	0,01640	
IT-сектор	0,00709	0,00709	1,00000	
Фармацевтическая промышленность	−0,00926	0,06823	−0,13565	
Легкая промышленность	−0,00698	0,04808	−0,14515	
Итого	0,00412	0,06541	0,06303	1,14679

Интерпретируем полученные результаты:

1. Процессы трансформации в отраслях промышленности Пермского края обладают низкой интенсивностью за период: 2007 - 2020гг. ($К_{Гатева}$ = 12 %);
2. Процессы отраслевых изменений в промышленности Пермского края за период 2007 - 2020 гг. не являются значимыми, имеют низкую динамику ($К_{Салаи}$ = 15 %).

Полученные количественные метрики в совокупности для промышленного развития Пермского края отражают новые тенденции, обусловленные совокупностью факторов новой индустриализации и технологических новаций. В частности, отраслевые изменения обусловлены низкими характеристиками адаптивности отраслей, что сопряжено с высокой стоимостью цифровых технологий, малым количеством собственных разработок и пр. Помимо этого, в ряде отраслей темпы изменений носят синусоидный характер. В частности, машиностроительное производство при использовании сквозных технологий, обладает значимыми темпами изменений и положительной массой сдвига. Подчеркнем, что масса структурного сдвига и темпы структурных изменения прямо пропорциональны. [7].

3. Вывод

Полученные результаты позволяют сделать некоторые выводы. Безусловно, целесообразной является оценка структурных изменений отраслевом разрезе, поскольку

требуется учитывать и технологическое развитие отраслей, которое является крайне не равномерным. Говоря о Пермском крае, как о модельном, можно тиражировать полученные результаты на другие индустриально развитые регионы РФ. Машиностроительное производство как якорное звено развития российской промышленности требует корректировки пропорций, как внутри отраслевых, так и пропорций с другими отраслями и комплексами. Подчеркнем, что машиностроение является лидером по темпам применения сквозных технологий, что и отражает динамика структурных сдвигов.

Хочется отметить и положительную динамику развития региональной промышленной структуры, расчет прогнозных оценок которой напрямую связаны с восприимчивостью базовых предприятий к условиям новой индустриализации.

Обозначенная метрически асимметрия в развитии промышленности в межотраслевом срезе, может быть связана с динамикой темпов развития машиностроительного комплекса, нефтехимических секторов, металлургии.

В условиях развития промышленного комплекса повышается и межотраслевая взаимосвязанность, уровень которой повышается на новом этапе промышленной революции.

Безусловно, что Пермскому краю требуется наращивание интенсивности и скорости структурных изменений, что может позволить увеличить долю высокотехнологичных отраслей (фармацевтическая, IT-отрасли).

Исследование показало, что активизация развития машиностроительного комплекса посредством привлечения сквозных технологий и изменение траектории развития отрасли на модель индустриального развития, обуславливает растущую значимость машиностроительного производства как приоритетного звена в промышленной структуре региона.

Благодарности

Работа подготовлена в рамках НИР Института экономики Уральского отделения российской академии наук.

Список литературы

1. Kalabina, E. G. Structural Dynamics of Employment of Older People in the Eurasian Economic Union Countries / E. G. Kalabina, M. R. Gazizova, Z. S. Khussainova // Ekonomika regiona-economy of region. – 2021. – № 17(3). – С. 842-854. DOI10.17059/ekon.reg.2021-3-9
2. Kapoguzov, E. A. Structural changes in the Russian grain balance in the conditions of anti-russian sanctions: regional aspect / E. A. Kapoguzov, R. I. Chupin, M. S. Kharlamova // Terra economicus. – 2018. – № 16(2). – С. 22-139. DOI10.23683/2073-6606-2018-16-2-122-139
3. Gamukin, V. V. Transformation of the Structure of the Gross Regional Product in Siberian Regions / V. V. Gamukin, O. S. Belomyttseva, L. S. Grinkevich // Proceedings of the international conference on trends of technologies and innovations in economic and social studies. AEBMR-Advances in Economics Business and Management Research. – 2017. – № 38. – С. 63-69.
4. Gamukin, V. V. Structural Change of Gross Regional Product in the Subjects of Ural Federal District / V. V. Gamukin // Ekonomika regiona-economy of region. – 2017. – № 13(2). – С. 410-421. DOI10.17059/2017-2-7
5. Ye, J. J. Analysis on Transformation and Upgrading Levels of Three Industries in 11 Prefectures of Zhejiang Based on Shift-Share Method / J. J. Ye, J. J. Wang, Y. Z. Zhang // Discrete dynamics in nature and society. – 2021. – 2428602. DOI10.1155/2021/2428602
6. Vertakova, Y. Decomposition of industry structural shifts and reconstruction research based on share analysis / Y. Vertakova, M. Klevtsova, A. Rushkova // International science conference spbwosce-2018: business technologies for sustainable urban development. E3S Web of Conferences. – 2019. – № 110. – 02012. DOI10.1051/e3sconf/201911002012
7. Новикова Н. В. Новая индустриализация: региональная парадигма / Н. В. Новикова, под ред. Е. Г. Анимицы. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2018. – 261 с.

УДК 519.714 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.57-63 EDN: KHVCFR

Многоатрибутивный анализ отказоустойчивой программной архитектуры систем мониторинга траектории полета воздушных судов

Д.И. Ковалев[1,2], Т.П. Мансурова[1], Е.В. Туев[3]

[1]Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия
[2]Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
[3]Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается оригинальная методика декомпозиции отказоустойчивых мультиверсионных программных систем в комплексе мониторинга траектории полета воздушных судов. Используется метод многоатрибутивного анализа, в рамках которого декомпозиция на функциональные подсистемы осуществляется с учетом общности функций, выполняемых программными модулями. В работе атрибут важности функций определяется, исходя из общей функции воздушного судна и множества задач, которые ставятся перед ним. Разделение программных модулей на типы позволяет определить возможные способы повышения их надежности. Рассмотрено мультиверсионное программирование, метод блоков восстановления и схема t/(n-1)-вариантного программирования.

Ключевые слова: многоатрибутивный анализ, система, мониторинг, программное обеспечение, траектория полета

Multi-attribute analysis of fault-tolerant software architecture of aircraft flight path monitoring systems

D.I. Kovalev[1,2], T.P. Mansurova[1], E.V. Tuev[3]

[1]Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia
[2]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[3]Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Abstract. The article considers an original method of decomposition of fault-tolerant multiversion software systems in the aircraft flight path monitoring complex. The method of multi-attribute analysis is used, within which decomposition into functional subsystems is carried out taking into account the commonality of functions performed by program modules. In the paper, the attribute of importance of functions is determined based on the overall function of the aircraft and the set of tasks that are set for it. The division of program modules into types makes it possible to determine possible ways to improve their reliability. Multiversion programming, the method of recovery blocks and the scheme of t/(n-1)-variant programming are considered.

Keywords: multi-attribute analysis, system, monitoring, software, flight path

1. Введение

При проектировании сложных программных комплексов, к которым относится система мониторинга траектории полета воздушных судов (ВС) [1-3], возникает задача декомпозиции системы по ряду признаков. В качестве одного из решений в работе рассматривается методика, позволяющая при проектировании выявлять модули и элементы разрабатываемой программной системы, обладающие различными атрибутами [4-6].

Возможными атрибутами могут выступать отдельные элементы, пригодные для резервирования – программные модули в мультиверсионном исполнении [7], а также их функции, типы и явления, возникающие при их отказе.

Разделение программных модулей по выполняемым ими функциям необходимо для обеспечения высоконадежной работы наиболее важных модулей, а, следовательно, и реализуемых функций. Декомпозиция, как процесс разделения, позволяет рассматривать любую исследуемую систему как сложную, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем, которые, в свою очередь, также могут быть разделены на части. При декомпозиции каждое разделение образует свой уровень [8].

Исходная система располагается на нулевом уровне. После ее разделения получаются подсистемы первого уровня. Разделение этих подсистем или некоторых из них приводит к появлению подсистем второго уровня и т. д.

Функциональная декомпозиция базируется на анализе функций системы. При этом возникает вопрос, что делает система, независимо от того, как она работает. Основанием разбиения на функциональные подсистемы служит общность функций, выполняемых модулями.

2. Постановка задачи

В рамках данной статьи важность функций принимается, исходя из общей функции воздушного судна и множества задач, которые ставятся перед системой мониторинга траектории полета ВС. Причём один и тот же модуль может выполнять несколько функций сразу, а, следовательно, необходимо учитывать, сколько именно функций выполняется, и какая из них является наиболее важной.

При анализе важности компонентов программного обеспечения систем

мониторинга траектории полета ВС следует учитывать, что многие программные модули выполняют системные, а не прикладные задачи, а, значит, важность их должна быть задана выше.

Прикладные же функции могут быть разделены на главные и второстепенные. Такое разделение основывается на том, что прекращение выполнения главной функции приводит к нарушению мониторинга траектории ВС, что в итоге может привести к невозможности вовремя зафиксировать аварийные ситуации или разрушение ВС. Прекращение же второстепенной – к возникновению нарушения в работе системы, т.е. неисправности, не ведущей к аварии.

Программным модулям, выполняющим системные функции, назначается высший приоритет, модулям, участвующим в выполнении главной функции – высокий приоритет, а тем, что выполняют второстепенные – низкий.

Разделение программных модулей на типы позволяет определить возможные способы повышения надежности, применимые к ним.

Возможными типами модулей могут быть модули, пригодные для разных типов проектирования с применением избыточности: мультиверсионное программирование [7-10], блоков восстановления [10-12], t/(n-1) – вариантное программирование [13, 14].

3. Применение t/(n-1) алгоритма в отказоустойчивых системах

Поскольку t/(n-1) алгоритм является одним из малоизвестных алгоритмов, рассмотрим его подробнее. Данный алгоритм предложен Цзе Сюй (Jie Xu) из университета Ньюкастла (University of Newcastle upon Tyne), он основан на t/(n-1) диагностируемости [13]. Часто его называют t/(n-1) алгоритмом принятия решений. Суть алгоритма не в голосовании всех выходов версий, а лишь в сравнении некоторых из них, достаточных для принятия решения.

Рассмотрим систему с количеством версий N=5 и максимальным количеством ошибок t=2. Это будет 2/(5-1) вариант алгоритма. При количестве ошибок, не превышающем t, алгоритм гарантирует выбор правильного варианта из N выходов версий. Однако и при большем количестве неправильных выходов версий система не обязательно выберет ошибочный. С определенной вероятностью произойдет выбор правильного выхода, однако это уже не гарантируется [15].

Рассмотрим алгоритм подробнее на примере 2/(5-1) варианта. Сравниваются попарно выходы четырех версий: 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4. Получаем три результата сравнений ω12, ω23, ω34, равные 0, если выходы совпадают и 1, если различаются. На основании только этих трех выходов компараторов алгоритм принимает решение о переключении выхода между выходами 1, 4 и 5 версий. То есть версии 2 и 3 используются только для сравнения, значения их выходов никогда не используются в качестве выхода системы. Схема работы 2/(5-1) алгоритма представлена на рисунке 1.

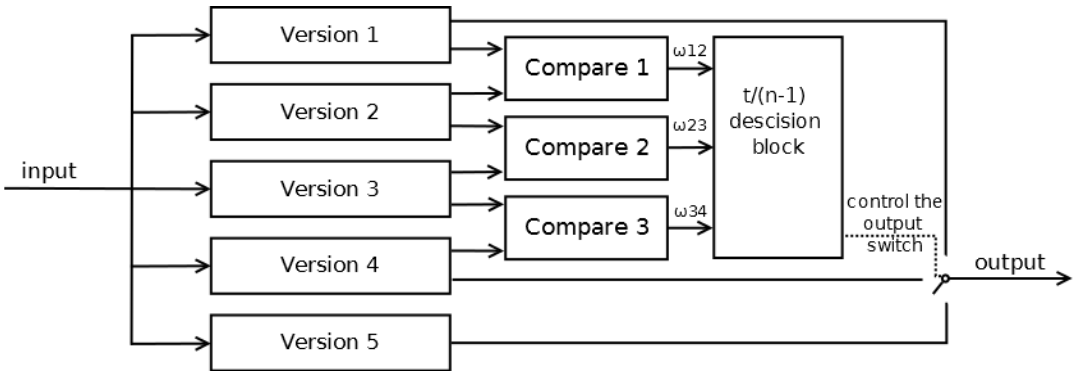

Рисунок 1. Архитектура t/(n-1) алгоритма при n=5 и t=2.

Как видно из рисунка 1, схема принятия решения в t/(n-1) алгоритме относительно не сложна. В случае пяти мультиверсий для принятия решения (правильного управления переключателем выходов) необходимы только результаты трех парных сравнений выходов четырех версий. Значение выхода пятой версий для принятия решения не используется. Логика управления переключателем выходов на основании результатов сравнений при n=5 представлена в таблице 1.

Таблица 1. Возможные варианты выбора на основе выходов компараторов для n=5.

ω_{12}	ω_{23}	ω_{34}	Предположительно правильные версии
0	0	0	1, 2, 3, 4
0	0	1	1, 2, 3
0	1	0	5
0	1	1	1, 2
1	0	0	2, 3, 4
1	0	1	5
1	1	0	3, 4
1	1	1	5

4. Обсуждение результатов

На основании рисунка 1 и таблицы 1, можно сделать вывод, что, при относительно надежных версиях в большей части случаев компараторы будут возвращать (0;0;0) и на выход будет подаваться значение выполнения первой версии.

Так же можно сделать вывод об отсутствии необходимости каждый раз исполнять пятую версию. А делать это только в случае соответствующих значений результатов сравнений, когда на выход необходимо подать именно результат пятой версии ((0;1;0), (1;0;1), (1;1;1)). Этот факт снижает среднюю нагрузку, требуемую среде исполнения мультиверсионного ПО для работы, поскольку в подавляющем большинстве случаев будут рассчитаны 4 из 5 версий. Сам алгоритм принятия решения также является менее ресурсоемким по сравнению с голосованием, особенно с взвешенными его модификациями, где при каждом голосовании исполняются все версии, создаются классы и рассчитываются веса для каждого из них.

Для t/(n-1) при n=5 необходимо только три простые операции сравнения с бинарным выходом. Далее осуществляется однозначный, априорно заданный выбор выхода для одного из восьми возможных сочетаний значений выходов компараторов (Таблица 1).

4. Заключение

Можно сделать вывод, что вычислительная сложность t/(n-1) – алгоритма крайне чувствительна к количеству версий. При добавлении каждой дополнительной версии вычислительная сложность возрастает вдвое. Соответственно при 2 версиях в 4 раза, при 3 дополнительных версиях в 8 раз и т.д. Поскольку главным преимуществом t/(n-1) – алгоритма является именно его низкая ресурсоемкость, наиболее оправдано его применение при количестве версий, не превышающем N=5.

В рамках многоатрибутивного анализа отметим, что под последним рассматриваемым атрибутом – явлением, подразумеваются специфические варианты отказа. Одним из таких специфических отказов может быть опасный отказ, выводящий из строя систему мониторинга траектории полета ВС.

В случае с ВС опасность представляет, в первую очередь, нештатный контакт с поверхностью или другим объектом. Для выявления причин возникновения таких

отказов строятся схемы структуры событий, определяющие, отказы каких модулей самого ВС или системы мониторинга могут привести к возникновению опасного явления. Опасные и безопасные отказы того или иного программного модуля определяются тем, влияет ли этот модуль на передвижение ВС по заданной траектории. Различие опасностей по их влиянию может быть выражено в виде некоторой величины, коэффициента. Следует определить для каждого модуля значение величины *C*, количественно оценивающей опасность, которую несет его отказ. Возможной мерой данной величины, например, для модуля, управляющего направлением движения ВС по траектории может являться скорость движения в данном направлении. То есть, чем выше возможная скорость движения – тем более опасным становится отказ.

Благодарности

Проведение исследований осуществляется при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках проекта «Контроль траектории полета воздушных судов в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера» в соответствии с заявкой 2021110907918.

Список литературы

1. Карцан, И. Н. Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели / И. Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(2). – С. 64-71. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-64-71
2. Серова, Н. А. Транспортная инфраструктура Российской Арктики: специфика функционирования и перспективы развития / Н. А. Серова, В. А. Серова // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2(185). – С. 142-151.
3. Акзигитов, Р. А. и др. Повышение эффективности мониторинга воздушных судов посредством комплексной системы обнаружения объектов / Р. А. Акзигитов, А. В. Кацура, А. Р. Акзигитов, Д. Е. Строков // «Вестник СибГАУ». – 2016. – № 17(2). – С. 388-392.
4. Ковалев, И. В. К вопросу формирования блочно-модульной структуры системы управления беспилотных летательных объектов / И. В. Ковалев, В. В. Лосев, М. В. Сарамуд, А. О. Калинин, А. С. Лифарь // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – №1(3). – С. 48-64. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-3-48-64

5. Зенюткин, Н. В. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов / Н. В. Зенюткин, Д. И. Ковалев, Е. В. Туев, Е. В. Туева // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – №1(1). – С. 10-22. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22
6. Липаев, В.В. Методы обеспечение качества крупномасштабных программных средств / В. В. Липаев. – М.: Синтег, 2003.
7. Насыров, И. Р. Мультиверсионное программирование в автоматических системах управления технологическими процессами / И. Р. Насыров, Д. В. Сташков // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2015. – № 16. – С. 75-78.
8. Algirdas, Avizienis. The Methodology of N-Version Programming, in R. Lyu, editor // Software Fault Tolerance. – John Wiley & Sons, 1995.
9. Avizienis, A. The N-Version Approach to Fault -Tolerant Software / A. Avizienis // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1985. – № SE-11(12). – С. 1491-1501.
10. Грузенкин, Д. В. Мультиверсонное по и блоки восстановления - два способа защиты от ошибок / Д. В. Грузенкин, О. С. Новиков, А. В. Суханова // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. – № 11-2. – С. 72-75.
11. Завьялова, О. И. Модель формирования оптимальной программной системы по схеме блока восстановления с согласованием / О. И. Завьялова, С. Н. Гриценко, С. В. Тынченко, Р. Ю.Царев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 297.
12. Царев, Р. Ю. Алгоритм формирования программной системы по схеме блока восстановления с согласованием на основе нечеткой логики / Р. Ю. Царев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 178.
13. Xu, J. The t(n-1)-diagnosability and its applications to fault tolerance / J. Xu // Digest of Papers. Fault-Tolerant Computing: The Twenty-First International Symposium. – 1991. – С. 496–503.
14. Xu, J. Software Fault Tolerance: t/(n-1)-Variant Programming // Jie Xu, Brian Randell // IEEE Transactions on Reliability. – 1997. – 46(1). – С. 60-68.
15. Kovalev, I. Comparative Tests of Decision Making Algorithms for a Multiversion Execution Environment of the Fault Tolerance Software / I. Kovalev, A. Voroshilova, V. Losev, M. Saramud, M. Chuvashova, A. Medvedev // European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Bern. – 2017. – С. 211-217.

УДК 004.94 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.64-70 EDN: RCNLIO

Программный комплекс анализа надежности телекоммуникационной системы реального времени для мониторинга и управления

Д.И. Ковалев[1,2*], Т.П. Мансурова[1], Е.А. Борисова[1]

[1]Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия
[2]Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается программный комплекс анализа надежности кластерной структуры телекоммуникационных систем реального времени для мониторинга и управления. Дано описание имитационного модуля и представлены результаты имитационного моделирования в среде GPSS World Student Version. С помощью модуля анализа надежности кластерных структур телекоммуникационных систем реального времени строится график зависимости коэффициента готовности системы от наработки какого-либо элемента системы на отказ, что позволяет найти аппроксимацию требуемой наработки элемента на отказ для достижения заданной надежности. Учитываются заданные ограничения на объем финансирования кластерной структуры телекоммуникационной системы реального времени.

Ключевые слова: программа, анализ надежности, телекоммуникационная система, мониторинг, кластерная структура

Software package for reliability analysis of a real-time telecommunication system for monitoring and control

D.I. Kovalev[1,2*], T.P. Mansurova[1], E.A. Borisova[1]

[1]Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia
[2]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Annotation. The article considers a software package for analyzing the reliability of the cluster structure of real-time telecommunication systems for monitoring and control. A description of the simulation module is given and the results of simulation modeling in the GPSS World Student Version environment are presented. Using the reliability analysis module for cluster structures of real-time telecommunication systems, a graph of the dependence of the system availability factor on the time between failures of any element of the system is plotted, which makes it possible to find an approximation of the required time between failures of an element to achieve a given reliability. Given restrictions on the amount of funding for the cluster structure of a real-time telecommunication system are taken into account.

Keywords: program, reliability analysis, telecommunication system, monitoring, cluster structure

1. Введение

В работе представлено описание программного комплекса для решения задачи планирования развития кластерной структуры телекоммуникационной системы реального времени (ТСРВ) для мониторинга и управления [1-3]. Формально решение основано на поиске в графе состояний системы одного из состояний, обладающего наивысшим коэффициентом готовности. Причем перевести систему в это состояние возможно только при наличии заданных объемов финансирования. Фактически, данная задача является задачей поиска с ограничениями [4].

При решении поставленной задачи, в случае первого применения комплекса, для анализа надежности выбранной кластерной структуры ТСРВ начальным этапом является проведение серии имитаций для последующего наполнения базы данных [5].

2. Этап имитационного моделирования

Для удобной настройки параметров имитационной модуль, хранящий параметры кластерной структуры вынесен отдельно. Данный модуль изображен на рисунке 1.

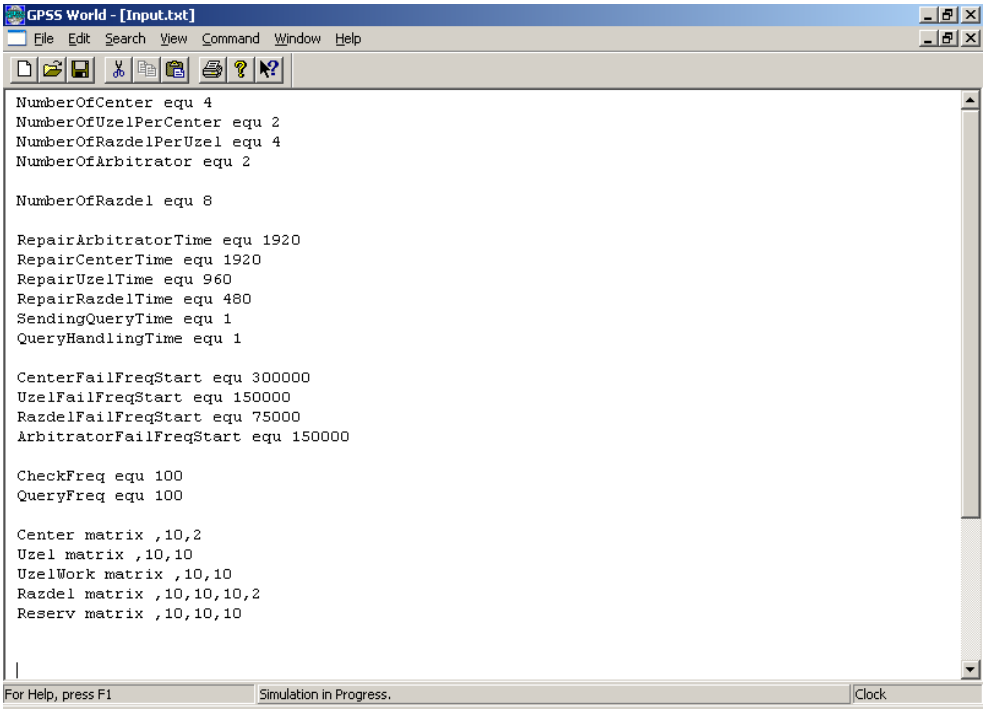

Рисунок 1. Модуль настройки параметров имитационной модели.

После настройки параметров кластерной структуры ТСРВ необходимо запустить имитацию. Этот процесс представлен на рисунке 2.

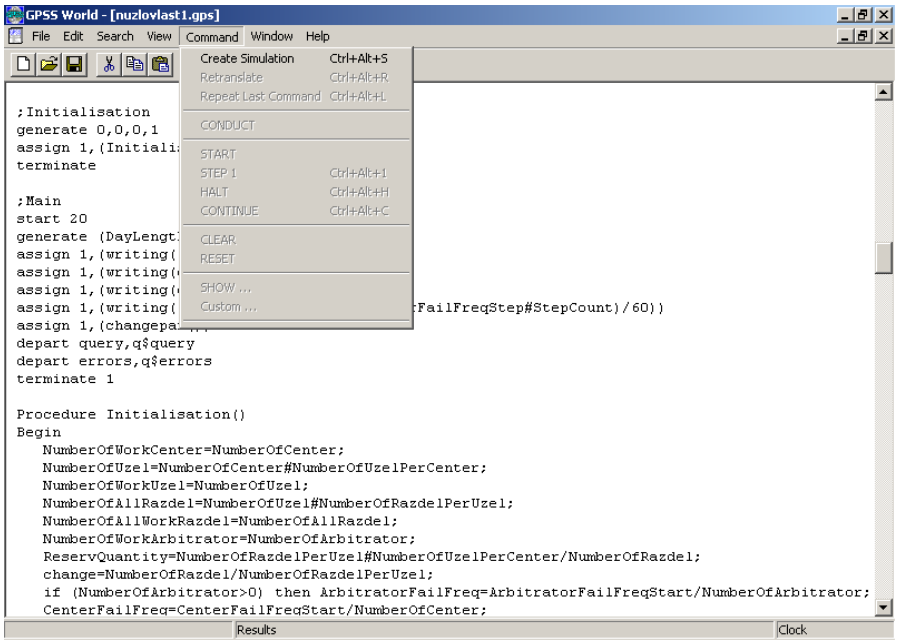

Рисунок 2. Имитационная модель (процесс начала имитации).

Далее необходимо перенести результаты в базу данных, с которой работает программа. Тестовые результаты имитации показаны на рисунке 3.

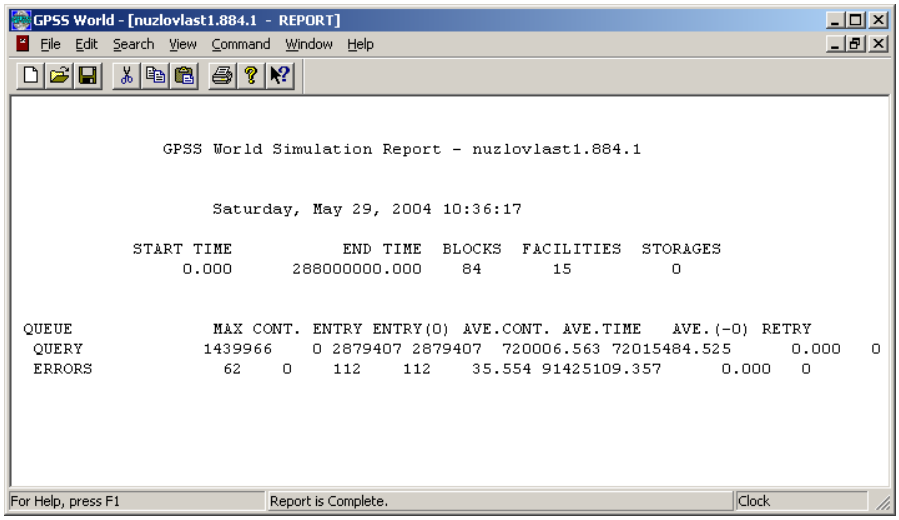

Рисунок 3. Результаты имитационного моделирования в среде GPSS World Student Version.

Для внесения информации о результатах имитационного моделирования необходимо запустить модуль анализа надежности кластерных структур ТСРВ, выбрать подпункт “Конвертировать файл в базу” пункта “Работа” главного меню программы, указать необходимый файл. Эту операцию требуется проделать для всех файлов, полученных в результате работы модели в GPSS.

3. Этап анализа надежности кластерных структур ТСРВ

Далее с помощью модуля анализа надежности кластерных структур ТСРВ можно построить график зависимости коэффициента готовности системы от наработки какого-либо элемента системы на отказ и найти аппроксимацию требуемой наработки элемента на отказ для достижения заданной надежности.

Для этого нужно выполнить ряд операций, описанных ниже.

1. Необходимо создать или загрузить готовый проект с помощью главного меню программы. При этом не нужно вводить никаких данных, требуется лишь выбирать варианты в таблице. Таким образом, нужно заполнить все поля, которые будут фиксированными, и оставить незаполненным лишь одно поле в таблице. Результат примерного заполнения данных приведен на рисунке 4.

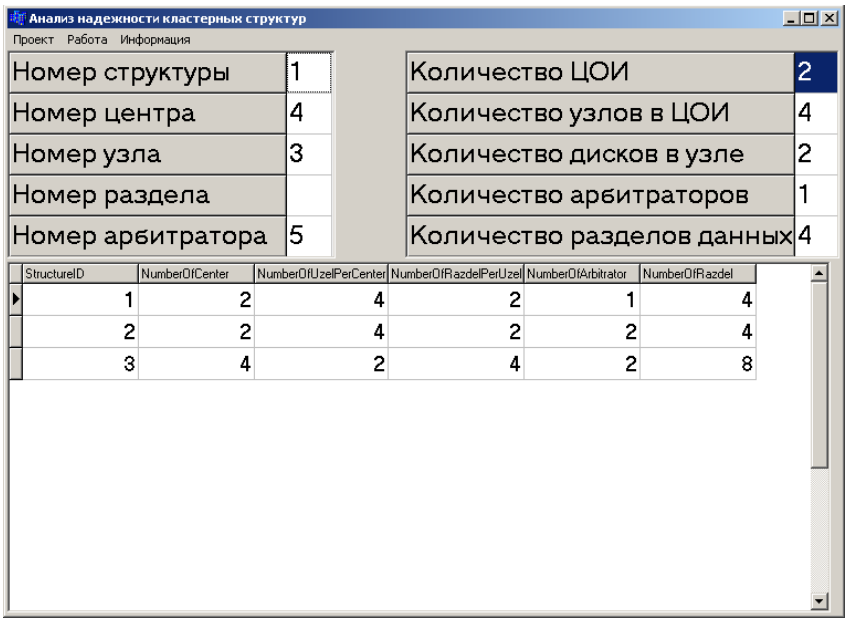

Рисунок 4. Окно ввода программы «Анализ надежности кластерных структур ТСРВ».

2. Далее следует выбрать подпункт «Загрузить данные из БД» пункта «Работа» главного меню модуля. После этого для вывода графика на экран требуется выбрать подпункт «Показать график» того же пункта меню. В результате содержимое окна программы может быть таким, какое изображено на рисунке 5.

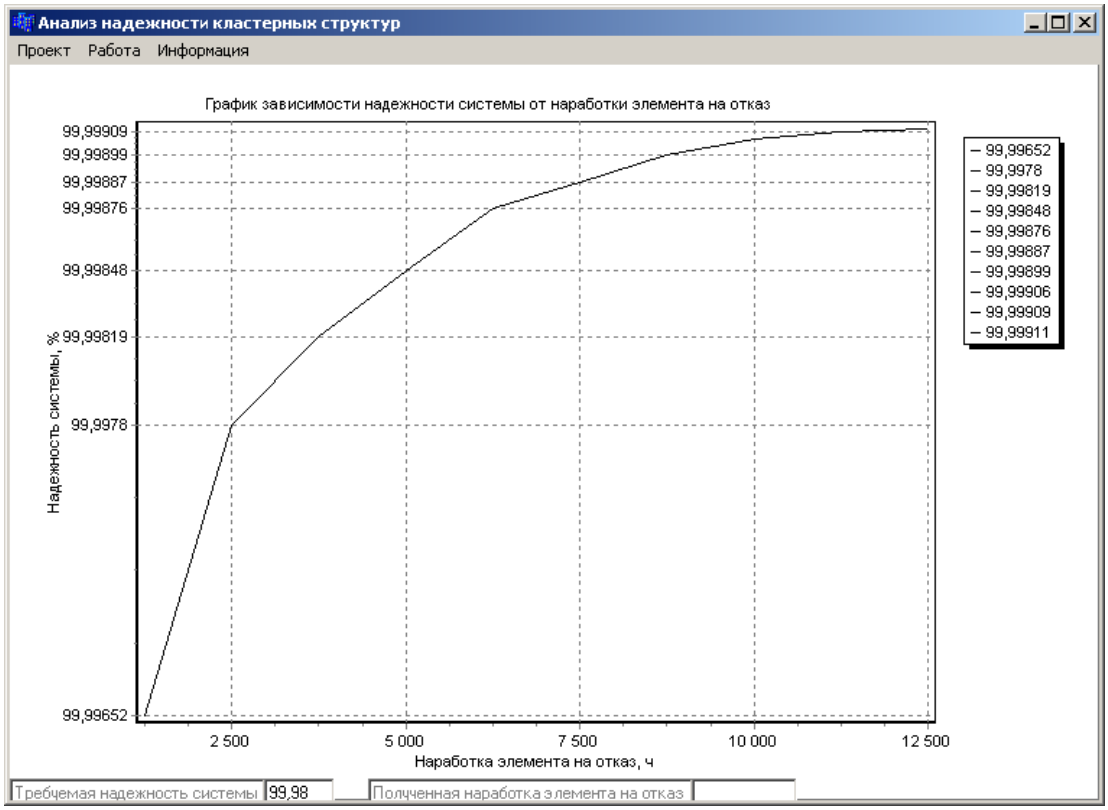

Рисунок 5. График зависимости коэффициента готовности кластерной структуры ТСРВ от наработки на отказ сетевых дисковых хранилищ данных системы.

3. Далее в строку ввода «Требуемая надежность системы» необходимо ввести соответствующее значение. В результате на графике выделится соответствующая позиция и в поле «Полученная наработка элемента на отказ» выведется результат. Пример полученного содержимого окна модуля изображен на рисунке 6.

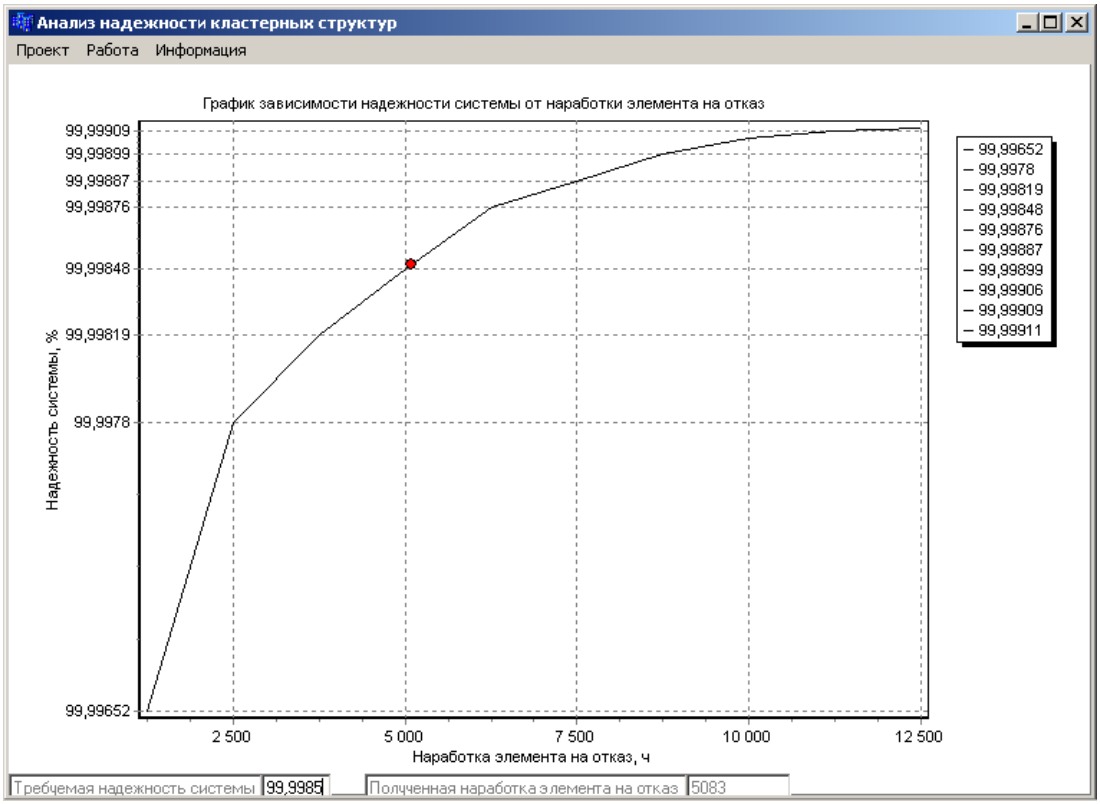

Рисунок 6. График зависимости коэффициента готовности системы от наработки дисков на отказ с отметкой о достаточной наработке дисков на отказ.

4. Заключение

Таким образом, на основе представленных результатов можно заключить, что кластеризация сложной телекоммуникационной системы реального времени для мониторинга и управления является эффективным способом повышения надёжности работы системы в целом. Решение задачи реализовано в виде максимизации целевой функции на множестве состояний системы. Программно реализован алгоритм анализа надежности кластерной структуры ТСРВ. Результатом выполнения данной работы является программный комплекс анализа надежности телекоммуникационной системы реального времени для мониторинга и управления. Результаты данной работы будут использованы для дальнейшего исследования проблем развития кластерных структур систем обработки информации и управления.

Благодарности.

Проведение исследований осуществляется при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках

проекта «Контроль траектории полета воздушных судов в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера» в соответствии с заявкой 2021110907918.

Список источников

1. Карцан, И. Н. Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели / И. Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(2). – С. 64-71. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-64-71
2. Николашин, Ю.Л. Основные направления развития системы связи на современном этапе / Ю. Л. Николашин, В. И. Мирошников, И. А. Кулешов // Техника средств связи. – 2018. – № 1(141). – С. 7-13.
3. Шнепс-Шнеппе, М.А. О телекоммуникационных парадигмах / М. А. Шнепс-Шнеппе // International Journal of Open Information Technologies. – 2014. – 2(9). – С. 1-3.
4. Зенюткин, Н. В. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов / Н. В. Зенюткин, Д. И. Ковалев, Е. В. Туев, Е. В. Туева // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – №1(1). – С. 10-22. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22
5. Бельтов, А.Г. Анализ методов моделирования телекоммуникационных сетей / А. Г. Бельтов, М. В. Доскалов, И. А. Кулешов // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2012. – № 1(140). – С. 7-10.

УДК 004.94 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.71-76 EDN: IKVOMI

Программный комплекс формирования плана развития структуры телекоммуникационных систем реального времени мониторинга и управления

Д.И. Ковалев[1,2*], Т.П. Мансурова[1], Е.А. Борисова[1]

[1]Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия
[2]Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Аннотация. В статье представлен программный комплекс формирования плана развития структуры телекоммуникационных систем реального времени мониторинга и управления. Показано, что результатом работы модуля планирования развития кластерной структуры является субоптимальный план использования выделяемых денежных средств на модернизацию элементов системы. Представлена процедура формирования плана развития структуры телекоммуникационной системы реального времени и последовательность экранных форм, заполняемых пользователем.

Ключевые слова: программный комплекс, телекоммуникационная система, мониторинг, план развития, структура системы

Software complex for the formation of a plan for the development of the structure of telecommunication systems for real-time monitoring and control

D.I. Kovalev[1,2*], T.P. Mansurova[1], E.A. Borisova[1]
[1]Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia
[2]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: grimm7jow@gmail.com

Abstract. The article presents a software package for the formation of a plan for the development of the structure of telecommunication systems for real-time monitoring and control. It is shown that the result of the work of the cluster structure development planning module is a suboptimal plan for the use of allocated funds for the modernization of system elements. The procedure for forming a development plan for the structure of a real-time telecommunication system and a sequence of screen forms filled in by the user are presented.

Keywords: software package, telecommunication system, monitoring, development plan, system structure

1. Введение

Программный комплекс построен на базе имитационной модели, которая реализована в среде «GPSS World Student Version» [1]. Данная среда предлагает широкие возможности по построению моделей дискретных систем, к которым и относятся кластерные структуры телекоммуникационных систем реального времени (ТСРВ) для мониторинга и управления [2].

С помощью программного комплекса возможно решение задачи построение плана развития кластерной структуры ТСРВ.

Решение задачи планирования развития кластерной структуры ТСРВ основано на поиске в графе состояний системы [3]. Одним из способов использования результатов имитаций с помощью разработанного программного комплекса, преобразованных в содержимое базы данных, является построение плана развития кластерных структур ТСРВ [4-6]. Для этого используется модуль планирования развития структуры.

2. Процедура формирования плана развития

Представим последовательность действий для получения плана развития кластерной структуры (см. рисунки 1-4).

1. Выбрать подпункт «Ввод данных» пункта «Работа» главного меню. После этого появится окно выбора начального состояния кластерной структуры, развитие которой планируется осуществить. Полученная экранная форма изображена на рисунке 1.

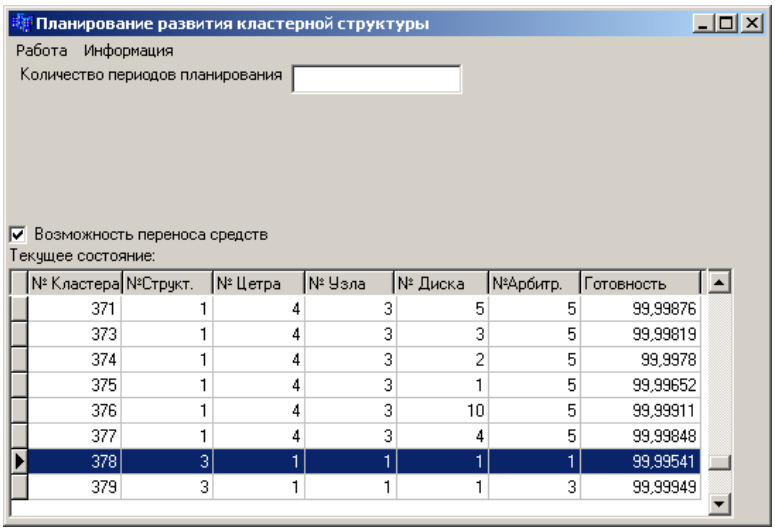

Рисунок 1. Выбор начального состояния в программе «Планирование развития кластерных структур».

2. Далее следует выбрать начальное состояние с помощью двойного щелчка мыши. После этого появятся данные о структуре кластерной системы и информация о параметрах ее элементов. Типичный пример изображен на рисунке 2.

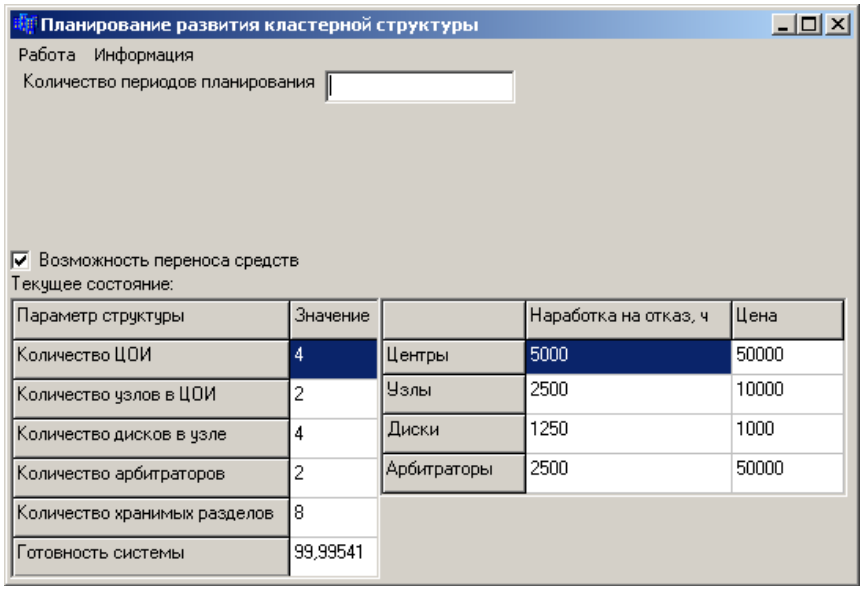

Рисунок 2. Окно программы «Планирование развития кластерных структур» с выбранным начальным состоянием системы.

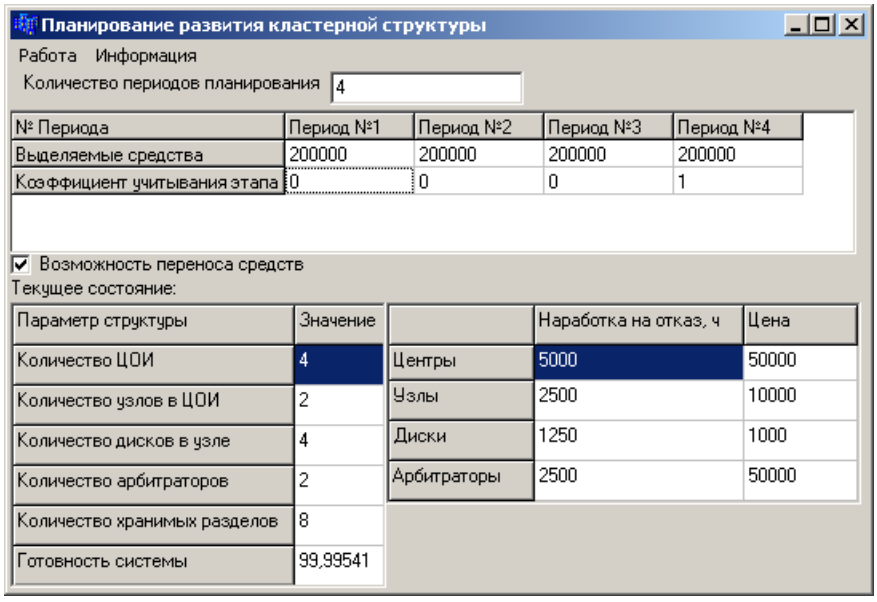

Рисунок 3. Окно программы «Планирование развития кластерных структур» с введенными исходными данными.

3. Следующим действием, которое необходимо произвести, является ввод количества этапов планирования и ввод сумм финансирования, которые могут быть использованы на каждом этапе. С помощью соответствующего элемента можно также разрешить перенос неиспользованных денежных средств на следующие этапы планирования. Вариант окончательного заполнения данных для построения плана развития кластерной структуры ТСРВ приведен на рисунке 3.

4. Далее следует выбрать подпункт «План развития» пункта «Работа» главного меню модуля. После этого с помощью кнопок «Предыдущее состояние», «Следующее состояние» можно просмотреть планируемое состояние кластерной структуры. На этом же экране изображено, сколько средств будет потрачено на каждом этапе планирования развития, выведены оставшиеся после развития кластерной структуры средства. На рисунке 4 изображен полученный план развития системы с фокусировкой на последнее ее состояние.

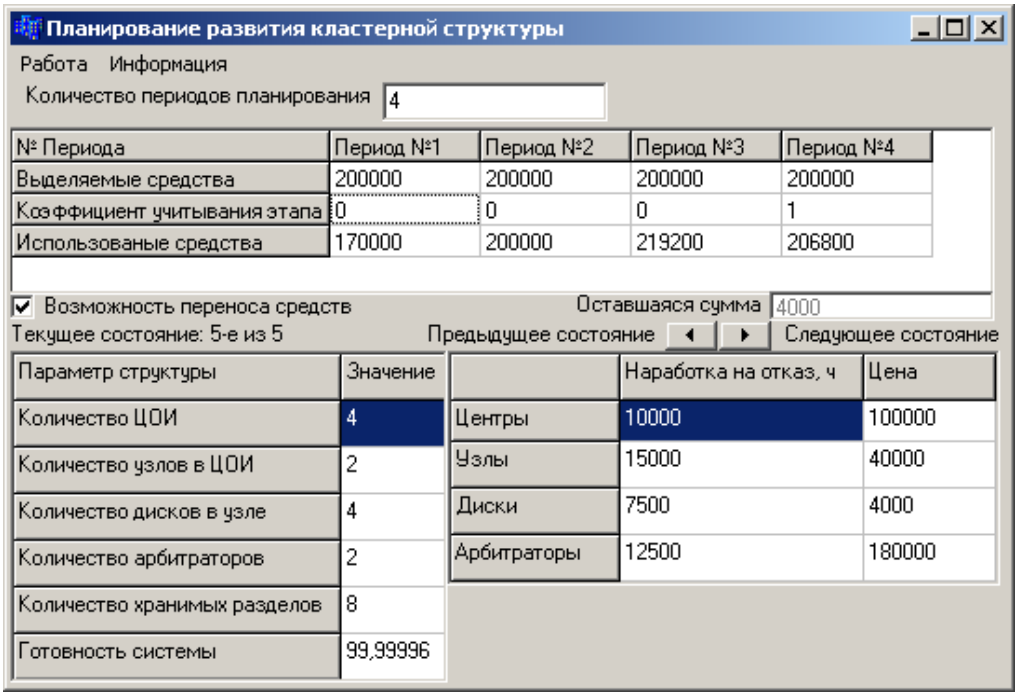

Рисунок 4. Окно программы «Планирование развития кластерных структур» с результатом планирования на последнем этапе.

3. Заключение

Таким образом, представленная процедура, реализованная с помощью разработанного программного комплекса, позволяет осуществлять планирование

развития кластерной структуры ТСРВ мониторинга и управления. Результатом работы модуля планирования развития кластерной структуры является субоптимальный план использования выделяемых денежных средств на модернизацию элементов ТСРВ. Субоптимальным данное решение является вследствие того, что при планировании используются данные, полученные с помощью имитационного моделирования. Следует отметить, что при планировании развития структуры используются не все возможные состояния системы, а лишь те, для которых было выполнено имитационное моделирование.

Благодарности

Проведение исследований осуществляется при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках проекта «Контроль траектории полета воздушных судов в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера» в соответствии с заявкой 2021110907918.

Список литературы

1. Корсуков, А. С. Автоматизация подготовки и проведения имитационного моделирования в интегрированной кластерной системе / А. С. Корсуков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 3(35). – С. 98-103.
2. Феоктистов, А. Г. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем в распределенной вычислительной среде / А. Г. Феоктистов, О. Ю. Башарина // Программные продукты и системы. – 2015. – № 3(111). – С. 75-79.
3. Зенюткин, Н. В. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов / Н. В. Зенюткин, Д. И. Ковалев, Е. В. Туев, Е. В. Туева // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – №1(1). – С. 10-22. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22
4. Царегородцев, А. В. Решение проблемы повышения надежности информационно-управляющих систем кластерным методом / А. В. Царегородцев, И. А. Савельев // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2007. – № 1. – С. 79-85.

5. Царев, Р. Ю. Анализ надежности и управление развитием кластерных структур автоматизированных систем управления / Р. Ю. Царев, К. А. Семенько, М. В. Тюпкин // Решетневские чтения. – 2012. – № 1(16). – С. 331-333.
6. Масич, Г. Ф. Аспекты надежности информационно-телекоммуникационной инфраструктуры / Г. Ф. Масич, С. Р. Латыпов, Д. П. Чугунов // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2018. – № 3. – С. 25-40.

УДК 004.9 DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.77-81 EDN: DEIHGS

Применение цифровых фильтров при работе с аудиозаписями на магнитных плёнках

А.В. Блинников[1,2,3], Т.П. Мансурова[4], Е.А. Борисова[4]

[1]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
[3]КГАУК «Енисей-кино», Красноярск, Россия
[4]Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия

E-mail: mansurovatp@mail.ru

Абстракт. В статье рассматривается опыт применения цифровых фильтров при работе с аудиозаписями на магнитных пленках. Отмечается, что обработка цифровых сигналов подразделяется на линейную и нелинейную, но в случае с записями на магнитной плёнке мы имеем дело только с нелинейной обработкой. При этом для нелинейной обработки могут быть использованы вычислительные средства любой мощности, а время обработки, особенно с высоким качеством, может достигать нескольких минут и даже часов. Графически проиллюстрированы формы аудиосигнала после различных преобразований согласно предлагаемой методике. Отмечается, что дискретизация при каждом пересчёте становится основным способом звуковой обработки аналоговых записей.

Ключевые слова: магнитная пленка, фильтр, аудиозапись, частота, дискретизация

The use of digital filters when working with audio recordings on magnetic tapes

A.V. Blinnikov[1,2,3], T.P. Mansurova[4], E.A. Borisova[4]

[1]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[2]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[3]Regional Government-Owned Publicly Funded Institution of Culture "Enisey Kino", Krasnoyarsk, Russia
[4]Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: mansurovatp@mail.ru

Abstract. The article discusses the experience of using digital filters when working with audio recordings on magnetic tapes. It is noted that digital signal processing is divided into linear and non-linear, but in the case of magnetic tape recordings, we are dealing only with non-linear processing. At the same time, computing tools of any power can be used for nonlinear processing, and the processing time, especially with high quality, can reach several minutes and even hours. The waveforms of the audio signal after various transformations according to the proposed method are graphically illustrated. It is noted that sampling at each recalculation becomes the main method of sound processing of analog recordings.

Keywords: magnetic tape, filter, audio recording, frequency, sampling

1. Введение

В настоящее время в КГАУК «Енисей кино» осуществляется оцифровка не только киноплёнки 8 мм, 16 мм и 35 мм, но и аудиоплёнки на бабинных носителях [1]. Учитывая техническое состояние аудиоплёнок, постобработка звукового сигнала занимает достаточно длительное время, поскольку необходимо через систему фильтров «прогонять» оцифрованный звук с целью снижения уровня шума, редактирования полученных исходников и минимизации аудиоэнтропии [2-6].

Обработка каждого отдельного оцифрованного носителя информации является достаточно индивидуальной процедурой, однако существует ряд унификаций и системных обобщений, которые помогают сократить время на «чистку» записи [7-11].

По сути, обработка цифровых сигналов подразделяется на линейную и нелинейную, но в случае с записями на магнитной плёнке мы имеем дело только с нелинейной обработкой [12, 13].

2. Методы и материалы

Нелинейная обработка по времени не слишком ограничена, поэтому для нее могут быть использованы вычислительные средства любой мощности, а время обработки, особенно с высоким качеством, может достигать нескольких минут и даже часов.

Все это многообразие преобразований сводится, в конечном счете, к следующим основным типам:

- амплитудные преобразования;
- частотные преобразования;
- фазовые преобразования;
- временные преобразования.

По тому, какие частоты фильтром пропускаются (задерживаются), фильтры, используемые при частотной коррекции, подразделяются на следующие группы:

- фильтр низких частот;
- фильтр высоких частот;
- полосовой пропускающий фильтр;
- полосовой режекторный фильтр;
- узкополосный пропускающий фильтр;

- узкополосный режекторный фильтр.

3. Реализация методики и обсуждение результатов

Рассматривается аудиозвук, снятый с магнитофона Ритм 320 (рисунок 1), в монорежиме при скорости протяга магнитной ленты 19,5 см/сек.

Рисунок 1. Аудиомагнитофон Ритм 320.

Полученный аудиосигнал визуально в редакторе представлен на рисунке 2.

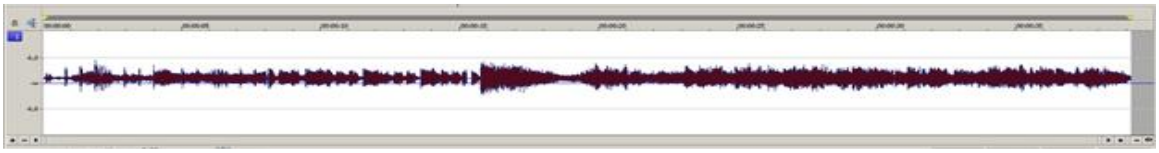

Рисунок 2. Аудио исходник.

Аудиозвук после преобразования в стереозвук, с симметричным разведением на правый и левый аудиоканал представлен на рисунке 3.

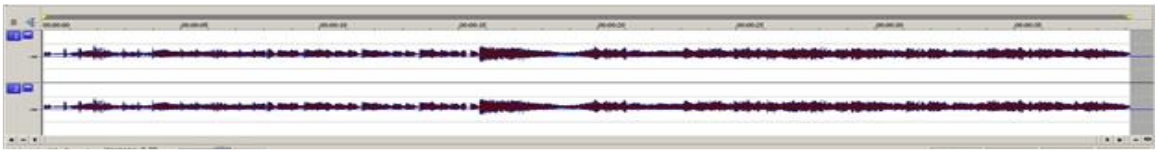

Рисунок 3. Аудиозвук в стерео.

После нормализации по пиковым значениям аудиозвук представляет уже более объёмную картину (см. рисунок 4).

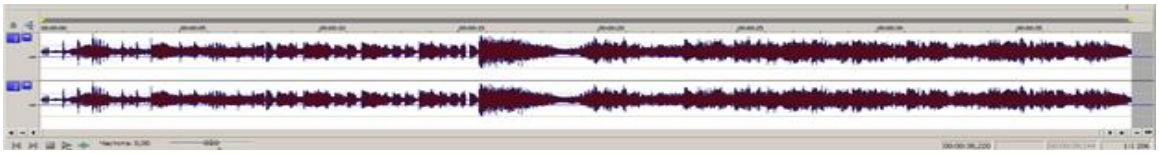

Рисунок 4. Нормализованный аудиозвук.

Обработка, позволяющая снизить шумы (рисунок 5), устраняет энтропию по заранее определённым значениям.

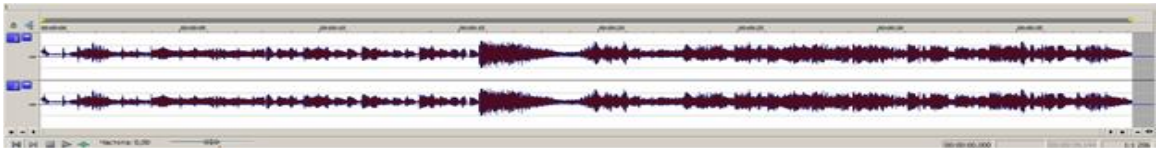

Рисунок 5. Снижение шумов.

Сигнал после обработки, позволяющая устранить скачки, щелчки, треск и скрип, представлен на рисунке 6.

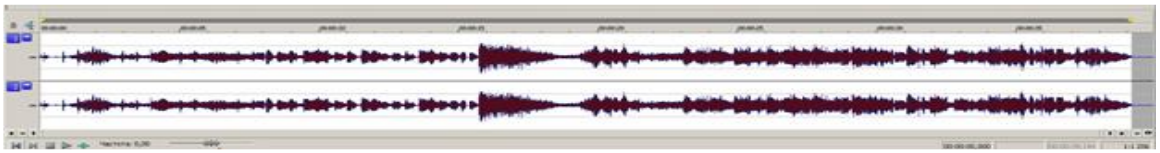

Рисунок 6. Устранение резких амплитудных скачков и трескотни.

Финальное преобразование аудиосигнала в звуковую дорожку до максимального компрессионного сдвига, который позволяет без особых искажений слушать аудиофайл, представлено на рисунке 7.

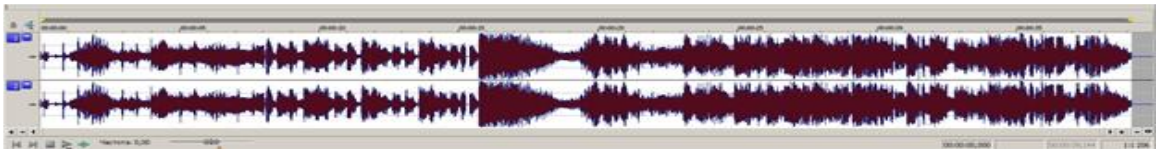

Рисунок 7. Финальное преобразование аудиозаписи.

В практическом аспекте больше всего времени требуется на подбор дискретного шага в том или ином фильтре, преобразовании или просчёте. Это выверяется эмпирическим методом проб и ошибок, аудиально на слух и с учетом накопленного практического опыта. В этом случае дискретизация при каждом пересчёте становится основным способом звуковой обработки аналоговых записей.

4. Заключение

В заключении отметим, что семейство программ звуковой обработки на сегодняшний день постоянно увеличивается, включая, например, Sony Vegas Pro, Wave SE, WaveLab, Sound Forge, Cool Edit Pro и т.д., но ключевую роль в звуковой обработке аналоговых записей, конечно, играет звукорежиссёр, осуществляющий аудио обработку с помощью аппаратно-программных средств.

Список литературы

1. Рыжков, В. А. Внешние запоминающие устройства на магнитном носителе / В. А. Рыжков, и др. – М.: Энергия, 1978. – 224 с.
2. Spanias, Andreas. Audio signal processing and coding, wiley-interscienceаю / Andreas Spanias, Ted Painter, Venkatraman Atti. – Inc., Publication, John Wiley & Sons, 2007. – 486 p.
3. Dai Tracy Yang, High-Fidelity Multichannel Audio Coding / Dai Tracy Yang, Chris Kyriakakis, C.-C. Jay Kuo. – New York: Hindawi Publishing Corporation, 2006. – 225 p. http://www.hindawi.com/spc.1. html http://www.amazon.com/dp/9775945240
4. Kahrs, Mark. Application of Digital Signal Processing to Audio and Acoustic / Mark Kahrs, Karlheinz Brandenburg. New York: Kluver Acadmic Publishers, 2002. – 538 p.
5. Zolzer, Udo. Digital Audio Signal Processing / Udo Zolzer. – England: John Wiley and Sons, Inc,. Chichester, 1997. – 259 p.
6. Zolzer, Udo. DAFX – Digital Audio Effects / Udo Zolzer. – UK: John Wiley and Sons, Ltd., Chichester Sussex, 2002. – 525 p.
7. Wannamaker R. A. The Theory of Dithered Quantization. Dissertation / R. A. Wannamaker. – Canada: Waterloo, Ontario, 2003. – 152 p.
8. Едронова, В. Н. Общая теория статистики / В. Н. Едроновва, М. В. Едронова. – М.: ЮРИСТЪ, 2017. – 511 с.
9. Ковалгин, Ю. А. Цифровое кодирование звуковых сигналов / Ю. А. Ковалгин, Э. И. Вологдин. – СПб.: КОРОНА, принт, 2004. – 240 с.
10. Радзишевский, Александр. Основы аналогового и цифрового звука / Радзишевский Александр. – СПб.: из-во дом «Вильямс», М, Киев, 2006. – 281 с.
11. Справочник. Звуковое вещание. Под ред. Ю. А.Ковалгина. – М.: Радио и связь. 1993. – 463 с.
12. Сэломон, Д. Мир программирования. Цифровая обработка сигналов. Сжатие данных изображения и звука / Сэломон Д. – М.: Техносфера. 2004. – 365 с.
13. Цифровая звукозапись. Под редакцией Дж. Мааса и М. Веркамена. Пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 352 с. (Мультимедиа для профи).

DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.82-90 EDN: EONWEX

End-to-end Visual Speech Recognition for Human-Robot Interaction

Denis Ivanko*, Dmitry Ryumin, Maxim Markitantov

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS)

E- mail: Ivanko.d@iias.spb.su

Abstract. In this paper we present a novel method designed for word-level visual speech recognition and intended for use in human-robot interaction. The ability of robots to understand natural human speech will significantly improve the quality of human-machine interaction. Despite outstanding breakthroughs achieved in this field in recent years this challenge remains unresolved. In current research we mainly focus on the visual part of the human speech, so-called automated lip-reading task, which becomes crucial for human-robot interaction in acoustically noisy environment. The developed method is based on the use of state-of-the-art artificial intelligence technologies and allowed to achieve an incredible 85.03% speech recognition accuracy using only video data. It is worth noting that the model training and testing of the method was carried out on a benchmarking LRW database recorded in-the-wild, and the presented results surpass many existing achieved by the researchers of the world speech recognition community.

Keywords: visual speech recognition, robot, automated lip-reading task

1. Introduction

Automatic speech recognition is a field of growing attention in modern human-robot interaction. It is a natural form of communication and the ability of robots to understand human speech is difficult to overestimate. Such ability has already proved its usefulness in many practical applications [1]. However, in acoustically noisy conditions, such as public places, construction environment, road traffic, etc. audio speech recognition for robots doesn't perform at its best. From this perspective, visual speech recognition (or so-called automated lip-reading) is a natural complement to audio-based speech recognition [2]. It can facilitate speech recognition in aforementioned noisy environments.

Traditional speech recognition system consists of two stages: features extraction block and speech recognition block [3]. Very recently, an end-to-end approach for visual speech recognition have been presented [4]. Its core idea is to use only one neural network which perform the functions of both blocks: (1) extract informative features and (2) speech recognition. However, research on end-to-end lip-reading has been very limited. The proposed in this paper method and developed visual speech recognition system belongs to end-to-end category.

Motivated by these problems, we develop a method for word-level visual speech recognition and build an end-to-end model to be used in modern human-robot interaction systems. The developed technologies and the obtained results are in line with the state-of-the-art world level and surpass it in some aspects.

In summary, we make three main contributions. Firstly, we propose a novel method for word-level visual speech recognition to be used in human-robot interfaces. Secondly, we build from scratch state-of-the-art end-to-end model and train it on a real-world data. Finally, we report the evaluation results on benchmarking LRW dataset and compare it with existing methods.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2, we refer to recent works on automated lip-reading, with emphasis on those that apply end-to-end methods. In Section 3, we discuss benchmarking LRW dataset recorded in-the-wild conditions. In Section 4, we present the proposed method and describe the architecture of the developed end-to-end model. Finally, In Section 5, we present our evaluation results along with the comparison to the existing methods.

2. Related works

Prior to the appearance of modern end-to-end and deep learning approaches, most of the work in visual speech recognition for human-robot interfaces was based on hand-crafted features and modelled by Hidden Markov model pipeline [5]. However, in recent years researchers starting to use deep learning methods either for extracting informative features [6-8] or for building end-to-end architectures [9-12].

Perspectives of using automated lip-reading technologies for robotic control or in human robot interfaces were considered in our previous work [13]. In general, visual speech recognition for robots has a long history. According to the design of the front end network, the current state-of-the-art visual speech recognition methods can be divided into three main categories: 2-dimensional (2D) convolutional neural networks (CNN), such in [14], 3-dimensional convolutional neural networks (3D CNNs), such in [15], or a combination of 2D and 3D convolutions, which inherit the advantages of both [16]. Recently, method of third type have become widely used in visual speech recognition due to its ability to simultaneously capture temporal dynamics of lips movements and extract discriminative features.

For sequence modeling long-short term memory (LSTMs) or its variations are often used [17]. When temporal modeling is required, such in visual speech recognition, LSTMs usually lead to better performance commonly used in NLP, video-prediction, automated lip-reading, etc [18-20].

In this paper, we develop own method which is based on the combination of different state-of-the-art artificial intelligence technologies and improve upon earlier results by achieving around 85% speech recognition accuracy with 500 recognition classes using only video data.

3. Dataset

This section describes a used in research large-scale visual speech recognition dataset LRW [21]. The dataset consists of the recordings of 500 English words, forming up to 1000 difference utterances and pronounced by hundreds of speakers. All videos are 29 frames in length. The LRW main characteristics are presented in the table 1.

Table 1. LRW dataset characteristics.

Dataset	Classes	Samples for each class	Number of frames
Train	500 (words)	800-1000	29
Valid		50	
Test		50	

These 500 words occur more than 800 times in the training set and more than 40 times in validation and test sets. Worth noting, that the words are not isolated: they are taken in-the-wild conditions, so some co-articulation of the lips from preceding and subsequent words is present. Snapshots of speakers of the LRW dataset are given in the figure 1.

Figure 1. Snapshots of speakers in LRW dataset.

4. Methodology

The functional diagram of the proposed method for visual speech recognition is shown in Figure 2. It consists of several sequential steps. In the preprocessing phase, we discard redundant information in order to focus on the lips region.

Firstly, at each video frame the mouth region is detected and cropped by using FaceMesh MediaPipe algorithm. The mouth region exaction procedure described in great detail in our previous work [22]. Secondly, before entering our end-to-end model, some augmentation procedures are performed, namely: (1) Grey-scale transformation, followed by (2) image normalization and (3) histogram alignment. Then, to reduce overfitting and introduce less confidence in the predictions, the (4) MixUp data augmentation technique was applied to images with a probability of 40% (only during training procedure). The merging ratio of the two images varied from 30 to 70% so that the sum was always 100% (zero transparency). Label Smoothing was applied to the labels of those images that did not have MixUp. Thirdly, the resulting images are formed into batches with Sequence_Length of 29 frames (LRW dataset dimension) and fed into end-to-end network for speech recognition.

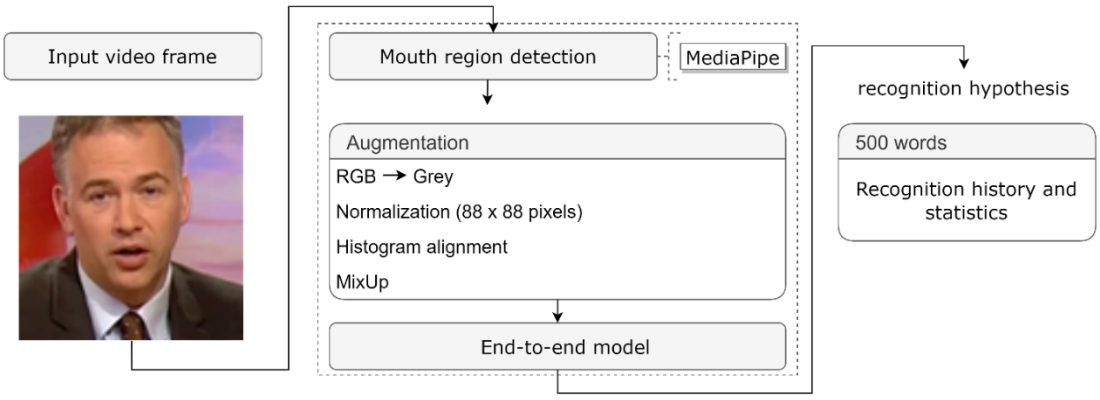

Figure 2. Functional diagram of the proposed visual speech recognition method.

The general architecture and layers dimension of the developed end-to-end model is shown in Table 2. To extract informative visual features, a modified 3DResNet-18 neural network was used with the addition of the Squeeze-and-Attention module (left column). ResNet makes it relatively easy to increase accuracy by increasing depth, which is more difficult to achieve with other networks. We use Squeeze-and-Attention modules as heads to extract features to fully exploit their multi-scale.

The back-end of the model is a Bidirectional LSTM network. The extracted features were applied to 2 layers of BiLSTM, 512 neurons each. The output of the first BiLSTM layer is sequence-to-sequence. The output of the second BiLSTM layer is sequence-to-one (right column). The last fully connected layer determines the most probable hypothesis from 500 recognition classes. The training process used a learning rate scheduler technique - cosine annealing.

We should emphasize that the overall visual speech recognition system can be directly trained end-to-end. Proposed method for word-level visual speech recognition is based on recent advances in deep learning and apply them to automated lip-reading to be used in human-robot interfaces.

Table 2. End-to-end visual speech recognition model architecture

1) Batch of video frames (Sequence_Length × 1 ×88 × 88)	7) Global average pooling (Sequence_Length × 512)
2) 3D Conv (Sequence_Length × 64 × 44 × 44)	8) Dropout layer, p = 0.4

3) SA-Residual Block × 2 (Sequence_Length × 64 × 44 × 44)	9) BiLSTM + Dropout, p = 0.2 (Sequence_Length × 2 × 1024)
4) SA-Residual Block × 2 (Sequence_Length × 128 × 22 × 22)	10) BiLSTM + Dropout, p = 0.2 (1024)
5) SA-Residual Block × 2 (Sequence_Length × 256 × 11 × 11)	11) FC + Softmax (500)
6) SA-Residual Block × 2 (Sequence_Length × 512 × 6 × 6)	

5. Evaluations

In this section we present the recognition results of developed visual speech recognition method and end-to-end neural network architecture on benchmark LRW dataset. The comparison of recognition accuracy with and without MixUp augmentation technic are shown in Table 3. The application of MixUp results in increase of recognition accuracy to 85.03% (2,83% absolute).

Table 3. Comparison of recognition results of our model with / without MixUp augmentation.

№	Neural network model architecture	Recognition accuracy
1	MPipediae FaceMesh + Label Smoothing + Squeeze-and-Attention + 3DResNet-18 + BiLSTM + Cosine WR	82.2%
2	MediaPipe FaceMesh + Label Smoothing + MixUp + Squeeze-and-Attention + 3DResNet-18 + BiLSTM + Cosine WR	85.03%

The comparison of recognition results of our model with some state-of-the-art approaches are shown in Table 4. As we can see from the table, our model outperforms recent state-of-the-art approaches up to 1.73% absolute if compare with work [12]. Smallest gap in recognition accuracy seen in comparison with recent research work [5], only 0.23%. However, with 500 recognition classes and sufficient amount of test data in LRW dataset, this result of our model is a significant improvement upon previous approaches, confirming the viability of the proposed method and model.

Table 4. Comparison of recognition results of our model with state-of-the-art on LRW dataset.

№	Neural network model architecture	Recognition accuracy
1	3D Conv + ResNet-34 + Bi-LSTM [12]	83.30%
2	Multi-grained + Bi-ConvLSTM [11]	83.34%
3	3D Conv + ResNet-34 + Bi-GRU [10]	83.39%
4	PCPG [9]	83.50%

5	DFTN [8]	84.13%
6	SpotFast + Transformer + Product-Key memory [7]	84.40%
7	3D Conv + ResNet-18 + Bi-GRU [6]	84.41%
8	3D Conv + P3D-ResNet50 + TCN [5]	84.80%
9	Our model	85.03%

6. Conclusion

In this paper we introduce an end-to-end visual speech recognition method designed for word-level automated lip-reading and intended for use in human-robot interaction. The ability of robots to understand natural human speech will significantly improve the quality of human-machine interaction. The developed method is based on the use of state-of-the-art artificial intelligence technologies. Proposed methodology allows to achieve 85.03% speech recognition accuracy using only video data. It is worth noting that the model training and testing was carried out on a benchmarking LRW database recorded in-the-wild conditions, which is currently one of the largest visual speech datasets in the world. Some possible future directions include audio-visual modalities fusion and implementation of developed technologies in interface of mobile information robot.

Acknowledgments

This research is financially supported by the Russian Science Foundation (project No. 21-71-00132).

References

1. Dalu, F. "Learn an Effective Lip Reading Model without Pains" / F. Dalu, S. Yang, S. Shan and X. Chen // In arXiv preprint arXiv:2011.07557. – 2020. – P. 1-6.
2. Kim, M. "Multi-modality associative bridging through memory: Speech sound recollected from face video" / M. Kim, J. Hong, S. J. Park, Y. M. Ro // In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2021. – P. 296-306.
3. Martinez, B. "Lipreading using temporal convolutional networks" / B. Martinez, P. Ma, S. Petridis, M. Pantic // In ICASSP IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – 2020. – P. 6319-6323.
4. Zhang, Y. "Can we read speech beyond the lips? rethinking roi selection for deep visual speech recognition" / Y. Zhang, S. Yang, J. Xiao, S. Shan and X. Chen // In 2020 15th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. – 2020. – P. 356-363.

5. Xu, B. "Discriminative multi-modality speech recognition" / B. Xu, C. Lu, Y. Guo and J. Wang // In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2020. – P. 14433-14442.
6. Zhao, X. "Mutual information maximization for effective lip reading" / X. Zhao, S. Yang, S. Shan and X. Chen // In 2020 15th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. – 2020. – P. 420-427.
7. Wiriyathammabhum, P. "SpotFast Networks with Memory Augmented Lateral Transformers for Lipreading" / P. Wiriyathammabhum // In International Conference on Neural Information Processing. – 2020. – P. 554-561.
8. Xiao, J. "Deformation flow based two-stream network for lip reading" / J. Xiao, S. Yang, Y. Zhang, S. Shan and X. Chen // In 2020 15th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. – 2020. – P. 364-370.
9. Luo, M. "Pseudo-convolutional policy gradient for sequence-to-sequence lip-reading" / M. Luo, S. Yang, S. Shan and X. Chen // In 2020 15th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. – 2020. – P. 273-280.
10. Petridis, S. "End-to-end audiovisual speech recognition" / S. Petridis, T. Stafylakis, P. Ma, F. Cai, G. Tzimiropoulos, M. Pantic // In 2018 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP). – 2018. – P. 6548-6552.
11. Wang, C. "Multi-grained spatio-temporal modeling for lip-reading" / C. Wang // In arXiv preprint arXiv:1908.1161. – 2019.
12. Stafylakis, T. Combining residual networks with LSTMs for lipreading" / T. Stafylakis, G. "Tzimiropoulos // In arXiv preprint arXiv:1703.04105. – 2017.
13. Ivanko, D. "An Experimental Analysis of Different Approaches to Audio–Visual Speech Recognition and Lip-Reading" / D. Ivanko, D. Ryumin, A. Karpov // In Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics" Zavalishin's Readings. –2021. – P. 197-209.
14. Ivanko, D. "Developing of a Software–Hardware Complex for Automatic Audio–Visual Speech Recognition in Human–Robot Interfaces" / D. Ivanko, D. Ryumin, A. Karpov // In Electromechanics and Robotics. – 2022. – P. 259-270.

15. Verkhodanova, V. "HAVRUS corpus: high-speed recordings of audio-visual Russian speech" / V. Verkhodanova, A. Ronzhin, I. Kipyatkova, D. Ivanko, A. Karpov, M. Železný // In International Conference on Speech and Computer. – 2016. – P. 338-345.
16. Ryumina, E. "A Novel Method for Protective Face Mask Detection using Convolutional Neural Networks and Image Histograms" / E. Ryumina, D. Ryumin, D. Ivanko, A. Karpov // In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2021. – P. 177-182.
17. Kashevnik, A. "Multimodal Corpus Design for Audio-Visual Speech Recognition in Vehicle Cabin" / A. Kashevnik, I. Lashkov, A. Axyonov, D. Ivanko, D. Ryumin, A. Kolchin, A. Karpov // In IEEE Access. – 2021. – № 9. – P. 34986-35003.
18. Shillingford, B. "Large-scale visual speech recognition" / B. Shillingford, Y. Assael, M. W. Hoffman, T. Paine, C. Hughes, U. Prabhu, N. de Freitas // In arXiv preprint arXiv:1807.05162. – 2018.
19. Afouras, T. "LRS3-TED: a large-scale dataset for visual speech recognition" / T. Afouras, J. S. Chung, A. Zisserman // In arXiv preprint arXiv:1809.00496.
20. Zhu, H. "Deep audio-visual learning: A survey" / H. Zhu, M. D. Luo, R. Wang, A. H. Zheng, R. He // In International Journal of Automation and Computing. – 2021. – P. 1-26.
21. Chung, J. “Lip reading in the wild” / J. Chung, A. Zisserman // In Asian conference on computer vision. – 2016. – P. 87-103.
22. Ivanko, D. "Development of Visual and Audio Speech Recognition Systems Using Deep Neural Networks" / D. Ivanko, D. Ryumin // In International Conference Graficon. – 2021. – P. 1-12.

IV Международная научная конференция MIP: Engineering-IV-2022: Модернизация, Инновации, Прогресс: Передовые технологии в материаловедении, машиностроении и автоматизации

4 (2022)

«МОДЕРНИЗАЦИЯ, ИННОВАЦИИ, ПРОГРЕСС: ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ, МАШИНОСТРОЕНИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ- MIP: ENGINEERING-IV-2022»

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ПО МАТЕРИАЛАМ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(28-30 апреля 2022 | Красноярск, Россия)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:
КОВАЛЕВ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ

ISBN 978-5-6045165-5-3

© Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, 2022
© Сибирский научный центр ДНИТ, 2022
© Коллектив авторов, 2022

г. Красноярск, 2022