

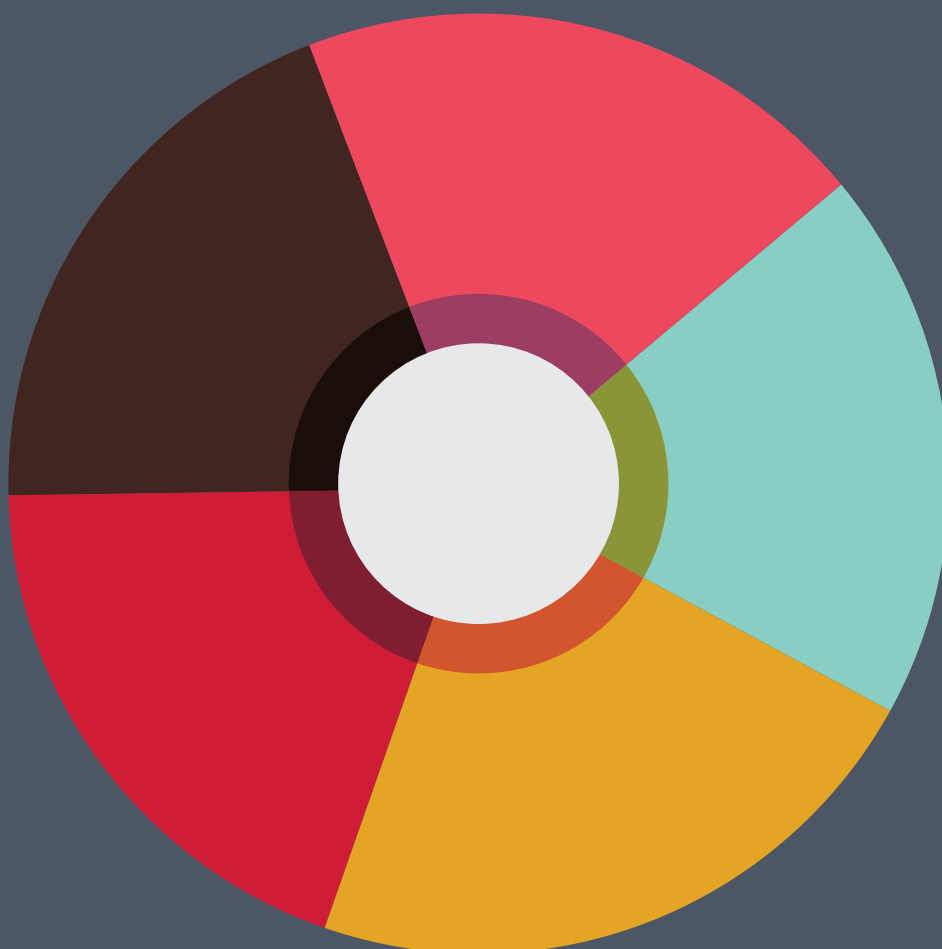
MIST

Современные инновации,
системы и технологии

ISSN 2782-2826

2021

1 (2)



MIST

MODERN INNOVATIONS, SYSTEMS AND
TECHNOLOGIES

www.oajmist.com



"Уважаемые авторы!"

Перед вами второй выпуск нового международного научно-технического журнала "Современные инновации, системы и технологии", который издается Сибирским научным центром ДНИТ с 2021 года.

В настоящий выпуск включены статьи авторов из Сибирского федерального университета, Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (г. Красноярск), Морского гидрофизического института РАН и Севастопольского государственного университета (г. Севастополь), Экспертно-аналитического центра (г. Москва), посвященные

актуальным вопросам развития транспорта, авиационной и ракетно-космической техники, прикладным задачам применения современных систем и технологий, проблемам управления и информатики.

Рубрикатор научно-технического журнала достаточно широкий; самыми актуальными темами являются информатика, физика, транспорт, ракетостроение. Журнал представлен на платформе eLibrary, всем опубликованным статьям присваиваются DOI, издание входит в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), базу Crossref."

"Dear Authors!"

This is the second issue of the new international scientific and technical journal "Modern innovations, systems and technologies", which has been published by the Siberian Scientific Center DNIT since 2021.

This issue includes articles of the authors from Siberian Federal University, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Krasnoyarsk); Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences and Sevastopol State University (Sevastopol), the Expert and Analytical Center (Moscow), dedicated to topical issues of the development of transport, aviation, rocket and space technology, applied techniques of the application of modern systems and technologies, problems of management and informatics.

The scope of the scientific and technical journal is quite wide; the most urgent topics are informatics, physics, transport, rocketry.

The journal is presented on the eLibrary platform, DOIs are assigned to all published articles, the publications are included in the Crossref database."

Сайт журнала "Современные
инновации, системы и технологии"



Website

Мы в интернете! Подписывайтесь
на наши каналы



conf.domnit.ru

Главный редактор

И.В. Ковалев, д-р техн. наук, профессор

Редакционная коллегия

С.П. Друкаренко, канд. техн. наук, профессор

А.А. Ступина, д-р техн. наук, профессор

Е.Н. Головенкин, д-р техн. наук, профессор

Н.А. Тестоедов, член-корр. РАН

А.С. Дулесов, д-р техн. наук, доцент

В.И. Пантелеев, д-р техн. наук, профессор

Ю.А. Шурыгин, д-р техн. наук, профессор

А.И. Легалов, д-р техн. наук, профессор

С.В. Ченцов, д-р техн. наук, профессор

Ю.В. Гуляев, академик РАН

И.Н. Карцан, д-р техн. наук, доцент

О.Я. Кравец, д-р техн. наук, профессор

В.В. Хартов, д-р техн. наук, доцент

В.В. Шайдулов, член-корр. РАН

А.А. Колташев, д-р техн. наук, доцент

О.А. Антамошкин, д-р техн. наук, доцент

А.А. Ворошилова, канд. филос. наук, доцент

А.С. Кузнецов, канд. техн. наук, доцент

В.С. Тынченко, канд. техн. наук, доцент

М.В. Сарамуд, канд. техн. наук, доцент

О журнале

Журнал «Современные инновации, системы и технологии» издается редакцией ООО «СНЦ ДНИТ».



СНЦ ДНИТ

Сибирский научный центр

Редакция проводит полную редакционную обработку статей, а также размещает научные статьи в международных и российских базах цитирования и в открытых репозиториях с целью повышения доступности научных публикаций.



eLIBRARY.RU – одна из крупнейших российских электронных библиотек научных публикаций, которая обладает огромными возможностями поиска и получения информации.



CrossRef – это международный реестр научно-информационных материалов на основе технологии DOI. CrossRef использует технологию открытых стандартов системы DOI и является также официальным регистрационным агентством DOI для образовательных и профессиональных научных публикаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Необходимую информацию о журнале и полный список опубликованных статей, а также аннотации к ним Вы найдете на нашем сайте www.oajmist.com

Издательство и редакция:

ООО "Сибирский научный центр ДНИТ" (ООО "СНЦ ДНИТ")

660049, Красноярск, ул. Урицкого, 61, офис 101

Телефон: 8 (391) 227-84-84

E-mail: krasnio@bk.ru

www.oajmist.com

Дизайн обложки Е.А. Борисова

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ №ФС77-81397 от 30.06.2021 г.

Журнал выходит четыре раза в год.

Подписано в печать 23.07.2021 г.

Заказ № 391. Тираж 1000 экз. Изд. №02 (ноябрь, 2021)

Цена свободная.

Отпечатано в типографии "Крафт" ООО "Палитра"

660050, Красноярск, ул. Кутузова, 1, стр. 37

Телефон 8 (391) 209-68-28,

E-mail: 209628@mail.ru

www.kraft-pt.ru, www.4uprint.ru

About journal

The journal «Modern Innovations, Systems and Technologies» is published by the editorial offices of LLC «SSC DNIT».



SSC DNIT
Siberian Scientific Centre

The editorial office carries out full editorial processing of articles, as well as places scientific articles in international and Russian citation bases and in open repositories in order to increase the availability of scientific publications.



eLIBRARY.RU – is one of the largest Russian electronic libraries of scientific publications, which has enormous search and information retrieval capabilities.



CrossRef – is an international register of scientific and informational materials based on DOI technology. CrossRef uses the open standards technology of the DOI system and is also the official DOI registration agency for educational and professional scientific publications.

Articles submitted to the Editorial board are reviewed. The authors of the publications are responsible for the accuracy of the information in the articles. The opinion of the editorial board may not coincide with the opinion of the authors. When reprinting, a link to the journal is required. Materials are published in the author's edition.

The necessary information about the journal and a complete list of published articles, as well as abstracts to them, can be found on our website www.oajmist.com

Publisher and Editorial office:

"Siberian Scientific Center DNIT" (Ltd. "SSC DNIT")
61, Uritskogo Street, Krasnoyarsk, 660049, Russia
Tel: +7 (391) 227-84-84
E-mail: krasnio@bk.ru
www.oajmist.com

Cover design by E.A. Borisova

The journal is registered in the FEDERAL SERVICE FOR SUPERVISION OF COMMUNICATIONS, INFORMATION TECHNOLOGY, AND MASS MEDIA
ПИ №ФС77-81397 от 30.06.2021

The journal is published four times a year.

Signed for printing 23.07.2021.
Order No. 391. Circulation 1000 copies. Ed. No. 02 (November, 2021)

Printed in a typography "Kraft" LLC "Palitra"
1/37, Kutuzova Street, Krasnoyarsk, 660050, Russia
Tel: 8 (391) 209-68-28,
E-mail: 209628@mail.ru
www.kraft-pt.ru, www.4uprint.ru

Chief Editor

I Kovalev, Doctor of Technical Sciences, Professor

Editorial Board

A Stupina, Doctor of Technical Sciences, Professor

E Golovenkin, Doctor of Technical Sciences, Professor

N Testoyedov,
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences

A Dulesov, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

V Panteleev, Doctor of Technical Sciences, Professor

Yu Shurygin, Doctor of Technical Sciences, Professor

A Legalov, Doctor of Technical Sciences, Professor

S Chentsov, Doctor of Technical Sciences, Professor

Yu Gulyaev, Academician of the Russian Academy of Sciences

I Kartsan, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

O Kravets, Doctor of Technical Sciences, Professor

V Hartov, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

V Shaidurov, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences

A Koltashev, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

O Antamoshkin, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

A Voroshilova, PhD, Associate Professor

A Kuznecov, PhD, Associate Professor

V Tynchenko, PhD, Associate Professor

M Saramud, PhD, Associate Professor

Содержание

- 5** **А.А. Ворошилова, А.С. Кузнецов** Обзор III Международного семинара MIP: Computing-2021: Компьютерное моделирование, информационные и вычислительные технологии
- 26** **И.В. Ковалев, М.В. Сарамуд, В.В. Лосев, А.А. Колташев** Метод и инструментарий верификации кроссплатформенного бортового программного обеспечения
- 38** **Е. В. Туев, М.Ф. Козлова, О. И. Ольшевская** Реализация мониторинга эффективности предприятий с помощью специальной подсистемы АСУП
- 50** **Д.И. Ковалев, Т.П. Мансурова, Я.А. Тынченко** К вопросу выбора операционной системы реального времени для аппаратно-программной поддержки систем производственно-экологического мониторинга
- 69** **И.Н. Карцан** Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели

Content

- 5** **A.A. Voroshilova, A.S. Kuznetsov** Overview of the III International Workshop on Modeling, Information Processing and Computing (MIP: Computing-2021)
- 26** **I.V. Kovalev, M.V. Saramud, V.V. Losev, A.A. Koltashev** Method and tools for verification of cross-platform onboard software
- 38** **E.V. Tuev, M.F. Kozlova, O.I. Olshevskaya** Implementation of monitoring the efficiency of enterprises using a special subsystem of the automated control system
- 50** **D.I. Kovalev, T.P. Mansurova, Ya.A. Tynchenko** On the issue of choosing a real-time operating system for hardware and software support of industrial and environmental monitoring systems
- 69** **I.N. Kartsan** Construction of ground control points for spacecraft using optimization-simulation model

Overview of the III International Workshop on Modeling, Information Processing and Computing (MIP: Computing-2021)

A.A. Voroshilova^{1,2,3,*}, A.S. Kuznetsov¹

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

² Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, Krasnoyarsk, Russia

³ Siberian Scientific Centre DNIT, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: krasnio@bk.ru

Abstract. The article provides an overview of the main directions of the scientific program of the III International Workshop on Modeling, Information Processing and Computing - MIP: Computing-2021, which took place on May 28, 2021 in Krasnoyarsk on the basis of the ²Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Provides overview information about the reports that were included in the program of the scientific session of the seminar and presented in the form of online / video reports and presentations of the participants with placement on the website of the conference materials. Information is given about the seminar partner - the service of scientific publications with open access CEUR-WS.org on Sun SITE Central Europe, operating under the auspices of the Technical University in Aachen, Germany (RWTH Aachen University). Proceedings of the MIP: Computing 2021 Seminar are published as articles in English in CEUR Workshop Proceedings, Volume 2899.

Keywords: information technology, computer modeling, informatics, computer technology

Обзор III Международного семинара MIP: Computing-2021: Компьютерное моделирование, информационные и вычислительные технологии

А.А. Ворошилова^{1,2,3,*}, А.С. Кузнецов¹

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия

³Сибирский научный центр ДНИТ, Красноярск, Россия

*E-mail: krasnio@bk.ru

Аннотация. В статье представлен обзор основных направлений научной программы III Международного семинара MIP: Computing-2021: Компьютерное моделирование, информационные и вычислительные технологии (III International Workshop on Modeling, Information Processing and Computing - MIP: Computing-2021), который состоялся 28 мая 2021 в г. Красноярске на базе Красноярского краевого Дома науки и техники РосСНИО. Приведены обзорные сведения о работах, которые были включены в программу научной сессии семинара и представлены в виде онлайн / видео докладов и презентаций участников с размещением на сайте материалов семинара. Даны сведения о партнере семинара – сервисе научных публикации с открытым доступом CEUR-WS.org на Sun SITE Central Europe, работающем под эгидой технического университета в г. Аахене, Германия (RWTH Aachen University). Материалы семинара MIP: Computing-2021 в виде статей на английском языке опубликованы в CEUR Workshop Proceedings, том 2899.

Ключевые слова: информационные технологии, компьютерное моделирование, информатика, вычислительная техника

1. Введение

Третий Международный научный семинар по компьютерному моделированию, информационным и вычислительным технологиям (MIP: Computing-2021) прошел в Красноярске 28 мая 2021 года на базе Общественного учреждения «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений» (ОУ «ККДНиТ») [1].

Семинар был совместно организован Международным и Российским союзом научных и инженерных общественных объединений (Москва, Россия), ОУ «ККДНиТ» и Сибирским научным центром ДНИТ (Красноярск, Россия). Бухарский государственный инженерно-технологический институт (Бухара, Узбекистан) выступил в качестве университета-партнера международного семинара.

Цель данного семинара заключалась в обмене опытом в области применения инноваций в информационных технологиях, современных методах математического моделирования и интеллектуальных системах как в теоретическом, так и прикладном аспекте, включая автоматизацию промышленного производства, методы защиты данных, образовательные технологии. К участию были приглашены ученые и специалисты российских и зарубежных вузов, академических институтов, предприятий, проектных и исследовательских центров. В семинаре приняли участие представители более 30 зарубежных и российских университетов, исследовательских центров.

Основные направления научной программы семинара:

- секция 1: «Кибернетика, вычислительное и имитационное моделирование»;
- секция 2: «Прикладная математика и бизнес-информатика»;
- секция 3: «Информационные технологии, надежность программного обеспечения и защита данных»;
- секция 4: «Обработка информации, разработка программного обеспечения и приложения».

На участие в семинаре было представлено 57 докладов. После рецензирования и рассмотрения материалов оргкомитетом MIP: Computing-2021 в сборник трудов семинара включены 28 статей, которые были распределены по двум следующим разделам:

- Кибернетика, вычислительные технологии и имитационное моделирование;
- Информационные технологии, надежность программного обеспечения и защита данных.

2. Обзор докладов MIP: Computing-2021

В данном обзоре представлены работы, которые были включены в программу пленарной сессии, в сборник трудов семинара MIP: Computing-2021 и представлены в виде онлайн/видео докладов и презентаций участников (размещены на сайте материалов семинара <https://conf.domnit.ru/ru/materialy/mip-computing-2021/>).

Работа [2] авторов А.А. Платонова, Н.А. Мамедовой на тему «Development of a methodology for cost optimization of software testing for the automatically tests generation» из Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова (г. Москва) посвящена вопросам, связанным с процессом разработки и поддержки программного обеспечения (ПО), в частности, для тестирования программ. Решена задача разработки методики тестирования. Это позволяет оптимизировать затраты компании на автоматическую генерацию тестов. Проанализированы широко применяемые практики контроля качества программного обеспечения; сформулированы требования к разработанной методике. На основе

разработанной методологии спроектирована ИТ-инфраструктура для контроля качества ПО. Новым результатом исследования являются инструменты для автоматической генерации качественных тестов, не требующих значительного преобразования архитектуры тестируемого программного обеспечения. Представленное решение может помочь компаниям существенно оптимизировать свои затраты на контроль качества разрабатываемого ПО. Объектом анализа и внедрения решений выступила компания - специализированный депозитарий, являющийся участником рынка ценных бумаг. Его информационная система представляет собой сложный многомодульный продукт. Для него реализована оригинальная практика повышения надежности ПО - покрытие кода тестами. Задача заключалась в обеспечении автоматической генерации тестов для поддержки бизнес-процессов специализированного депозитария.

В работе авторов из Брянского государственного технического университета Ивановой А.В., Сазоновой А.С., Кузьменко А.А., Филипповой Л.Б. на тему «Development and study of the model for epidemic spread» [3] рассматривается анализ и исследование эпидемиологической ситуации в Брянской области, вызванной вирусом COVID-19. Исследованы основные моменты разработки и тестирования имитационной модели распространения эпидемии. Предлагается алгоритм моделирования эпидемиологической ситуации, проводится оптимизационный эксперимент, который дает реалистичные значения на основе исторических данных, и делаются соответствующие выводы. Предлагаемый комплексный подход позволяет сократить финансовые средства и время, затрачиваемые на проведение экспериментов, а также позволяет прогнозировать динамику развития коронавируса в данном регионе для разработки стратегии оказания медицинских услуг с использованием информационных технологий, таких как методы системного моделирования.

В работе [4] авторов из Уфимского государственного нефтяного технического университета П. Кулакова, Б. Кутлубулатова, А. Рубцова, З. Мухамеджанова и В. Афанасенко на тему: «The assessment of impact of the crack size on the fracture load of a cylindrical element» рассматриваются вопросы одной из важнейших областей изучения материалов и конструкций - механика разрушения. Используется один из наиболее доступных в этой области инструментов - программа Ansys. Выполняемые в программном пакете расчеты на прочность конструкции, ее оценка по ресурсу и надежности во многих случаях проводятся с учетом возможного наличия в конструкции технологических или эксплуатационных трещин. Нарушение целостности конструкции может произойти по многим причинам: неправильный выбор материалов для изготовления конструкции, дефекты изготовления, превышение срока эксплуатации, экстремальные условия окружающей среды и т. д. С учетом перечисленного возникает необходимость в развитии отдельного направления исследований в данной области

знаний, создании оригинальных методов, посвященных анализу конструкций с трещинами различной природы по нескольким показателям. Это связано с тем, что ранее проектирование конструктивных элементов традиционно основывалось на результатах анализа прочности материала. Однако этот подход не подразумевает повышенного уровня напряжения из-за существующей в конструкции трещины, что может привести к неверным результатам.

Работа авторов из Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения и Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого А. Туманова, В. Туманова, А. Титова и О. Узуна «Computer simulation of the safety of radio electronics production in an emergency situation» [5] посвящена компьютерному моделированию при решении задач обеспечения безопасности производственных процессов при воздействии поражающих факторов чрезвычайных ситуаций на примере организаций радиоэлектронной и приборостроительной промышленности. Организация любого производства связана с налаживанием ряда технологических процессов как основных, так и сопутствующих (обеспечивающих). Одним из важнейших сопутствующих процессов в радиоэлектронной и приборостроительной отраслях является процесс обеспечения безопасности и устойчивости производственной системы. В настоящее время эти процессы выходят на первый план, особенно когда становится актуальным налаживание производства в условиях прогнозируемых аварийных ситуаций. Выпускаемые изделия - радиоэлектронные устройства также должны соответствовать требованиям по термической, радиационной и механической стойкости. Если не учитывать факторы риска выхода из строя устройств и электронных компонентов, то даже небольшое отклонение параметров окружающей среды от нормальных значений приведет к техногенной аварии. Особенно это касается устройств, работающих в условиях ионизирующего излучения, больших перепадов температур и механических воздействий.

В работе [6] «Mathematical modeling of drive transitive process with linear change in control input» авторов Д. Ершова, И. Лукьяненко и Е. Злотникова из Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения и Санкт-Петербургского горного университета рассматриваются динамические параметры переходных процессов в электроприводе технологического оборудования в режиме разгона при изменении управляющего воздействия по линейному закону. Анализ динамической модели позволяет решать дифференциальные уравнения, описывающие три стадии в режиме разгона электропривода. Обсуждаются динамические и статические составляющие ошибок привода в зависимости от его скорости, обусловленной моментом нагрузки, общим моментом инерции привода, коэффициентом жесткости статического параметра и заранее заданным и запрограммированным ускорением.

В работе авторов из Севастопольского государственного университета Д. Моисеева и А. Брюховецкого «Modeling the change detection process state of objects in monitoring data» [7] предложена модель обнаружения аномальных данных, основанная на исследовании однородности образцов. Метод предназначен для решения задачи обнаружения изменений в состоянии потока контролируемых данных с использованием моделей нормального и гамма-распределения на основе критерия непараметрической статистики Спирмена. Приведены результаты исследования значений интенсивности, влияющих на формирование запросов, интенсивность обслуживания приложений, загрузку системы, объем выборок, моменты времени измерения характеристик и уровни значимости изменений состояния объекта управления. Метод может использоваться для управления процессом обнаружения изменений в состояниях ресурсов UMV. В настоящее время процесс быстрого обнаружения аномалий в данных мониторинга критических объектов инфраструктуры является сложной, трудоемкой и трудно формализуемой задачей. Системы обнаружения вторжений являются наиболее эффективной мерой противодействия и наиболее надежным подходом к обеспечению защиты как традиционных, так и специализированных (например, автомобильных) компьютерных сетей.

Во второй работе этих же авторов «Method for detecting vulnerabilities of unmanned vehicle interfaces based on continuous values discretization» [8] предлагается подход, связанный с разработкой методов обеспечения безопасности беспилотных автомобилей в информационной инфраструктуре умного города. Метод основан на дискретизации непрерывных значений характеристик вектора состояния UMV-ресурсов, к которым относятся: канал связи, процессор, память. Для каждого из этих ресурсов предлагается оценить изменение таких характеристик, как степень загрузки ресурса и скорость ее изменения. Предлагаемый метод позволяет построить систему правил принадлежности анализируемых векторов указанным классам и минимизировать количество условий в сгенерированных правилах. Проблема обеспечения информационной безопасности беспилотных транспортных средств, работающих в интеллектуальных сетях транспортной инфраструктуры умного города, не теряет своей актуальности в связи с тем, что современные сети сталкиваются с беспрецедентным спектром компьютерных угроз, которые приводят к нарушению целостности, конфиденциальности и безопасности. доступность ресурсов.

В работе [9] авторов из МИРЭА - Российского технологического университета Т.Е. Смоленцевой, Е.Г. Бергер, И.С. Ганца «Description of the process of information flows formalization in the quality management system of education» рассматриваются информационные потоки, циркулирующие в системе управления качеством обучения (TQM) технических вузов при формулировании управляющих воздействий. Это позволяет детализировать

информационные потоки, формализовать их, а также их взаимосвязь и получить схему с участием разработанной автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений (АИС ППР). Проведен детальный анализ имеющейся информации в рассматриваемой системе, обеспечивающей добычу углеводородов. Это позволило определить наиболее полный набор параметров для первоначального развития АИС ППР. Для каждого элемента определены, в частности, цель, необходимая исходная информация, потребители полученной информации, представление данных и т.п.

Работа [10] авторов из Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения К. Епифанцева, О. Козловой «Research and development of artificial intelligence system for waste identification» рассматриваются возможности использования системы искусственного интеллекта для распознавания бытовых отходов. В статье сделан обзор современных программных продуктов для управления отходами. Авторы подчеркивают возможность разработки серии программных продуктов для управления отходами и развития компетенций в области управления отходами у жителей города Санкт-Петербурга. При решении поставленных задач используется программный продукт ЕСО-365, который также может быть полезен для улучшения экологии не только на региональном уровне. Представлена разработка еще одного программного продукта, позволившего с помощью искусственного интеллекта определять объемные (размерные) характеристики бытовых отходов. Акцент в данном исследовании сделан на программные продукты, используемые не только для распознавания пластика, но и на наиболее опасные с точки зрения экологии светодиодные лампы, аккумуляторы, в том числе литиевые блоки питания и батарейки. Отмечается, что создание представленных в работе фандоматов, увеличение их числа должно спровоцировать повсеместный рост экологического движения, популяризацию проектов раздельного сбора мусора.

В работе [11] авторов И. Сиддикова, Н. Мамасадыковой, О. Раимджановой, Д. Халматова, Х. Мирзаахмедова из Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми и Ташкентского института текстильной и легкой промышленности рассматриваются вопросы синтеза нечеткой системы управления технологическими процессами. Представлен эффективный алгоритм синтеза контроллера нечеткой логики и нечеткой системы автоматического регулирования температурного режима химического реактора, инвариантного к параметрическим и внешним возмущениям. Предлагаемый алгоритм синтеза нечетко-логического пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД)-контроллера прост и позволяет использовать стандартную форму описания лингвистических переменных и минимальный набор правил управления. Синтезированный

контроллер нечеткой логики дает возможность всей системе автоматического управления поддерживать температуру реактора на заданном уровне при наличии внешних возмущений, а также качественно управлять технологическим процессом с широким диапазоном изменения его параметров во времени. Используемые методы теории нечеткой логики и нейронных сетей позволяют оперировать лингвистическими нечеткими высказываниями. Сформированы основы правил логического вывода нечетко-логического регулятора в виде декартова произведения нечетких множеств с функцией принадлежности, имеющей трапециевидную форму. Результаты моделирования нечеткой системы управления показали, что при наличии в системе зашумленного внешнего сигнала и изменения его уровня до 30%, а также изменения параметров объекта управления (усиление и постоянное время) до 25 % (в сторону увеличения и уменьшения) нечеткая система сохраняет свойства устойчивости.

В работе [12] авторов из Ташкентского государственного технического университета, Ташкентского университета информационных технологий (ТУИТ) имени Мухаммада аль-Хорезми, Ташкентского института текстильной и легкой промышленности и Самаркандского филиала ТУИТ И. Сиддикова, Н. Мамасадыковой, Д. Халматова, Н. Кадировой, О. Миржалилова, Г. Примовой «Development of neural network forecasting models of dynamic objects from observed data» рассматриваются вопросы построения прогнозных моделей состояния динамических моделей на основе нейросетевых структур, которые являются мощным математическим аппаратом для аппроксимации различных типов функций и оценки динамики изменения состояний рассматриваемых объектов. Предлагается метод построения прогнозных нейросетевых моделей для наблюдаемых данных реальных объектов с использованием гибридного приложения теории нелинейной динамики и нейросетей. Прогностическая модель нейронной сети, построенная на основе реконструированных фазовых траекторий процесса (аттрактора), позволит выбрать наиболее информативные характеристики, минимизировать архитектуру нейросети и размерность вектора на основе измеренных контролируемых сигналов. На базе разработанных алгоритмов предварительной обработки локальных участков реконструированного аттрактора и выбранного метода машинного обучения предложена схема построения нейросетевой прогнозной модели динамического поведения структурно сложной системы.

Работа [13] авторов из Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова Д. Нефедова, К. Кетовой, И. Русака на тему «Logistic planning for the use of renewable fuels in the energy complex of the region» посвящена решению проблемы логистического планирования при использовании возобновляемых видов топлива в энергетическом комплексе. Используемая технология - производство тепловой энергии из древесных отходов. Лесозаготовительные и деревообрабатывающие предприятия,

являющиеся источником древесных отходов, станции переработки древесных отходов, производящие щепу и топливные пеллеты, а также угольные котельные, вырабатывающие тепловую энергию, рассматриваются как объекты, участвующие в процессе производства тепловой энергии. Структура оптимального размещения участников процесса производства тепловой энергии из древесных отходов построена на примере Удмуртской Республики. В качестве оптимизации выбран экономический критерий минимизации затрат на производство тепла на всех угольных котельных региона с учетом затрат на поставку древесных отходов, а также на производство и поставку щепы и топливных пеллет. При численном решении применялся генетический алгоритм с реальным кодированием, а вычисления распараллеливались. Выяснилось, что в условиях Удмуртской Республики организация заводов по производству топливных пеллет оказалась нецелесообразной. Оптимальный вариант размещения предполагает наличие 6 точек для приготовления щепы. Это дает возможность обеспечить топливом все угольные котельные, расположенные в области. Средняя стоимость производства тепловой энергии на древесном топливе для всех рассматриваемых котельных составила 897 руб./Гкал, что на 76,6% ниже соответствующего показателя для тепловой энергии, полученной из угля.

Работа [14] авторов из МИРЭА – Российского технологического университета Т.Е. Смоленцевой, А.В. Свищёва, Н.В. Катаховой «Designing an algorithm for supporting information generation process optimization» посвящена рассмотрению структурных элементов автоматизированной информационно-справочной системы поддержки принятия решений (AIRDSS) в иерархических многоуровневых сложных организационных системах. Сформулирована задача по обеспечению функционирования AIRDSS. Для ее решения были представлены основные этапы, которые включают вычисление коэффициентов важности для элементов вспомогательной информации (SI) и упорядочивание вариантов на основе предпочтений лица, принимающего решение, с последующим выбором перспективного по полезности варианта. На основе рассмотренной пошаговой схемы авторы предлагают алгоритм формирования оптимальной структуры элементов процедурного компонента AIRDSS для получения SI. Алгоритм имеет ряд преимуществ: простота расчета для различных экспериментов, относительно простая формализация экспертных знаний при представлении их числовыми значениями по степени важности.

Авторами из ИТМО и Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения А.В. Шукаловым, И.О. Жариновым и О.О. Жариновым представлено две работы в сборнике материалов семинара. В работе «Control of parallel computing in a cyber-physical production environment» [15] рассматриваются проблемы функциональной устойчивости производственного объекта Индустрии 4.0. Приведена

структура киберфизической системы, компоненты которой управляются через специализированную сеть. Определены коммуникационные особенности программного управления оборудованием. Регулирование производственных процессов обеспечивается встроенной автоматизацией, поддерживающей инструменты онлайн-моделирования технологических процессов. Управление оборудованием выполняется с использованием оптимизационной модели, реализуемой на параллельных вычислительных системах. Коммуникационные механизмы управления кибер-объектами заимствованы из теории автоматических систем и теории сетей. Совместные расчеты позволяют управлять промышленным оборудованием по сети и настраивать коэффициенты регуляторов, отвечающих за корректное функционирование киберфизических систем. Повышение управляемости киберфизического производства основано на модификации потоков команд и данных, адаптивно изменяющихся под текущие технологические задачи. Многоцелевое управление реализуется через сеть, которая передает целевые регулирующие воздействия на контролируемые объекты. Наличие вычислительной, управляющей и сетевой составляющих обеспечивает функциональную стабильность процессов физической динамики производства, контролируемых программным обеспечением.

Вторая работа [16] «Network communication and identification of the cyber-physical systems» посвящена рассмотрению сетевых коммуникаций и идентификации киберфизических систем на основе элементов теории связи и теории информации, что позволяет определять динамические маршруты передачи данных. Коммутация сети выполняется с помощью системы концентраторов и маршрутизаторов для обеспечения распределенного подключения производственного оборудования на внутреннем и внешнем радиусе. Коммутация сети осуществляется при виртуальном построении системы подключения различных топологий для производственных процессов. Идентификация сети выполняется с помощью ряда физических, логических и информационных атрибутов, которые по своим значениям или свойствам четко соответствуют промышленным устройствам и системе коммутации. Показаны различные варианты адресации устройств и метаданные, которые важны для процедуры сетевой идентификации. Предложены варианты динамической топологии информационной сети, которые представляют операционную среду киберпроизводства с использованием принципов идентификации оборудования для маршрутизации и обработки технологических и управляющих данных.

В работе [17] авторов А.В. Гурьянова, А.Г. Коробейникова, И.О. Жаринова и О.О. Жаринова из Санкт-Петербургского ОКБ «Электроавтоматика», ИТМО (факультет безопасности информационных технологий), Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, выполненной на тему «Edge, fog and cloud

computing in the cyber-physical systems networks» рассматривается параллелизм обработки данных при выполнении технологических задач, что является основой распределенной системы управления, которая используется в киберфизическом производстве (на основе облачных вычислений). Взаимное согласование рабочих и информационных производственных процессов обеспечивается технологией обмена сетевыми сообщениями, поддерживаемой функционально независимыми киберфизическими системами. Для управления очередью сообщений и координации действий промышленного оборудования используются элементы системы связи с функцией обработки потока данных в периферийных и облачных сетевых узлах и клиентских приложениях, размещенных в киберфизических устройствах системы. Собственные процессы управления промышленным оборудованием регулируются с помощью локальной вычислительной платформы. Управление в рамках обобщенной технологической задачи киберфизического производства обеспечивается многопроцессорной вычислительной платформой. Чтобы повысить качество обработки информации, фактически получаемой с помощью киберфизической системы, и ускорить обработку этих данных, выполняются облачные вычисления с задействованием ресурсов функциональных групп оборудования, разделенных в рамках общего информационного поля. Передача компонентов решения технологических задач на внешние элементы сети и реализация облачных вычислений высокой степени параллелизма в рамках производственной инфраструктуры – перспективный подход Индустрии 4.0 для организации взаимодействия современных производственных систем.

Работа [18] автора Д. Петрусевича «Improvement of time series forecasting quality by means of multiple models prediction averaging» из МИРЭА – Российского технологического университета посвящена построению моделей временных рядов. Обычно, требование простоты модели встроено в структуру информационных критериев, и наиболее подходящие модели не всегда являются лучшими с точки зрения значений критериев. Часто есть несколько лучших моделей, которые хорошо подходят для исследуемых временных рядов, и возникает проблема выбора между ними. Как правило, значения информационных критериев позволяют выбирать среди них. Но если нужна лучшая модель по качеству прогнозов, то исследователь может осуществить выбор и тестирование модели вручную. При этом, выбрав несколько моделей, можно построить их комбинацию. Самый простой способ - определить среднее значение их прогнозов и использовать его как комбинированный прогноз. Практические исследования подтверждают, что при таком подходе погрешность прогноза уменьшается. Также можно использовать более сложное построение, чем усреднение прогнозов (например, взвешенное голосование, которое широко используется при решении задач классификации). Но этот подход недостаточно теоретически обоснован. С теоретической точки зрения,

построение доверительных интервалов прогнозов временных рядов также является достаточно сложной задачей. Интервалы, как правило, очень велики даже для моделей с хорошим качеством прогноза с точки зрения средних ошибок прогноза. Таким образом, интервалы прогнозирования используются редко. В данной статье построено несколько моделей временных рядов для индексов заработной платы и доходов (российских макроэкономических временных рядов). Их прогнозы объединяются в один прогноз, и его качество сравнивается с индивидуальными результатами прогнозов. Трансформация дисперсии прогноза и интервалов прогноза в случае простых (скользящие средние $MA(q)$ и авторегрессии $AR(p)$ низкого порядка) моделей также рассматривается, но это направление является частью дальнейшей работы.

В работе [19] автора К. Мухамадиевой из Бухарского инженерно-технологического института на тему «Fuzzy artificial neural network for prediction and management tasks» рассматривается задача прогнозирования параметров при построении систем прогнозирования и управления. Изучаются и анализируются существующие решения по использованию нечетких нейронных сетей. Предлагается структура полностью связанной нечеткой искусственной нейронной сети без слоя нечетких правил, соответствующая «классическому» многослойному персептрону. Различные структуры предлагаемой нечеткой искусственной нейронной сети протестированы на время обучения и среднеквадратичную ошибку при прогнозировании производительности угольной компании. Результаты позволяют выбрать количество нейронов в скрытых слоях в зависимости от желаемой точности предсказания выходного параметра.

В работе авторов Я.И. Шамлицкого, Д.В. Роговой, А.С. Поляковой, А.А. Попова и Л.В. Липинского «Models of analysis and forecasting of the traffic situation» [20] из Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева обсуждаются результаты анализа методов и моделей прогнозирования безопасности дорожного движения. Проблема создания математических моделей и программного обеспечения для описания и анализа транспортных процессов на сегодняшний день весьма актуальна. Исследованы и дан анализ дорожно-транспортных происшествий, установлены причинно-следственные связи дорожного движения и условий возникновения проблемных ситуаций. Решается задача разработки методологии прогнозирования и предотвращения дорожно-транспортных происшествий с целью снижения их количества. Приведен пример имитационной модели, описывающей маршрутную сеть города. Компьютерный эксперимент позволил отследить загруженность участков дорожной сети. Представленная работа направлена на повышение качества транспортной системы города за счет снижения вероятности аварий и исключения простоев маршрутных транспортных средств из-за заторов

и пробок, а также способствует своевременной доставке пассажиров в заданное место назначения. С помощью разработанной модели можно изучить узкие места транспортных услуг, оценить дорожную обстановку, снизить напряженность и количество аварий на дорогах, улучшить экологическую обстановку и определить дальнейшие направления развития и совершенствования предложенного подхода.

Работа [21] авторов Д.Р. Калугина, Ю.А. Леонова, Р.А. Филиппова, Л.Б. Филипповой «Development of an information and analytical system for modeling the demographic situation in the Russian Federation» из Брянского государственного технического университета посвящена изучению показателей демографической статистики по субъектам Российской Федерации. В статье описывается актуальность данного исследования, а также преимущества и недостатки аналогичных программных решений: ИАС «Демография», витрины данных Росстата, автоматизированной ИС «Муниципальный регистр населения». Функциональная схема разработанной ИАС представлена как в виде единого функционального блока, так и в виде его декомпозиции на пять модулей, отвечающих за сбор аналитических данных, взаимодействие с базой данных, выявление корреляций, прогнозирование будущих показателей и визуализацию данных. На основании полученных данных можно проводить экстраполяцию, интерполяцию и регрессионный анализ данных. Авторы представили блок-схему алгоритма прогнозирования демографической статистики. Данный алгоритм используется для расчета прогноза демографической ситуации в Российской Федерации на основе информации, имеющейся в базе данных, с учетом пользовательских настроек. Рассмотрены функциональные возможности разработанной информационной системы. В качестве базы исследования авторы используют данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат). Методы DataMining были использованы в качестве теоретической основы для разработки алгоритма прогнозирования. Разработанная информационная система предоставляет аналитику инструменты для анализа динамики, тенденций развития и определения взаимосвязи демографических показателей, а также построения прогноза их развития на ближайшие годы.

В работе [22] авторов из Самарского государственного технического университета А.В. Ненашева, А.Ю. Толстенко и Р.С. Олешко «Model of the peer-to-peer distributed system for securable information storage and processing without traffic prioritization (TheOoL project)» рассматривается математическая модель «Одноранговая распределенная система для защищенного хранения и обработки информации в корпоративных сетях». Это универсальная распределенная система, предназначенная для защиты распределенных вычислений и изоляции частных сетей без ограничения возможностей эффективного взаимодействия, криптографической безопасности, защиты от несанкционированного доступа с применением

биометрии и инновационного протокола обмена данными для управления топологией на основе по технологии распределенного реестра. Моделирование проводилось с целью оценки производительности системы в зависимости от производительности аппаратного обеспечения ее узлов и телекоммуникационного оборудования сети.

В работе [23] авторов Аmani Аль-Хусейн и В.Л. Стефанюк «The quantitative comparison between the integer splitting cipher and the traditional gamma cipher» из Российского университета дружбы народов, Института проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН (ИППИ РАН) рассматривается шифр символьного целочисленного расщепления - это специальный математический метод, предложенный авторами, и его можно рассматривать как обобщение модульной арифметической операции. В этом шифре каждый текстовый символ представлен как целое число в соответствии с выбранной кодовой таблицей, после чего это целое число заменяется на основе другого числа последовательностью из k целых чисел (уровень k -разделения). Это исследование проводится с точки зрения возможной хакерской атаки. В статье доказаны две леммы, связанные с несанкционированным доступом к каналу передачи информации; первая лемма связана с вероятностным анализом несанкционированного восстановления открытого текста на основе гамма-шифра, а вторая лемма связана с вероятностным анализом несанкционированного восстановления открытого текста, обработанного криптосистемой с целочисленным разделением. После этого проводится количественное сравнение на основе этих двух лемм. В результате представленного исследования был сделан вывод о том, что эффективность расщепляющей криптосистемы существенно превосходит традиционный гамма-шифр, а также увеличение уровня расщепления приводит к большей защите информации и большему уровню безопасности.

Работа [24] авторов А. Брюховецкого, В. Миряновой, Д. Моисеева «Research of the model for detecting UTM interfaces vulnerabilities based on information criterion» из Севастопольского государственного университета рассматривает подход, связанный с разработкой методов обеспечения компьютерной безопасности беспилотных автомобилей (UTM). Подход основан на статистической оценке расстояния между распределениями вероятностей случайной величины. В качестве критерия оценки предлагается информационный критерий Дженсена-Шеннона, который обеспечивает симметричную версию дивергенции Кульбака-Лейблера. Обнаружение уязвимости выполняется на основе обработки значений состояния ресурсов UTM. Особенности мониторинга состояния UTM порождают новые проблемы, характеризующиеся потоками данных с переменной интенсивностью, неоднородными информационными потоками в условиях отсутствия априорной информации и зашумленных данных. При решении этой задачи возникают

проблемы обработки больших данных: высокая вычислительная сложность из-за обработки больших объемов данных; высокая динамика контролируемых объектов; нестационарная информационная ситуация состояния объектов и окружающей среды; обеспечение высокой скорости обработки запросов; предоставление метрик информационных ресурсов в реальном времени.

В работе [25] авторов И.В. Ковалева, В.В. Лосева, М.В. Сарамуда, П.А. Кузнецова, А.С. Лифарь из Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Сибирского федерального университета, Красноярского государственного аграрного университета и China Aviation Industry General Aircraft Zhejiang Institute на тему «Formalization of the software module development using matrix forms» рассматривается формализованный подход к разработке многопользовательской системы обмена документами на основе матричной формы представления данных. В качестве базового процесса представлена многоэтапная разработка модульного программного обеспечения несколькими участниками. Представлена алгоритмическая реализация информационных потоков в контексте разработки программного обеспечения. Модель жизненного цикла документа описывается с помощью диаграмм UML. Рассматриваемый алгоритм содержит иерархическую структуру документооборота с подчинением одних документов другим. В соответствии с документооборотом рассматривается модель взаимодействия участников процесса разработки программного обеспечения. Модель административного документооборота включает в себя следующие роли: менеджер по разработке продукта; представитель заказчика; разработчик; тестер. Представленные матрицы полностью описывают график рассматриваемого документооборота. Таким образом, формализованный подход, основанный на матричной форме представления, может быть использован в качестве входных данных для алгоритмизации многопользовательских систем при решении задач модульного проектирования программного обеспечения.

Работа [26] авторов Д. Моисеева и В. Миряновой «Models of the threat of virus idea dissemination in information-telecommunication networks» из Севастопольского государственного университета посвящена решению проблем, связанных с распространением вирусов. Рассматривается область исследования процессов реинтеграции постконфликтных обществ. Как известно, информационные и телекоммуникационные сети в настоящее время включают в себя всевозможные средства переключения абонентов, наиболее распространенными и популярными являются социальные сети, которые по сути предоставляют практически полный набор возможностей для обмена мультимедийной информацией между пользователями. Очевидно, что многие информационные сети «мгновенно воспринимаются активными участниками социальных сетей». Эффективная

защита абонентов от угрозы распространения идеи вируса - серьезная проблема, особенно для развития и реинтеграции постконфликтных обществ, поскольку современный Интернет дает не только мобилизационные и технологические возможности, но и оказывает информационное и психологическое воздействие на индивидуальное и массовое сознание. В свою очередь, идею вируса следует понимать как некое информационное сообщение, которое часто «подбрасывается» СМИ и моментально улавливается активной частью подписчиков социальных сетей.

Работа [27] авторов из Сибирского федерального университета, Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева С. Зиннер, В. Иваненко, В. Тынченко, П. Волежанина, А. Сташкевича «Using machine learning methods in problems with large amounts of data» исследует использование искусственного интеллекта в медицине, в частности в радиологии, разработке лекарственных средств. Раскрыта полезность роботов-помощников в медицине. Рассмотрены вопросы машинного обучения в медицине, а также задачи маршрутизации в больницах. Также обсуждаются такие методы машинного обучения, как методы классификации, методы восстановления регрессии, методы кластеризации. Делается вывод о том, что ручная обработка становится более сложной и невозможна при больших объемах данных. Возникает потребность в автоматической обработке, которая может трансформировать современную медицину. Авторами сделаны выводы о том, насколько точно механизмы глубокого обучения могут обеспечить более точный результат обработки и классификации радиологических изображений по сравнению с результатами, полученными медицинскими специалистами и экспертами. Стало ясно, что глубокое обучение не только помогает в выборе и извлечении характеристик радиологических изображений, но также имеет потенциал для измерения прогнозных целевых аудиторий и предоставления упреждающих прогнозов, чтобы помочь клиницистам ускорить их повседневную деятельность.

В работе [28] авторов Б. Шакирова, Л. Хайруллиной, Л. Мингайлиевой, В. Бронской, Г. Хабибуллиной, Е. Фадеевой, О. Харитоновой «Using emotional evaluation of text in a foreign language learning app» из Казанского федерального университета и Казанского национального исследовательского технологического университета рассматривается современный уровень развития компьютерной лингвистики, который характеризуется вовлечением все более сложных уровней лингвистического анализа в область автоматического анализа, использованием гибридных подходов к решению задач компьютерной обработки текстов, сочетающих машинное обучение и алгоритмические методы. В то же время уровни сложности современных задач обработки текста, такие как извлечение временной привязки в тексте, анализ структуры дискурса и многие другие, требуют активного привлечения экспертных

лингвистических знаний. В настоящее время изучение иностранного языка является целью очень большого количества людей. Существует множество инструментов, методов и приемов саморазвития при освоении иностранного языка, что позволяет значительно повысить эффективность обучения. В настоящее время сентимент-анализ используется в системах мониторинга, аналитики и сигнализации, а также в системах документооборота и рекламы. При этом эта технология практически не используется в системах обучения иностранным языкам, хотя имеет огромный нереализованный потенциал. Практически все существующие на данный момент приложения для изучения иностранных языков не используют возможность анализа тональности текста. Овладение эмоциональной лексикой языка - сложная задача для ученика, и этому аспекту следует уделять особое внимание. Представленная статья посвящена описанию разработанного авторами веб-приложения для изучения немецкого языка, которое основано на использовании метода анализа тональности речи. Данное решение можно распространить и на другие иностранные языки.

Работа С. Васильева «Classification of methods of moving the scanning sensor of a mechatronic profiler along the trajectories of plane curves» [29] из Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова и Нижегородского государственного университета рассматривает актуальные вопросы использования анализа плоских кривых для классификации способов перемещения сканирующего датчика мехатронного профилометра. Основная цель исследования - определение возможности классификации способов перемещения сканирующего датчика мехатронного профилометра по траекториям плоских кривых по характеристикам, полученным при анализе этих плоских кривых. Согласно спиральной кривой Архимеда, большое количество сгустков точек будет сосредоточено в центральной части исследуемой области, что в целом делает исследование весьма трудоемким. Для детального изучения поверхности необходимо задать оптимальную траекторию движения датчика профилометра по рассчитанной плоской кривой. Выяснилось, что использование траектории движения датчика по спирали Ферма более перспективно, так как количество сканируемых точек в центре меньше и будет пропорционально количеству точек на элементарных участках, равномерно распределенных на исследуемой площади. Классификация способов перемещения сканирующего датчика мехатронного профилометра произведена на основе результатов, полученных при исследовании траекторий плоских кривых.

3. Заключение

Статьи по материалам докладов, представленных на семинаре, соответствуют тематике научной программы, отражают новые научно-практические результаты, полученные авторами

в области информационных технологий, математического моделирования и интеллектуальных систем.

Все докладчики пленарной сессии и авторы видео-докладов, представленных на семинаре, отмечены дипломами оргкомитета MIP: Computing-2021. Участники, представившие Е-презентации по материалам докладов с размещением их на сайте семинара, получили сертификаты об участии в работе MIP: Computing-2021.

Партнером семинара выступил центральноевропейский сервис научных публикации с открытым доступом CEUR-WS.org на Sun SITE Central Europe, работающий под эгидой технического университета в г. Аахене, Германия (RWTH Aachen University). Материалы семинара MIP: Computing-2021 в виде статей на английском языке опубликованы в CEUR Workshop Proceedings, том 2899 [1-29].

Список литературы

- [1] Kovalev, I. III International workshop on modeling, information processing and computing (MIP: Computing-2021): Preface. / I. Kovalev, E. Semenkin // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 0-1.
- [2] Platonov, A.A. Development of a methodology for cost optimization of software testing for the automatically tests generation / A.A. Platonov, N.A. Mamedova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 1-8. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-1-8>.
- [3] Ivanova, A. Development and study of the model for epidemic spread. / A. Ivanova, A. Sazonova, A. Kuzmenko, L. Filippova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P 9-16. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-9-16>.
- [4] Kulakov, P. The assessment of impact of the crack size on the fracture load of a cylindrical element / P. Kulakov, B. Kutlubulatov, A. Rubtsov, Z. Mukhametzyanov, V. Afanasenko // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 17-24. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-17-24>.
- [5] Tumanov, A. Computer simulation of the safety or radio electronics production an emergency situation / A. Tumanov, V. Tumanov, A. Titov, O. Uzun // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 25-30. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-25-30>.
- [6] Ershov, D. Mathematical modeling of drive transitive process with linear change in control input / D. Ershov, I. Lukjanenko, E. Zlotnikov // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 31-35. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-31-35>.
- [7] Byukhovetskiy, A. Modeling the change detection process state of objects in monitoring data / A. Byukhovetskiy, D. Moiseev // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 36-42. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-36-42>.

- [8] Moiseev, D. Method for detecting vulnerabilities of unmanned vehicle interfaces based on continuous values discretization / D. Moiseev, A. Bryukhovetskiy // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 43-47. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-43-47>.
- [9] Smolentseva, T. E. Description of the process of information flows formalization in the quality management system of education / T. E. Smolentseva, E.G. Berger, I.S. Gantz // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 48-53. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-48-53>.
- [10] Epifantsev, K., Research and development of artificial intelligence system for waste indification / K. Epifantsev, O. Kozlova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 54-63. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-54-63>.
- [11] Siddikov, I. Algorithms for synthesis of a fuzzy control system chemical reactor temperature / I. Siddikov, N. Mamasodikova, O. Rayimdjanova, D. Khalmatov, X. Mirzaaxmedova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 64-70. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-64-70>.
- [12] Siddikov, I. Development of neural network forecasting models of dynamic objects from observed data / I. Siddikov, N. Mamasodikova, D. Khalmatov, N. Kadirova, O. Mirjalilov, G. Primova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 71-77. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-71-77>.
- [13] Nefedov, D. Logistic planning for the use of renewable fuels in the energy complex of the region / D. Nefedov, K. Ketova, I. Rusyak // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 78-84. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-78-84>.
- [14] Smolentseva, T.E. Designing an algorithm for supporting information generation process optimization / T.E. Smolentseva, A.V. Svishchev, N.V. Katakhova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 85-92. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-85-92>.
- [15] Shukalov, A.V. Control of parallel computing in a cyber-physical production environment / A.V. Shukalov, I.O. Zharinov, O.O. Zharinov // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 93-97. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-93-97>.
- [16] Shukalov, A.V. Network communication and identification of the cyber-physical systems / A.V. Shukalov, I.O. Zharinov, O.O. Zharinov // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 98-102. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-98-102>.
- [17] Gurjanov, A.V. Edge, fog and cloud computing in the cyber-physical systems networks / A.V. Gurjanov, A.G. Korobeynikov, I.O. Zharinov, O.O. Zharinov // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 103-108. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021->

2899-103-108.

- [18] Petrusevich, D.A. Improvement of time series forecasting quality by means of multiple models prediction averaging / D.A. Petrusevich // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 109-117. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-109-117>.
- [19] Mukhamadieva, K. Fuzzy artificial neural network for prediction and management tasks / K. Mukhamadieva // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 118-124. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-118-124>.
- [20] Shamlitskiy, Y. Models of analysis and forecasting of the traffic situation / Y. Shamlitskiy, D. Rogova, A. Polyakova, A. Popov, L. Lipinskiy // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – Pp 125-132. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-125-132>.
- [21] Kalugin, D. Development of an information and analytical system for modeling the demographic situation in the Russian Federation / D. Kalugin, Y. Leonov, R. Filippov, L. Filippova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 133-140. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-133-140>.
- [22] Nenashev, A.V. Model of the peer-to-peer distributed system for securable information storage and processing without traffic prioritization (THEOOL project) / A.V. Nenashev, A.Y. Tolstenko, R.S. Oleshko // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 141-150. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-141-150>.
- [23] Alhussain, A. The quantitative comparison between the integer splitting cipher and the traditional gamma cipher / A. Alhussain, V. Stefanuk // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 151-161. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-151-161>.
- [24] Bryukhovetskiy, A. Research of the model for detecting UTM interfaces vulnerabilities based on information criterion / A. Bryukhovetskiy, V. Miryanova, D. Moiseev // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 162-168. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-162-168>.
- [25] Kovalev, I.V. Formalization of the software module development using matrix forms / I.V. Kovalev, V.V. Losev, M.V. Saramud, P.A. Kuznetsov, A.S. Lifar // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 169-174. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-169-174>.
- [26] Moiseev, D. Models of the threat of virus idea dissemination in information-telecommunication networks / D. Moiseev, V. Miryanova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 175-180. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-175-180>.
- [27] Zinner, S. Using machine learning methods in problems with large amounts of data / S. Zinner, V. Ivanenko, V. Tynchenko, P. Volegzhanin, A. Stashkevich // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 181-187. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-181-187>.

181-187.

- [28] Shakirov, B. Using emotional evaluation of text in a foreign language learning app / B. Shakirov, L. Khairullina, L. Mingalieva, V. Bronskaya, G. Khabibullina, E. Fadeeva, O. Kharitonova // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 188-195. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-188-195>.
- [29] Vasiliev, S. Classification of methods of moving the scanning sensor of a mechatronic profiler along the trajectories of plane curves / S. Vasiliev // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – № 2899. – P. 196-202. <https://doi.org/10.47813/dnit-mip3/2021-2899-196-202>.

Method and tools for verification of cross-platform onboard software

I.V. Kovalev^{1, 2, 3, 4, *}, M.V. Saramud^{1, 3}, V.V. Losev³, A.A. Koltashev⁵

¹ Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

² Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, Mira pr., Krasnoyarsk, 660049, Russia

³ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russia

⁴ Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 61, Uritskogo street, Krasnoyarsk, 660049, Russia

⁵ JSC "Academician M F Reshetnev Information satellite systems", 52 Lenin street, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia

*E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

Abstract. The developed method and tools for verification and confirmation of onboard software are presented, which guarantee its compliance with all established functional and non-functional requirements throughout the entire life cycle of cross-platform onboard software. This approach allows not only to increase the fault tolerance of the control system software during operation, but also allows collecting statistics on the operation of software components in the process of real functioning of all subsystems. This information allows you to identify possible situations in which software failures appear, which allows you to develop more reliable software components in the future. The results of the operation of the version control function of the onboard software in the simulation environment are presented. The process of collecting statistics for identifying faulty versions is described.

Keywords: verification, onboard software, cross-platform, simulation environment

Метод и инструментарий верификации кроссплатформенного бортового программного обеспечения

И.В. Ковалев^{1, 2, 3, 4, *}, М.В. Сарамуд^{1, 3}, В.В. Лосев³, А.А. Колташев⁵

¹ Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

² Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия

³ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037, Россия

⁴ Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, ул. Урицкого, 61, Красноярск, 660049, Россия

⁵ ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева», ул. Ленина, 52, Железногорск, Красноярский край, 662972, Россия

*E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

Abstract. Представлен разработанный метод и инструментарий верификации и подтверждения бортового программного обеспечения, гарантирующие его соответствие всем установленным функциональным и нефункциональным требованиям в течение всего цикла жизни кроссплатформенного бортового программного обеспечения. Данный подход позволяет не только повысить отказоустойчивость программного обеспечения системы управления в процессе эксплуатации, но также позволяет собрать статистику работы программных компонент в процессе реального функционирования всех подсистем. Эта информация позволяет выявить возможные ситуации, при которых проявляются программные сбои, что позволяет разрабатывать более надежные программные компоненты в дальнейшем. Представлены результаты работы функции контроля версий бортового программного обеспечения в имитационной среде моделирования, описан процесс сбора статистики, обеспечивающий выявление сбойных версий.

Ключевые слова: верификация, бортовое программное обеспечение, кроссплатформенность, имитационная среда моделирования.

1. Введение

При реализации бортового программного обеспечения (БПО) критичных по надежности систем управления, работающих в режиме реального времени, в сборку операционной системы (ОС) FreeRTOS, авторами включены отдельные инструменты, ответственные за верификацию программных версий в процессе эксплуатации системы. В данной операционной системе, которая относится к классу ОС реального времени (ОСРВ), это необходимо для своевременного выявления «сбойных» программных компонентов, которые

могут негативно повлиять на работу программного комплекса или привести к сбоям и отказам различных подсистем и системы в целом. Полностью исключить вероятность проявления программных ошибок невозможно, однако инструменты, выявляющие и изолирующие подобные модули позволяют существенно повысить отказоустойчивость системы, даже если она содержит несовершенные программные компоненты.

В случае исключения программных компонентов, которые перестали выполнять свою функцию или удовлетворять нефункциональным требованиям (объем потребляемых ресурсов, оценка надежности и другие показатели, не относящиеся непосредственно к исполняемой функции), система продолжает корректно функционировать.

Случаи же отказов системы по причине того, что сбойный программный компонент некорректно обращается с памятью, перезаписывая данные, исключены архитектурой ОС FreeRTOS [1-7], поскольку программные компоненты, исполняемые в ней, не работают с памятью напрямую, а взаимодействуют через механизм очередей, в котором содержатся решения для обеспечения отказоустойчивой работы.

В сборку также включена функция журналирования (записи статистики), которая выполняется с меньшим приоритетом, чем основные задачи. Соответственно, ей предоставляются ресурсы только при их наличии, когда все основные задачи выполнены. Также имеется возможность передачи управления функции вручную, при необходимости. Таким образом, функция сбора статистики не может помешать исполнению основного функционала системы.

2. Метод верификации

Для реализации метода верификации в функцию статистики включается дополнительная проверка – не достиг ли вес любой версии из пула взвешенного голосования определенного порогового значения. Допустим – ниже 0,5, что означает, что версия за последние M (глубина стека весов версий) голосований в более чем половине случаев дала ответ, отличающийся от верного. В случае обнаружения подобной ситуации, вызывается сервисная функция *checkversion()*, задача которой – «разобраться» с версией, качество работы которой опустилось ниже необходимого уровня.

В случае, если для версии существует приемочный тест, он проводится, результат его исполнения записывается в журнал, после чего поток версии принудительно останавливается, очищается используемая им память. Далее поток версии запускается заново, происходит выделение памяти. Версия проходит приемочное тестирование повторно.

В случае, если версия не проходит приемочное тестирование успешно, она исключается из пула и далее не участвует в голосовании. Если версия успешно проходит приемочное

тестирование, она возвращается в работу, однако в журнал записывается факт сбоя и соответствующие параметры.

В случае повторного падения веса одной и той-же версии она исключается из пула, даже если успешно проходит приемочное тестирование. Информация об этом факте и параметры системы записываются в журнал и, при возможности, передаются администратору, для подробного изучения причины некорректной работы версии. В дальнейшем, после проведения необходимых манипуляций (корректировка самой версии, набора данных или иных параметров системы), имеется возможность вернуть версию в работу принудительно, а также обнулить счетчик ее сбоев.

3. Инструментарий верификации и подтверждения БПО

Журнал, в который записывается вся статистика работы мультиверсионных модулей представляет собой текстовый файл, с заранее определенной структурой. В случае стандартной записи статистики в файл записывается: символ новой строки, ключ, соответствующий стандартной записи, системное время, имя мультиверсионного модуля, количество версий в текущем пуле, значения весов всех версий, служебные параметры.

В случае обнаружения «сбойной» версии [8] происходит запись символа новой строки, соответствующего данному событию ключа, системное время, имя мультиверсионного модуля и имя конкретной версии, в которой произошел сбой. Также записывается результат прохождения приемочного теста до и после перезапуска версии, а также принятое решение – осталась версия в мультиверсионном пуле [9], или исключена.

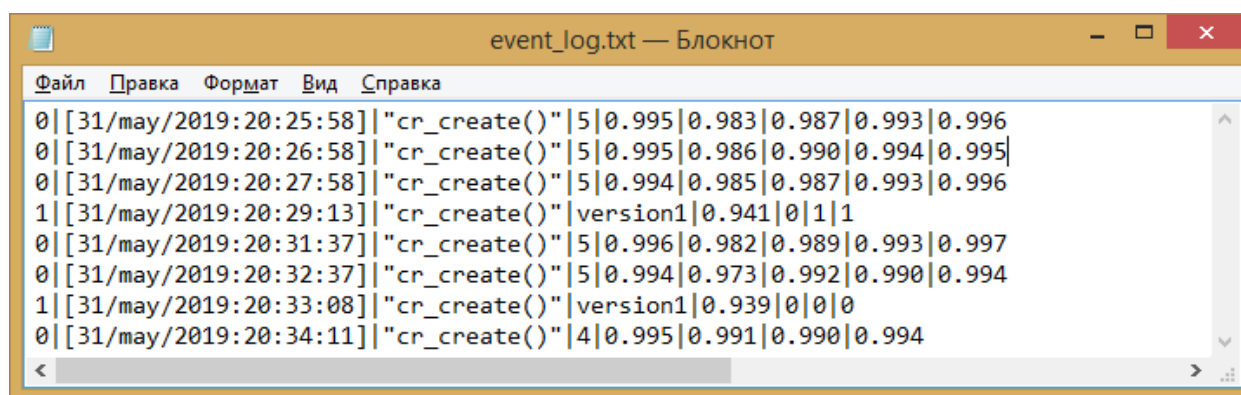


Рисунок 1. Журнал событий.

На рисунке 1 представлен пример журнала событий, записанного функцией статистики. В журнале отображена статистика по 3 голосованиям модуля «cr_create» в штатном режиме, далее выявлено падение веса версии «version1» ниже установленного порога в 0,95, однако она проходит приемочное тестирование и остается в пуле. Далее вес той-же версии снова

падает ниже установленного порога, однако в этот раз она не проходит оба приемочных теста и исключается из пула. Это подтверждается последней записью статистики, в которой видно, что теперь в данном модуле в голосовании участвуют 4 версии, а не 5 как было ранее.

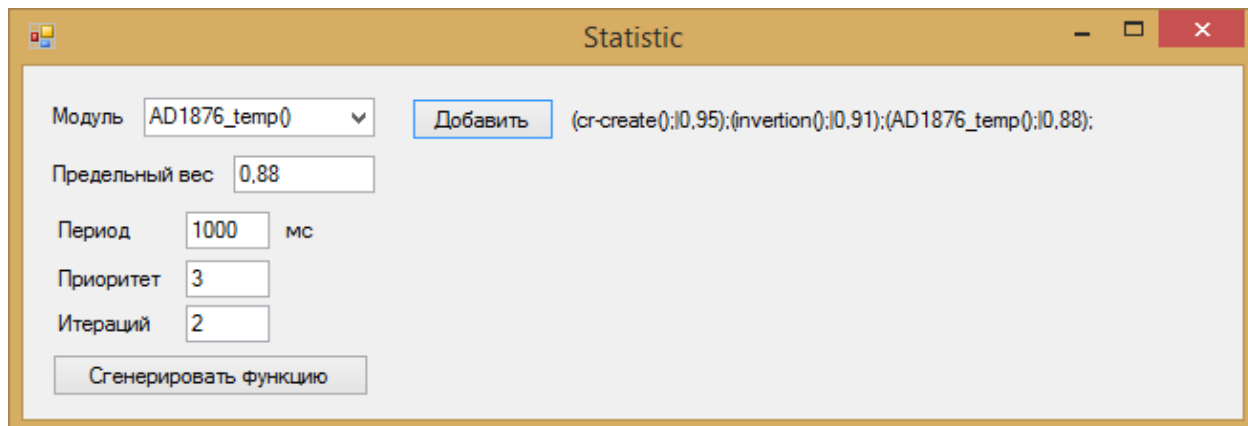


Рисунок 2. Модуль генерации функции статистики.

На рисунке 2 представлен интерфейс модуля интегрированной среды разработки – средство генерации функции статистики. На форме задается период, на который функция переходит в режим ожидания, даже при наличии свободных ресурсов, это необходимо для того, чтобы функция статистики, при наличии большого количества свободных ресурсов системы, не записывала данные слишком часто. Задается приоритет, с которым будет запущен поток функции статистики. Формируется список мультиверсионных модулей, для которых будет собираться статистика и задается предельный вес версий для каждого. В случае, если вес любой из версий опуститься ниже заданного значения, будет вызвана дополнительная функция контроля версий. Если необходим только сбор статистики, без дополнительных действий над версиями, можно задать в качестве предельного веса «0».

Также задается количество итераций - максимальное количество проверок одной и той-же версии, после которой она будет исключена из пула, не смотря на положительный результат приемочного тестирования. Если вес определенной версии падает ниже заданного значения, она перезапускается, проходит приемочное тестирование и, в случае успеха, возвращается в работу. Однако, вес данной версии может снова продолжить падать, и версия будет проверена повторно. Нет смысла выполнять данную процедуру бесконечно, если версия проходит приемочное тестирование, однако в реальной работе продолжает допускать сбои даже после перезапуска, очевидно, что имеет место быть алгоритмическая проблема на текущем потоке входных данных и версию необходимо исключить, временно или окончательно.

На рисунке 3 представлена блок-схема процесса сбора статистики, которая также включает в себя и выявление сбойных версий.

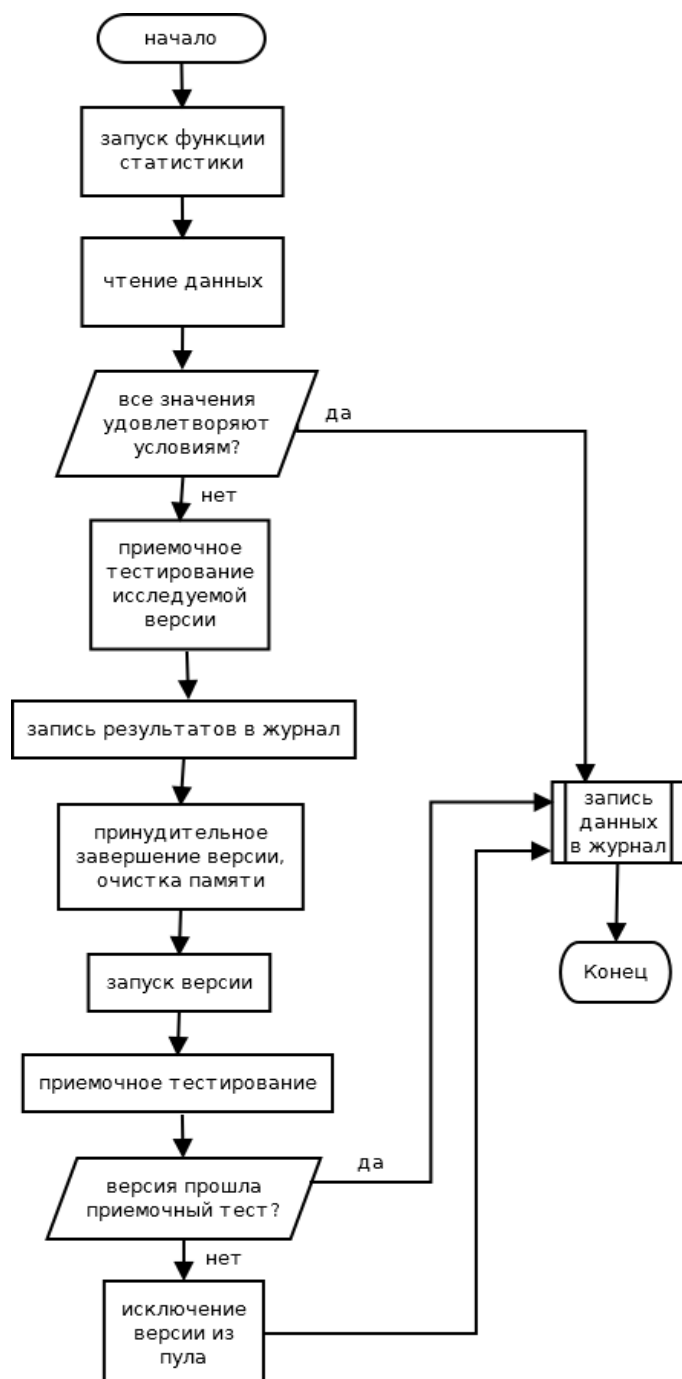


Рисунок 3. Блок-схема функции контроля версий.

Рассмотрим результаты работы функции контроля версий в имитационной среде моделирования, реализованной в рамках данного подхода.

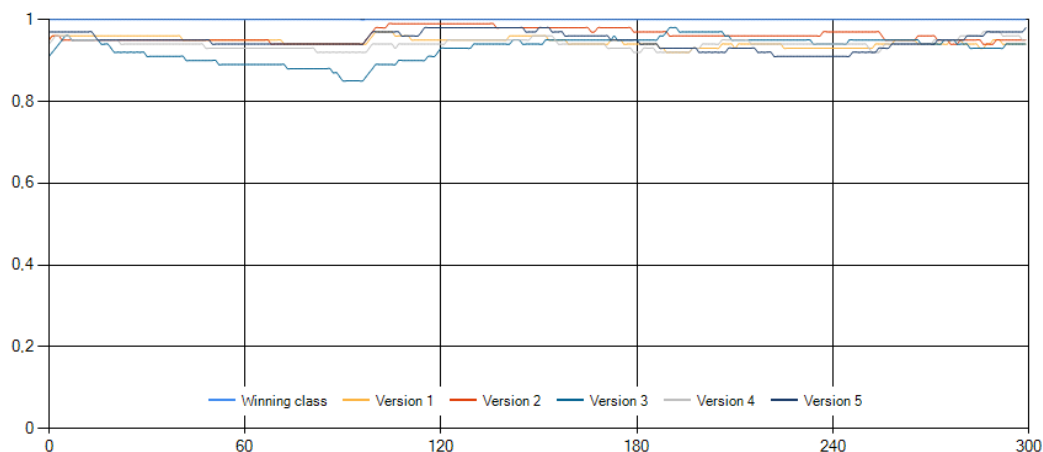


Рисунок 4. Функционирование в нормальных условиях.

На рисунке 4 представлен график зависимости весов версий от номера итерации. Приведен пример 300 итераций для мультиверсионного модуля [10] с 5 версиями на начало симуляции. На графике представлена «нормальная» работа системы, когда в работе всех версий нет нарушений.

Функция контроля версий периодически запускается, проверяет данный факт, пишет значения в журнал, и, поскольку значения весов версий не достигли установленного ограничения (в данной симуляции установлено значение 0,85), функция более не производит никаких активных действий, снова переходит в режим ожидания.

Журнал событий, записанный функцией контроля версий в описанной выше ситуации представлен на рисунке 5.

На рисунке 6 представлен подобный рассмотренному ранее график, но для случая падения надежности одной из версий. На графике видно, что на 140-й итерации вес первой версии достиг установленного порога. В данном случае представлена ситуация, в которой версия не прошла приемочное тестирование и была исключена из пула. В дальнейшем она уже не принимала участие в мультиверсионном голосовании. Остальные 4 версии продолжили работать в штатном режиме, что является достаточным для осуществления мультиверсионного голосования, следовательно, вся система продолжила корректное функционирование.

На рисунке 7 представлен график весов версий для ситуации, при которой вес первой версии на 170 итерации достигает заданного порога, однако, после перезапуска она проходит приемочное тестирование и возвращается в мультиверсионный пул [11]. Как показывают данные дальнейших итераций – версия после перезапуска восстановила корректную работу, на протяжении всей симуляции ее вес находился в допустимых пределах.

На рисунке 8 представлен график весов версий для ситуации, при которой вес первой версии на 100 итерации достигает заданного порога, однако, после перезапуска она проходит приемочное тестирование и возвращается в мультиверсионный пул. Далее ее вес снова достигает заданного порога на 190 итерации, она снова проходит приемочное тестирование, что записывается в журнал событий, однако все равно исключается из мультиверсионного пула, поскольку это заданное условие работы функции контроля версий (максимальное количество возвратов в пул = 1).

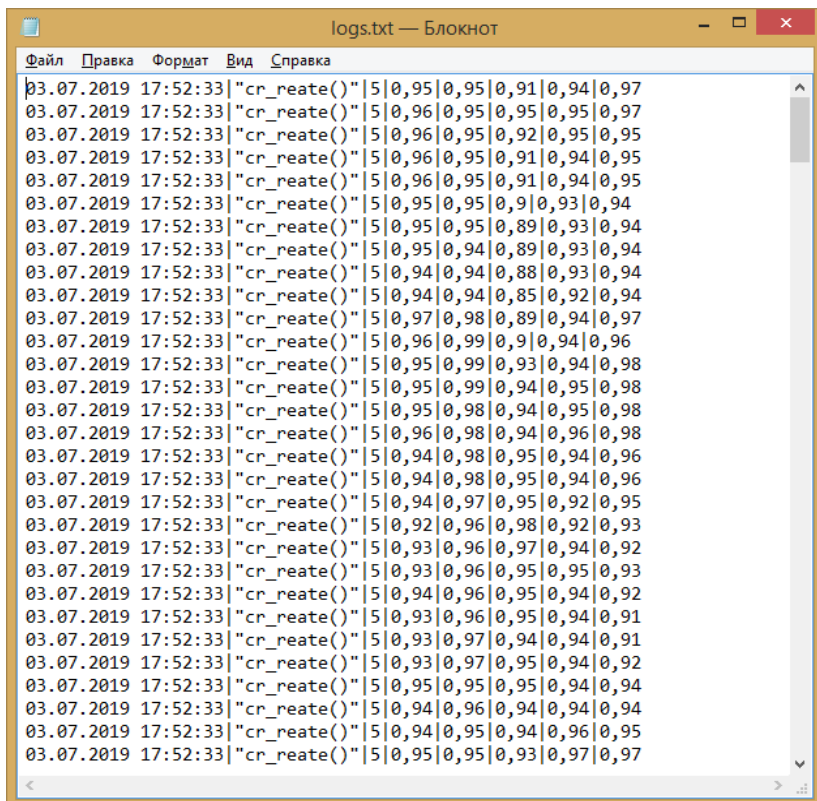


Рисунок 5. Журнал событий при функционировании в нормальных условиях.

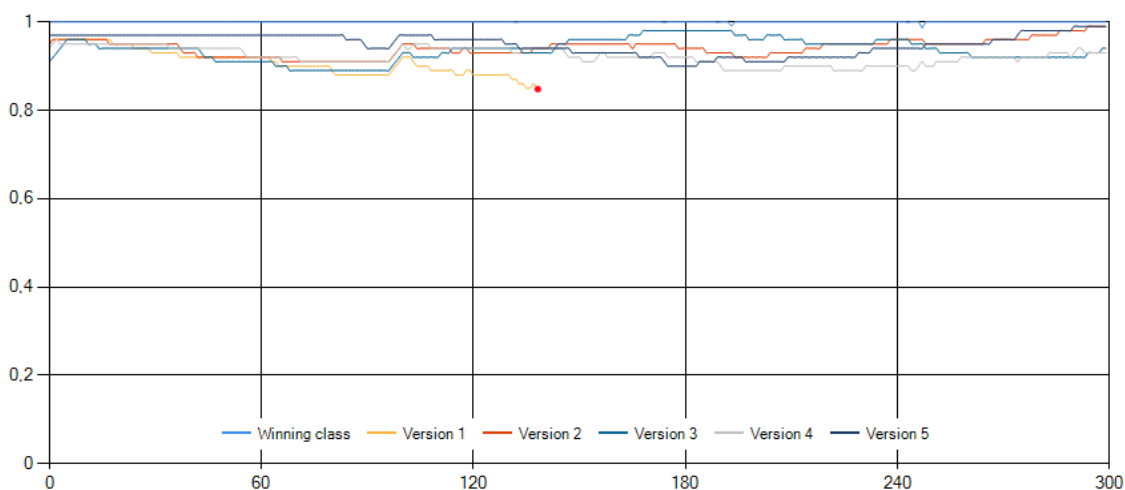


Рисунок 6. Сбой одной версии, версия не прошла приемочное тестирование.

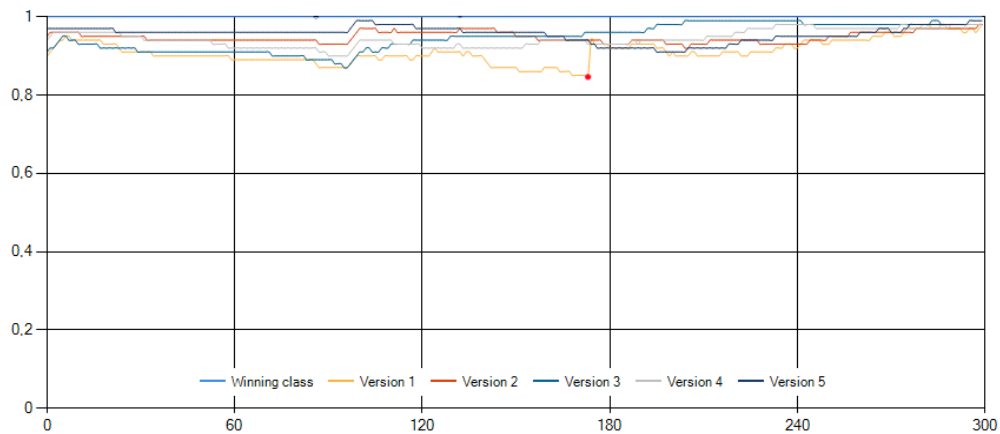


Рисунок 7. Сбой одной версии, версия прошла приемочное тестирование.

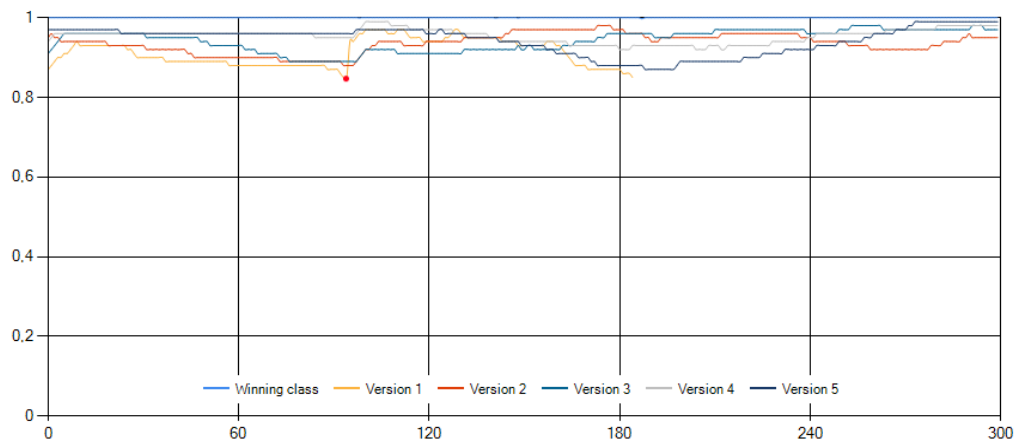


Рисунок 8. Сбой одной версии, версия прошла приемочное тестирование, далее снова вес достиг установленного значения.

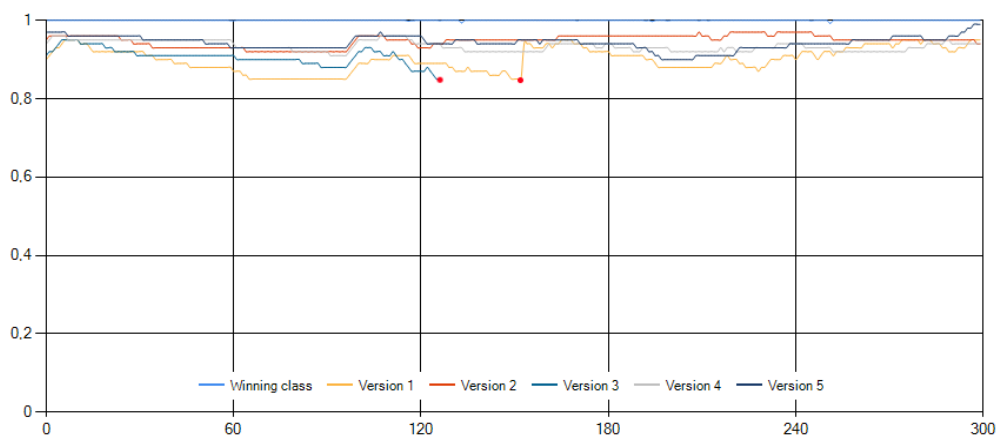


Рисунок 9. Сбой двух версий, первая прошла приемочное тестирование, третья – нет.

На рисунке 9 представлен график весов версий для ситуации, при которой вес третьей версии на 130 итерации достигает заданного порога, она не проходит приемочное тестирование и исключается из мультиверсионного пула. Далее система продолжает работать с 4 версиями. На 150 итерации вес первой версии на достигает заданного порога, однако, после перезапуска она проходит приемочное тестирование и возвращается в мультиверсионный пул. До конца симуляции система продолжает корректно функционировать с 4 версиями.

На рисунке 10 представлено содержание журнала событий для ситуации, описанной выше.

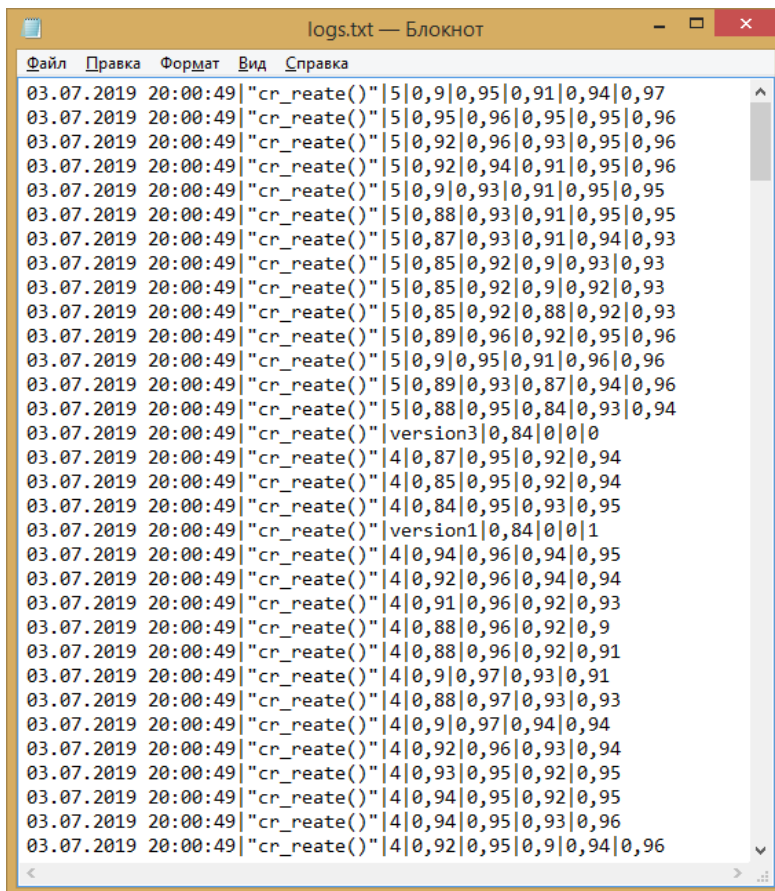


Рисунок 10. Журнал событий при проявлении сбоев двумя версиями.

Предложенный метод верификации и подтверждения БПО позволяет не только повысить отказоустойчивость программного комплекса системы управления в процессе эксплуатации, но также позволяет собрать статистику работы программных компонент в процессе реального функционирования всех подсистем. Эта информация позволяет выявить возможные ситуации, при которых проявляются программные сбои, что позволяет разрабатывать более надежные программные компоненты в дальнейшем.

4. Заключение

Предложенный метод верификации и подтверждения БПО, гарантирующий его соответствие всем установленным функциональным и нефункциональным требованиям в течение всего цикла жизни кроссплатформенного бортового программного обеспечения, реализован в качестве программного средства – функции контроля версий, исполняемой в рамках ОСРВ.

Реализованное средство позволяет получить реальные характеристики программных реализаций модулей в среде исполнения. Важно то, что программное обеспечение является исполняемым в рамках реальной физической реализации системы. Данная информация позволит сделать обоснованные выводы о качестве работы программных компонент в реальных условиях, а также принять решение о возможности дальнейшего их использования в критичных по надёжности системах управления, либо о необходимых модификациях и доработках для достижения требуемых характеристик.

Список литературы

- [1] Курниц, А. FreeRTOS. Взгляд изнутри. Алгоритм работы планировщика. Часть 1 / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2013. – № 5(142). – С. 114-122.
- [2] Курниц, А. FreeRTOS. Взгляд изнутри. Алгоритм работы планировщика. Часть 2 / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2013. – № 6 (143). – С. 89-94.
- [3] Курниц, А. FreeRTOS — операционная система для микроконтроллеров / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2011. – № 2(115). – С. 96-100.
- [4] Курниц, А. FreeRTOS — операционная система для микроконтроллеров / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2011. – № 3(116). – С. 109-114.
- [5] Курниц, А. FreeRTOS — операционная система для микроконтроллеров / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2011. – № 7(120). – С. 23-32.
- [6] Курниц, А. FreeRTOS — операционная система для микроконтроллеров / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2011. – № 10(123). – С. 93-100.
- [7] Курниц, А. FreeRTOS — операционная система для микроконтроллеров / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2011. – № 11(124). – С. 99-108.
- [8] Avizienis, A. The N-Version Approach to Fault - Tolerant Software / A. Avizienis // IEEE Transactions on Software Engineering. – December 1985. – № SE-11. – № 12. – P. 1491-1501.
- [9] Gersting, J.A. Comparison of Voting Algorithms for N-Version Programming / J.A. Gersting // Comparison of Voting Algorithms for N-Version Programming, Proceedings of the 24th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. – 1991. – № II. – P. 253– 262.

Reprinted in Fault-Tolerant Software Systems: Techniques and Applications, Hoang Pham (ed.), IEEE Computer Society Press. – 1992. – P. 62-71.

- [10] Нечаева, К.О. Реализация разнообразия при разработке мультиверсионного программного обеспечения / К.О. Нечаева // В сборнике: Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 321-323.
- [11] Михалев, А.С. Современные технологии реализации мультиверсионного программного обеспечения / А.С. Михалев, А.Н. Исаев, К.А. Носарев // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. – № 12-3. – С. 129-133.

Implementation of monitoring the efficiency of enterprises using a special subsystem of the automated control system

E.V. Tuev^{1,*}, M.F. Kozlova¹, O.I. Olshevskaya²

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

*E-mail: tuev_e@mail.ru

Abstract. The article discusses the implementation of monitoring the efficiency of enterprises using a special subsystem of the automated control system. It is shown that the analysis within the framework of the performance monitoring subsystem in the automated control system can be carried out with the integration of all available types of measurement information, for example, telemetry, command-software, etc. A list of tasks for monitoring the functioning and operability of the monitoring object, as well as predicting the behavior of the controlled object is presented. The unified structure of the enterprise with the parameters of the functioning of its objects is highlighted, which is presented using the mathematical apparatus of the vector representation of the essence of objects. The steps of the algorithm of the performance monitoring subsystem in the automated control system are developed and the features of the application of the developed monitoring subsystem in processing enterprises are presented on the example of processing bauxite, oil and solid household waste.

Keywords: monitoring, efficiency, automated control system, structure, enterprise

Реализация мониторинга эффективности предприятий с помощью специальной подсистемы АСУП

Е. В. Туев^{1,*}, М.Ф. Козлова¹, О. И. Ольшевская²

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Российская Федерация, г. Красноярск

² Сибирский федеральный университет, Российская Федерация, г. Красноярск

*E-mail: tuev_e@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается реализация мониторинга эффективности предприятий с помощью специальной подсистемы АСУП. Показано, что анализ в рамках подсистемы мониторинга эффективности в АСУП может проводиться при интеграции всех имеющихся видов измерительной информации, например, телеметрической, командно-программной и т.д. Представлен перечень задач контроля функционирования и работоспособности объекта мониторинга, а также прогнозирования поведения объекта управления. Выделена унифицированная структура предприятия с параметрами функционирования его объектов, которая представлена с помощью математического аппарата векторного представления сущности объектов. Разработаны шаги алгоритма работы подсистемы мониторинга эффективности в АСУП и представлены особенности применения разработанной подсистемы мониторинга в перерабатывающих предприятиях на примере переработки бокситов, нефти и твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: мониторинг, эффективность, АСУП, структура, предприятие

1. Введение

В целях анализа, получаемого в рамках мониторинга предприятий в автоматизированных системах управления предприятиями (АСУП), осуществляется отработка методологических подходов и методики обработки входов системы и баз данных, составляются макеты выходных аналитических таблиц, схем и графиков. Разрабатываются алгоритмы расчета каждого показателя выходных аналитических таблиц и определяются основные направления анализа изменений структурных состояний предприятия [1, 2]. Выполняется диагностический анализ. Диагностический анализ – это комплекс исследований, проводимых с целью выявления общих тенденций развития производства и управления, разработки требований и мероприятий по улучшению системы управления предприятием. В результате диагностического анализа формируются следующие документы:

- описание предприятия и его структурной схемы;
- таблица функций предприятия;

- характеристика задач предприятия;
- описание функций подразделений и их структурных схем;
- описание информационных потоков подразделений.

Анализ в рамках подсистемы мониторинга эффективности (ПМЭ) в АСУП может проводиться при интеграции всех имеющихся видов измерительной информации (телеметрической, командно-программной и других) и решать следующий перечень задач [68]:

- контроль функционирования объекта управления при нахождении его как в штатных, так и нештатных ситуациях;
- контроль работоспособности объекта управления при возникновении неисправностей, их диагностирование с указанием места и вида возникшей неисправности;
- прогнозирование поведения объекта управления и при наличии соответствующих исходных данных – предсказание развития как штатных, так и нештатных (аварийных) ситуаций с целью их предупреждения и недопущения.

2. Анализ работы предприятий в подсистеме мониторинга

Выделить во временном промежутке и унифицировать структуру предприятия с параметрами функционирования его объектов представляется возможным с помощью использования математического аппарата векторного представления сущности объектов [2-4]. Поэтому опишем вектор структурного состояния (ВСС), представляющий собой набор объектов производства.

$$S = \{W_1, W_2, \dots, W_\delta, \dots, W_\Psi\}, \quad (1)$$

где S – вектор объектов, учитываемых в АСУП; $\delta = \overline{1, \Psi}$ – индекс, определяющий объект на предприятии; W_δ – вектор состояния объекта, входящего в предприятие.

Рассмотрим подробнее вектор, характеризующий объект W_δ :

$$W_\delta = \{C_1, C_2, \dots, C_b, \dots, C_B\}, \quad (2)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_B$ – определяют параметры состояния объекта, учитываемого в подсистеме мониторинга эффективности АСУП; $b = \overline{1, B}$ – определяет индекс параметра объекта W_δ .

Параметр C_b модели состояний объектов предприятия дает определенную характеристику объекта δ . Вектор состояний W_δ может содержать следующие характеристики: C_1 – работоспособность объекта производственной системы (например, принимать значения 1- активное состояние, 2- заменен на резервный, 0- выведен из строя); C_2 – нагрузка в процентах от максимальной мощности на объект предприятия;

C_3 – причина вывода из строя (например, 1- по технической неисправности, 2- для временного ремонта, 3- для капитального ремонта, 0 – параметр не значим);

C_4 – количество персонала, занятого в обслуживании данного объекта;

Таким образом, вектор W_δ содержит элементы дискретно-числового типа, определяя профильное состояние и численные значения параметров объекта. Поэтому значимость изменения профиля объекта (вектора W_δ) для оценки влияния на эффективность будет зависеть при дискретном свойстве C_b . А при числовом свойстве C_b значимость к тому же определяется и уровнем изменения C_b в определенные пределы, задаваемых исследователями в режиме настройки подсистемы.

С учетом (1) и (2) предлагаются следующие шаги алгоритма работы ПМЭ в АСУП.

1. Подсистема мониторинга получает параметры для расчета эффективности предприятий со всех АСУП, входящих в корпоративную сеть.
2. Подсистема мониторинга собирает информацию о текущем структурном состоянии всех предприятий.
3. Определяется текущее значение эффективности для всех производств анализируемого набора.
4. Через промежуток времени Тизм процедура определения эффективности повторяется.
5. Если анализируемые предприятия в данном наборе принимаются эффективными, то переходим к п.4.
6. Если предприятие в данной выборке не эффективно и нуждается в рекомендациях, подсистема мониторинга считывает дополнительные параметры о состоянии объектов своего предприятия (вектор S).
7. В подсистеме мониторинга анализируются:
 - значения весов, полученных при определении эффективности с помощью методики оценки эффективности (например, DEA или DEA-MEXIN [5]);
 - входные и выходные значения по методике DEA-MEXIN других предприятий;
 - характеристики структурного состояния объектов текущего предприятия.
8. По механизму выдачи рекомендаций определяется источник изменения (снижения) эффективности и выдаются рекомендации по повышению эффективности.
9. Осуществляется переход к п.4.

3. Выдача рекомендаций и корректировка с целью повышения эффективности работы предприятий

После сбора и анализа данных, подсистема мониторинга позволяет не только предоставить руководящим субъектам информацию о работе предприятия, но и выработать ряд рекомендаций по повышению эффективности в ситуации, связанной с изменением эффективности.

Выделим причины изменения показателя эффективности, которыми могут быть:

- Изменения в структуре предприятия, определяются по вектору структурного состояния S подсистемы мониторинга.
- Интеграция в набор анализируемых производств, нового объекта с лучшими, худшими характеристиками при использовании ПМЭ АСУП в динамическом режиме, когда в процессе работы в анализ могут быть добавлены предприятия из данной отрасли.
- Изменения во входных (выходных) характеристиках (по модели DEA), в том числе по причинам п.1 для других производств.

Все многообразие факторов роста эффективности можно классифицировать [6] по двум признакам:

- по источникам повышения эффективности, основными из которых является: снижение трудо-, материало-, фондо- и капиталоемкости производства продукции, рациональное использование природных ресурсов, экономия времени и повышение качества продукции;
- по основным направлениям развития и совершенствования производства, к которым относятся: ускорение научно-технического прогресса, повышение технико-экономического уровня производства; совершенствование структуры, внедрение организационных систем управления; совершенствование форм и методов организации производства, планирования, мотивации трудовой деятельности и другие.

Таким образом, сигналом для анализа структурного состояния текущего производства служит определение показателя эффективности по методике DEA-MEXIN [5]. Когда снижение эффективности приводит к задействованию анализа ВСС неэффективного производства.

Опишем множество ситуаций, изменений вектора структурного состояния и рекомендаций по каждой ситуации в ПМЭ АСУП.

$$\gamma_h(W_\delta, C_1^\delta, \dots, C_b^\delta, \theta_k) \in \gamma_k^m; \quad (3)$$

$$r_k^i \in R_k^m; \quad (4)$$

$$\gamma_h(W_\delta, C_1^\delta, \dots, C_b^\delta, \theta_i) = r_k^i, \quad (5)$$

где γ^{i_h} - ситуация, генерируемая изменением вектора структурного состояния; k – номер ситуации, связанной с объектом W_δ предприятия, на котором она произошла, с параметрами C_b^δ и уровнями их значений; k – номер предприятия; r_k^i - рекомендация для объекта k -ого предприятия.

Форма ситуации (3) показывает, что произошло изменение на объекте W_δ в параметре C_b^δ , при низменном (текущем) значении θ_k для k – го предприятия. Множества Y_k^m и R_k^m характеризуют множества возможных ситуаций и рекомендаций, соответственно. Причем всегда $R_k^m > Y_k^m$. Необходимо учитывать при использовании ПМЭ, что множество Y_k^m ограничено штатными ситуациями, происходящими на предприятии и фиксируемыми только при снижении эффективности. Множество R_k^m формируется посредством ситуаций и с помощью специалистов (технологов, пользователей и конфигураторов АСУ технологических процессов (АСУТП) и АСУП) на этапе обучения ПМЭ, так как каждое предприятие имеет свои особенности структуры, организации и функционирования, независимо от аналогичности с другими производствами.

Таким образом, тип и особенности ситуации зависят от особенностей и объекта производственной системы, на котором произошло изменение структурного состояния. При анализе и предварительном формировании рекомендаций необходимо задавать степени значимости изменений определенного структурного состояния предприятий на показатель эффективности в ПМЭ АСУП, за счет сравнения степени изменения ВСС и степени изменения показателя эффективности предприятия при прочих равных условиях.

Рассмотрим базис выдачи рекомендаций в подсистеме мониторинга.

1. Подсистема мониторинга находится в режиме выдачи рекомендаций, это означает, что проведен ряд мероприятий по сбору, обработке, анализу данных с АСУ производства и АСУТП.
2. На основе измененного ВСС формируется набор ситуаций (3).
3. Каждая ситуация в зависимости от формирующих ее факторов соотносится своей рекомендации из множества рекомендаций (4). Набор рекомендаций формируется на этапе обучения системы, поэтому в данном режиме подсистема мониторинга предлагает общую информацию о состоянии технологического процесса и производства. После обучения образуется множество ситуаций из (5), имеющих рекомендации и множество внештатных ситуаций γ^{in} , имеющих более ограниченный набор рекомендаций (например, обратиться к диспетчеру и выслать ремонтно-наладочный наряд на объект).
4. Применяя рекомендации, предпринимается ряд шагов по реконфигурации связей и объектов предприятия, для восстановления показателя эффективности. Такими шагами по рекомендациям могут быть, например.
 - довести характеристику состояния до характеристики C_b аналогичного объекта эффективно работающего предприятия, за счет повышения качества технического обслуживания (привлечения дополнительного персонала);

- произвести наладочный капитальный ремонт, с целью устранения неисправностей и модернизации объекта;
- предложить в ближайшем будущем заменить объект на более современный и менее затратный по своим характеристикам.

5. После применения рекомендаций, в следующем периоде замерить показатель эффективности повторно, с целью оценить, насколько повысилась эффективность текущего предприятия, либо произошло снижение эффективности за счет привлечения дополнительных ресурсов, применяя рекомендации подсистемы мониторинга. В первом случае мониторинг продолжается в штатном режиме, во втором - подсистема мониторинга запрашивает повторный анализ применяемых рекомендаций с целью их корректировки и уточнения.

4. Особенности применения разработанной подсистемы мониторинга в перерабатывающих предприятиях

Применение подсистемы мониторинга эффективности в АСУП имеет ряд особенностей связанных с оценкой перерабатывающих предприятий. Важным существенным отличием перерабатывающих предприятий, на которых используется ПМЭ АСУП, является многокомпонентный состав сырья. Типами многокомпонентного сырья являются комплексные соединения, добываемые из недр Земли [7, 8]; твердые бытовые отходы, состав которых зависит от степени потребления населением разных типов продуктов и некоторых других факторов [9-11].

Еще одну особенность представляет дифференциация типа сырья по комплексному составу компонентов переработки, которые используются в производстве для выпуска продукции. Проблема дифференциации сырья возникает при оценке предприятий, находящихся в разных регионах, и соответственно использующих сырье с отличающимся типом набора компонентов переработки, а также концентрацией этих компонентов в сырье.

Рассмотрим особенности производств, связанных с применением методики DEA-MEXIN, для их оценки, на примере переработки трех видов сырья:

- Переработка бокситов.
- Переработка нефти.
- Переработка твердых бытовых отходов.

В таблицах 1-3 представлены входные и выходные параметры при оценке эффективности соответствующих предприятий.

4.1. Переработка бокситов

Бокситы являются главным сырьем для производства глинозема – продукта для получения алюминия. Бокситы состоят из гидроксидов алюминия, оксидов железа и кремния, содержание глинозёма в промышленных бокситах колеблется от 40 % до 60 % и выше. В результате переработки боксита на глинозем получают побочный продукт – красный шлам, который отводится в отвал. Для хранения откачиваются миллионы тонн шламов ежегодно. Красные шламы являются техногенными отходами и несут серьезную экологическую угрозу. При переработке высокожелезистых бокситов существует возможность комплексного использования сырья [7]. В зависимости от природы порообразующего минерала выделяются 3 группы бокситов: а) моногидратные, содержащие глинозём в одноводной форме (диаспор, бемит), б) тригидратные, содержащие глинозём в трёхводной форме (гиббсит) и в) смешанные, в которых сочетаются обе формы.

Содержание оксида железа, а также других веществ влияет на возможности выработки алюминиевого глинозема, а также на отходы производства. Продукты переработки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Продукты переработки бокситов.

Вход	Выходы
Бокситы	глинозем
	карбонатные щелочи
	нефелиновый шлам
	галлиевый раствор

В результате анализа по методике DEA-MEXIN получаем техническую эффективность производств по выпуску полезных компонентов исключая красный шлам [10].

4.2. Переработка нефти

Нефть - природная маслянистая горючая жидкость, состоящая из сложной смеси углеводородов и некоторых органических соединений. Состоит из углеводородов (алканов, циклоалканов, аренов — ароматических углеводородов — и их гибридов) и соединений, содержащих, помимо углерода и водорода, гетероатомы — кислород, серу и азот. Соединения сырой нефти – это сложные вещества, состоящие из пяти элементов – С, Н, S, О и N, причем содержание этих элементов колеблется в пределах 82–87% углерода, 11–15% водорода, 0,01–6% серы, 0–2% кислорода и 0,01–3% азота. По химическому составу нефть также разнообразна. Поэтому говорить о среднем составе нефти или «средней» нефти можно только условно. Нефть представляет собой смесь около 1000 индивидуальных веществ, из которых

большая часть — жидкие углеводороды (> 500 веществ или обычно 80—90 % по массе) и гетероатомные органические соединения (4—5 %), преимущественно сернистые (около 250 веществ), азотистые (> 30 веществ) и кислородные (около 85 веществ), а также металлоорганические соединения (в основном ванадиевые и никелевые); остальные компоненты — растворённые углеводородные газы (C₁-C₄, от десятых долей до 4 %), вода (до 10 %), минеральные соли (главным образом хлориды, 0,1—4000 мг/л и более), растворы солей органических кислот и другие, механические примеси (частицы глины, песка, известняка) [8]. Продукты переработки нефти представлены в таблице 2.

Таблица 2. Продукты переработки нефти.

Вход	Выходы
Сырая нефть	бензин (разных сортов)
	керосин
	дизельное топливо
	масла
	гудрон
	кокс
	парафины
	другие вещества

Таблица 2 содержит не полный список веществ, получаемых из нефти, но отражает компонентный состав выпуска продукции из многокомпонентного сырья.

4.3. Переработка твердых бытовых отходов

Твердые бытовые отходы (ТБО) представляют собой продукты жизнедеятельности населения города и других поселений и включают различные материалы (картон, бумага, стекло, химические реактивы и другое) в пропорциях, зависящих от развитости региона и особенностей менталитета населения по потребностям и предпочтениям промышленных продуктов и услуг. Наблюдается большое разнообразие компонентов, входящих в состав единицы отходов (тонны или кубического метра), но не все из них могут быть выделены и применены повторно. В связи с этим возникает определенный набор компонентов отходов, которые выделяются и используются с помощью применяемых технологий при данном научно-техническом прогрессе и целесообразной себестоимости их переработки. В таблице 3 представлены наиболее используемые после переработки вещества.

Таблица 3. Продукты переработки ТБО.

Вход	Выходы
Твердые бытовых отходы	картон
	бумага
	пластики высокого и низкого давления
	черные металлы
	цветные металлы
	стекло
	текстиль
	полимеры
	дерево
	другие вещества

Каждый объект, учитываемый в АСУП перерабатывающего предприятия твердых бытовых отходов, имеет 4 основных контролируемых параметра и ряд дополнительных (от 5 до 25, в зависимости от сложности объекта управления, а также до 40 и более при анализе объектов с тонкими настройками и высоким уровнем автоматизации). Данные для определения объектов и их параметров были взяты в [9-11], а также при посещении российских предприятий, перерабатывающих ТБО. Объекты, анализируемые в АСУП предприятия перерабатывающего твердые бытовые отходы представлены в таблице 4.

Таблица 4. Объекты и их параметры, анализируемые в АСУП перерабатывающих предприятий.

Номер п/п	Объект для учета в АСУП	Количество анализируемых параметров
1	Подающая линия сырья	4
2	Линия сортировки	25
3	Линия выделения мелких фракций и удобрений	15
4	Линия отделения отходов (хвостов)	5
5	Пресс на линии «хвостов»	33
6	Пресс пластика, бумаги, картона	35
7	Пресс жести и алюминиевых банок	38
8	Агрегат переработки пластика	26
9	Агрегат переработки картона	20
10	Агрегат переработки цветного металла	35

11	Агрегат переработки черного металла	35
12	Агрегат переработки стекло	25
13	Агрегат переработки ПНД и ПВД	30
14	Агрегат переработки пластиковых бутылок	29
15	Линия подачи на весы	5
16	Учетные автоматизированные весы	15
Всего параметров:		375

5. Заключение

Рассмотренные особенности методики на примерах переработки бокситов, нефти и ТБО показывают широту применения разработанной ПМЭ АСУП. Реализация предложенной методики мониторинга осуществлялась на предприятиях, перерабатывающих твердые бытовые отходы, поэтому авторами приведены особенности их функционирования и структуры, отмеченные ранее в публикациях [9-15]. Апробация ПМЭ АСУП выполнена на объектах одной из рассмотренных областей применения методики оценки эффективности, а именно, перерабатывающих производств.

Список литературы

- [1] Federico, G.S., Uncertain optimal inventory as a strategy for enterprise global positioning / G.S. Federico, F.R. Beatriz, A.M. Gil-Lafuente, F. Juan // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. – 2015. – № 675. – P. 29-42.
- [2] Охтелев, М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтелев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов // М.: Наука, 2006. – 410 с.
- [3] Лычев, А.В. Развитие и обобщение моделей методологии анализа среды функционирования для анализа деятельности сложных систем: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. / Лычев А.В. – М., 2008. – 26 с.
- [4] Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 207 с.
- [5] Kovalev, I. The Efficiency Analysis of Automated Lines of Companies Based on DEA Method / I. Kovalev, P. Zelenkov, S. Ognerubov // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. – 2015. – № 675. – P. 107-115.
- [6] Фролова, Т.А. Экономика предприятия: конспект лекций / Т.А. Фролова. – Таганрог: ТРТУ, 2005.
- [7] Иванов, А.И. Комплексная переработка бокситов / А.И. Иванов, Г.Н. Кожевников, Ф.Г. Ситдииков, Л.П. Иванова. – Екатеринбург: РИО УрОРАН, 2003. – 182 с.

- [8] Леффлер, У.Л. Переработка нефти. – 2-е изд. пересмотренное. / Пер. с англ. – М.: Олимпбизнес, 2004. – 224 с.
- [9] Новожилов, А.А. Метод DEA для анализа функционирования предприятий по переработке твердых бытовых отходов /А.А. Новожилов // Информатика и системы управления. – 2010. – №1(23). – С.98-103.
- [10] Новожилов, А.А. Необходимость глубокой переработки отходов в условиях Красноярского края /А.А. Новожилов // Вестник НИИ СУВПТ: сб. научн. трудов / под общей ред. профессора Н.В. Василенко. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2007. – № 25. – С.27-33.
- [11] Zenyutkin, N.V. DEA method application to evaluating the efficiency of heat and wind generating complexes / N.V. Zenyutkin, I.V. Kovalev, M.V. Karaseva, V.V. Dvirny, A.A. Melkomukov, N.V. Lukonin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 734. – P. 012213. doi:10.1088/1757-899X/734/1/012213.
- [12] Новожилов, А.А. Аналитическая система по организации переработки отходов / А.А. Новожилов // Вестник НИИ СУВПТ: сб. научн. трудов / под общей ред. профессора Н.В. Василенко. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2007. – № 25. – С.137-144.
- [13] Kovalev, I.V. Combined efficiency margin in the implementation of the DEA method / I.V. Kovalev, A.S. Kuznetsov, N.V. Zenutkin, E.A. Morozov, A.V. Zeitler // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 734. – P. 012036. doi:10.1088/1757-899X/734/1/012036.
- [14] Новожилов, А.А. Моделирование перерабатывающей отрасли /А.А. Новожилов// Молодежь и наука: начало XXI века. сб. мат. V Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СФУ, 2009. – 336-338 с.
- [15] Kovalev, I.V. Monitoring of production processes in the waste processing industry and their impact on the environment / I.V. Kovalev, D.I. Kovalev, A.A. Voroshilova, E.V. Tuev, E.V. Tueva // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 677. – P. 052115. doi:10.1088/1755-1315/677/5/052115.

On the issue of choosing a real-time operating system for hardware and software support of industrial and environmental monitoring systems

D.I. Kovalev^{1,2,4}, T.P. Mansurova², Ya.A. Tynchenko³

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, Mira pr., Krasnoyarsk, 660049, Russia

² Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Association, 61, Uritskogo Str., Krasnoyarsk, 660049, Russia

³ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky Rabochny Av., Krasnoyarsk, 660037, Russia

⁴ E-mail: grimm7jow@gmail.com

Abstract. The article discusses the features of the operation of environmental monitoring systems. A number of factors are determined that affect the organization of hardware and software support for such systems. The main factors are: the operation of the equipment in real time, various environmental influences, the specifics of the composition of sensors and connections, as well as a complex technology for servicing the equipment in an aggressive technological environment. The listed factors affect the structure, software, hardware components and design of environmental monitoring systems. When creating any complex systems, the distribution of work in time leads to the allocation of various design stages, and the ideas about the system being designed, reflecting its essential properties with varying degrees of detail, determine the constituent parts of the design process. The specificity of the stages for monitoring systems of thermal power plants is shown, determined both by the general features of these systems and by the peculiarities of their application in the technological processes of thermal power plants, among which the main ones are: the heterogeneity of the input units and devices, as well as technological objects of power plants; work in real time; programmable logic of smart sensors and multifunctional purpose of system components; the possibility of failures leading to a change in the functioning algorithm using the multiversion methodology; the presence of interrelated requirements for the accuracy and speed of information transfer. The work shows the content of work on the stages of designing monitoring systems, taking into account the specifics of their development. This specificity is most significantly manifested in the development of a technical proposal and a draft design. In a step-by-step design, after the end of each stage, an assessment of the main results obtained is carried out by comparing them with those required according to the terms of reference. The article presents an expert analysis that allows you to determine the acceptable implementation of a real-time operating system for hardware and software support for environmental monitoring technologies. Phar Lap ETS, VxWorks and NI Linux Real-Time operating systems are considered.

Keywords: environmental monitoring, power plant, real-time operating system, software, technological process

К вопросу выбора операционной системы реального времени для аппаратно-программной поддержки систем производственно-экологического мониторинга

Д.И. Ковалев^{1,2,4}, Т.П. Мансурова², Я.А. Тынченко³

¹ Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия

² Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, ул. Урицкого, 61, Красноярск, 660049, Россия

³ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037, Россия

⁴ E-mail: grimm7jow@gmail.com

Абстракт. В статье рассматриваются особенности эксплуатации систем экологического мониторинга. Определяется ряд факторов, влияющих на организацию аппаратно-программной поддержки таких систем. Основными факторами являются: работа аппаратуры в реальном масштабе времени, различные воздействия окружающей среды, специфика состава датчиков и связей, а также сложная технология обслуживания аппаратуры в агрессивной технологической среде. Перечисленные факторы влияют на структуру, программное обеспечение, элементную базу и конструкцию систем экологического мониторинга. При создании любых сложных систем распределение работ во времени приводит к выделению различных этапов проектирования, а представления о проектируемой системе, отражающие ее существенные свойства с той или иной степенью подробности, определяют составные части процесса проектирования. Показана специфика этапов для систем мониторинга тепловых электростанций, определяемая как общими особенностями этих систем, так и особенностями их применения в технологических процессах тепловых электростанций, среди которых главными являются: разнородность входящих блоков и устройств, а также технологических объектов электростанций; работа в реальном масштабе времени; программируемая логика работы интеллектуальных датчиков и многофункциональное назначение компонентов системы; возможность возникновения отказов, приводящих к изменению алгоритма функционирования, с использованием мультиверсионной методологии; наличие взаимосвязанных требований по точности и скорости передачи информации. В работе показано содержание работ по этапам проектирования систем мониторинга с учетом специфики их разработки. Эта специфика наиболее существенно проявляется при разработке технического предложения и эскизного проекта. При поэтапном проектировании после окончания каждого этапа выполняется оценка основных полученных результатов путем сравнения их с требуемыми по техническому заданию. В статье представлен экспертный анализ, который позволяет определить допустимый вариант реализации операционной системы реального времени для аппаратно-программной поддержки технологий экологического мониторинга. Рассмотрены операционные системы реального времени Phar Lap ETS, VxWorks и NI Linux Real-Time.

Ключевые слова: экологический мониторинг, электростанция, операционная система реального времени, программное обеспечение, технологический процесс

1. Введение

Окружающая среда, влияя на выбор элементной базы, построение структуры и создание конструкции систем производственно-экологического мониторинга (СПЭМ), определяется многими факторами, среди которых, в первую очередь, следует учитывать климатические условия, механические, тепловые, химические, радиационные воздействия [1-6].

Основными климатическими воздействиями принято считать изменения температуры и относительной влажности. Диапазон изменения рабочих температур для аппаратуры прежде всего определяется климатическими зонами Земли, в которых возможно использование разрабатываемой техники. Поскольку измерительная аппаратура (датчики) может эксплуатироваться фактически в любых климатических зонах, диапазон рабочих температур должен учитывать предельные температуры среды в различных точках технологического объекта, на котором устанавливается СПЭМ.

Решение задач в реальном масштабе времени в контуре мониторинга определяется необходимостью обеспечения заданного функционала системы [4]. Для эффективного функционирования аппаратно-программного комплекса (АПК) системы обмена информацией должна иметь архитектуру, обеспечивающую работу в реальном времени. Это означает, что структурная схема и программное обеспечение СПЭМ необходимо проектировать с учетом этого требования. При этом серьезное внимание следует обратить на адекватность используемых алгоритмов решения задач обработки информации и управления АПК требованию реального времени. А это существенно зависит от выбранной операционной системы реального времени (ОСРВ).

2. Постановка задачи

Для обоснованного анализа требований к современным СПЭМ необходимо четко представлять весь комплекс их технических характеристик. Все множество X технических характеристик СПЭМ можно представить следующим образом [7]:

$$X = \{X_{\text{обсл}}; X_{\text{стр}}; X_{\text{по}}; X_{\text{эк}}; X_{\text{кн}}\},$$

где $X_{\text{обсл}}$ – подмножество характеристик обслуживания; $X_{\text{стр}}$ – подмножество характеристик структур; $X_{\text{по}}$ – подмножество характеристик программного обеспечения; $X_{\text{эк}}$ – подмножество характеристик условий эксплуатации; $X_{\text{кн}}$ – подмножество характеристик конструкции.

Характеристики обслуживания $X_{\text{обсл}}$ включают: среднее время обслуживания, вероятность обслуживания требования на обмен, среднее время простоя канала обмена,

вероятность простоя канала, вероятность нахождения системы обмена в одном из рабочих состояний.

Структура СПЭМ определяется подмножеством характеристик $X_{стр}$, зависящим от типа, вида и режима обмена; числа каналов обмена; способа передачи кодов и их типа; типа управления; параметров контроля; программируемости, адаптивности, перестраиваемости; надежности функционирования и собственно аппаратной; пропускной способности; числа абонентов; типа интерфейса; электрических характеристик входных и выходных сигналов канала обмена; типа используемой элементной базы.

Подмножество $X_{по}$ включает тип ОС, язык программирования, количество сервисных и стандартных подпрограмм, объем памяти, необходимой для хранения ПО.

Условия эксплуатации (подмножество $X_{эк}$) определяются параметрами среды и первичной сети энергопитания, временем непрерывной работы, техническим ресурсом, параметрами обдува или микроклимата, временем готовности к работе.

Характеристики конструкции (подмножество $X_{кн}$) весьма обширны, но можно ограничиться следующей совокупностью параметров: массогабаритные характеристики, тип конструкции, энергопотребление, коэффициенты технологичности, унификации и стандартизации, содержание драгоценных металлов, ремонтоспособность, стоимость и экономическая эффективность.

Десятки указанных выше характеристик полностью определяют облик СПЭМ, но на практике редко используются вместе. В минимальную совокупность технических характеристик X_{min} , с достаточной для практики достоверностью и определенностью обрисовывающую облик СПЭМ, целесообразно включить ограниченное число параметров:

$$X_{min} = \{T_{obs}; P_{стр}; M_c; C_{пр}; P_{нр}; mA; L_p; X_{ср}; G_a; W; C_a\},$$

где T_{obs} – среднее время обслуживания, мкс;

$P_{стр}$ – вероятности нахождения системы в рабочих состояниях;

M_c – тип, вид и режим обмена (M_t, M_v, M_r);

$C_{пр}$ – пропускная способность, кб/с;

$P_{нр}$ – вероятность нормального функционирования;

mA – число обслуживаемых датчиков;

L_p – язык программирования;

$X_{ср}$ – параметры окружающей среды;

G_a – масса, кг;

W – энергопотребление, Вт;

C_a – стоимость.

Для ориентировочной оценки СПЭМ и сравнения различных реализаций обычно используют еще более сокращенный перечень технических характеристик, а именно: M_c , C_{pg} , mA , G_a .

3. Методы решения с учетом эксплуатационных характеристик СПЭМ

3.1. Особенности эксплуатации

Рассмотрим особенности эксплуатации СПЭМ. Для измерительной электронной аппаратуры датчиков различного применения основные механические факторы проявляются в виде вибрационных воздействий и ударов вибрации с частотой от 2 до 7000 Гц при ускорениях от долей g до 50 g ; удары от 65 g при длительностях импульсов в несколько миллисекунд (в среднем 10мс).

Влияние радиационного излучения на микроэлектронную аппаратуру измерительных устройств аналогично его влиянию на радиоэлектронную аппаратуру вообще. При действии радиации ухудшаются практически все характеристики аппаратуры, но в настоящее время уже созданы комплекты измерительных датчиков, нормально функционирующих при достаточно больших интегральных дозах облучения – до 5000 рад.

Хранение бортовой аппаратуры должно быть допустимо на складах любого типа (открытые, закрытые, отапливаемые и без отопления), а транспортирование должно обеспечиваться любым видом транспорта на любые расстояния. Имеющиеся при этом ограничения по температуре, вибрациям, ударам и радиации определяются видом аппаратуры, применением, а номинальные воздействия ограничены указанными выше диапазонами.

Факторы воздействия окружающей среды определяют требования, которым должны соответствовать условия эксплуатации применяемой элементной базы и материалов конструкции [6]. Кроме того, технология создания конструкции, а также заложенные разработчиками конструктивные решения должны обеспечивать нормальное функционирование аппаратуры в условиях окружающей среды. При создании структуры СПЭМ должны быть предусмотрены технические решения, гарантирующие работоспособность системы обмена данными при деградиационных изменениях параметров элементной базы под действием температуры, влажности, вибрации, ударов, радиации и т.д. [7]. Например, использование различных устройств, имеющих разную степень деградации, а также применение аппаратной и программной избыточности для переключения приборов при отказах и повышения информационной надежности СПЭМ.

3.2. Состав датчиков и обмен данными

При рассмотрении специфики состава датчиков и связей между ними для АПК в целом, что существенно влияет на построение СПЭМ, в первую очередь необходимо учитывать: число датчиков и их разнородность, число и протяженность линий связи, топологию размещения датчиков и линий связи на технологическом объекте, а также влияние помех на передаваемые сигналы.

На современных объектах мониторинга (включая объекты теплоэнергетики [8-10]) в рамках АПК осуществляется подключение сотен датчиков (обычно 50-250 при максимальном числе 1000). Датчики принимают и выдают информацию в различной форме в широком диапазоне значений передаваемых величин с различной погрешностью. Обобщая данные различных датчиков объектов мониторинга для различных областей применения, можно представить усредненные параметры всей совокупности датчиков.

Следует кратко остановиться еще на одной характеристике интеллектуальных датчиков, отражающей их «интеллект», - способность вести диалог с системой управления или оператором. В общем случае под «интеллектуальными» понимают такие датчики, которые могут адаптироваться вплоть до передачи информации на естественном языке. Разработки таких датчиков и их интерфейсов ведутся в настоящее время в различных странах.

В качестве линий связи на объектах применяются отдельные провода, шины и кабели. Наиболее перспективны магистральные мультиплексные шины – волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Число линий связи на объектах достаточно велико. Часто для передачи данных могут использоваться спутниковые каналы [11-13]. Особенно это актуально для мониторинга потенциально опасных технологических объектов или в случае чрезвычайной ситуации на таком объекте [14-16].

Специфика состава датчиков и линий связи непосредственно влияет на все компоненты СПЭМ, а именно:

- используемая элементная база должна обеспечивать требуемые скоростные, точностные, надежностные и эксплуатационные характеристики сигналов датчиков и соответствующие параметры;
- структура системы обмена данными должна включать: блоки интерфейсов, соответствующие датчикам и связям; устройства преобразования формы представления сигналов (аналог – код, код – аналог, код – код); устройства связи с магистралями, мультиплексоры, модемы, а также блоки организации диалога с «интеллектуальными» датчиками и блоки согласования скорости передачи информации со скоростными возможностями управляющей ЭВМ при решении

задач СПЭМ (необходимо учитывать в структуре требуемые типы, виды и режимы обмена с датчиками, возможность адаптации под любой тип датчика);

- программное обеспечение СПЭМ должно организовывать работу всех каналов в соответствии с используемыми методами обмена, алгоритмами управления, с учетом характеристик датчиков, выдающих исходные данные и обрабатывающих результаты вычислений ЭВМ;
- в конструкции СПЭМ должны быть предусмотрены необходимые коммутационно-установочные элементы, сопряженные с используемыми линиями связи (состав, топология, тип) и обеспечивающие имеющиеся требования по защите от помех; конструкция также должна удовлетворять требованию быстрой замены интерфейсных блоков при изменении используемых стандартов на линии связи или состава абонентов; конструктивные решения должны быть инвариантны к топологии размещения датчиков СПЭМ и аппаратуры самой СПЭМ.

3.3. Требования к надежности аппаратуры

Организация обслуживания СПЭМ наиболее существенно зависит от требуемой надежности аппаратуры, состава ЗИПа, структуры контрольно-проверочной (КПА) и контрольно-ремонтной (КРА) аппаратуры, параметров ресурса, хранения, транспортировки, а также квалификации обслуживающего персонала [7]. Все отмеченные факторы, с одной стороны, определяются созданной СПЭМ, а с другой стороны, сами влияют на структуру, конструкцию, программно-аппаратное обеспечение СПЭМ. Так, надежность системы определяет порядок и периодичность обслуживания, но само обслуживание обеспечивает поддержание заданной надежности структуры АПК и ПО СПЭМ на соответствующем уровне системы. Созданные или имеющиеся возможности организации обслуживания влияют на выбор элементной базы, ограничивают сложность разрабатываемой архитектуры и оригинальность конструкторских решений.

3.4. Факторы обслуживания СПЭМ

Рассмотрим подробнее факторы, осложняющие обслуживание СПЭМ. Структура современных СПЭМ очень сложна как по функциональным связям, так и по схемно-структурным решениям. Применение микропроцессоров, мультиобработки, шинных мультиплексных связей, специализированных процессоров обмена, выполнение разнообразных функций обуславливают повышенную сложность архитектуры. Все отмеченное требует научной организации обслуживания с использованием современной

универсальной и специализированной измерительной техники, а также непрерывного повышения квалификации соответствующего персонала.

Программное обеспечение, являясь важнейшей частью архитектуры современной СПЭМ и влияя на организацию обслуживания, требует расширения парка необходимой аппаратуры и номенклатуры работников этих служб. Применение языков высокого уровня (ЯВУ), развитых операционных систем реального времени (ОСРВ), микропрограммирования обуславливает наличие резидентных и кросс-средств отладки рабочих программ, участие в обслуживании системных программистов и специалистов по вычислительной математике [8].

Для осуществления высокоэффективного обслуживания, обеспечивающего нормальное функционирование СПЭМ при заданном ресурсе эксплуатации, конструкторско-технологические решения, заложенные в систему обмена данными, должны обеспечивать: требуемую защиту аппаратуры от воздействий окружающей среды; заданную надежность; блочную организацию ЗИПа; быструю замену неисправных элементов; высокую технологичность всех проверок и ремонтов; требуемую помехозащищенность электрических схем; заданные массогабаритные характеристики при выполнении отраслевых норм на коэффициенты унификации и стандартизации; необходимые условия хранения и транспортировки аппаратуры.

Основные приборы, оборудование, приспособления и инструменты, применяемые при обслуживании, сосредоточены в составе КПА и КРА систем обмена. Эта аппаратура должна учитывать новые решения по элементной базе, структуре, ПО и конструкции. Это приводит к необходимости использовать при проверках и ремонтах автоматизированную аппаратуру на базе специализированных ЭВМ, а также современное технологическое оборудование. Все это также предопределяет участие различных специалистов высокой квалификации.

Рассмотренные особенности эксплуатации, их взаимосвязь с используемой элементной базой, архитектурой и конструкцией СПЭМ необходимо учитывать при проектировании систем обмена информацией с целью повышения информационной надежности технологий экологического мониторинга.

4. Учет особенностей проектирования СПЭМ

При создании любых сложных систем распределение работ во времени приводит к выделению различных этапов проектирования, а представления о проектируемой системе, отражающие ее существенные свойства с той или иной степенью подробности, определяют составные части процесса проектирования [7]. Это уровни проектирования.

В качестве типовых этапов проектирования используются:

-
- этап научно-исследовательских работ (технического предложения), заканчивающийся формулированием принципиальных возможностей построения системы, а также определением основных элементов структуры и ПО, физических и технических свойств проектируемой системы и т.п.;
 - этап эскизного проектирования, на котором детально прорабатывается возможность построения системы и выполняется эскизный проект;
 - этап технического (рабочего) проектирования, в процессе выполнения которого разрабатывается технический проект, где тщательно прорабатываются все функциональные, схемные, конструкторские и технологические решения с разработкой соответствующей документации;
 - этап рабочих испытаний, на котором производится окончательная проверка выбранных решений по системе, а также оформляются протоколы испытаний СПЭМ.

Работы на этапах проектирования по форме аналогичны для всех типов систем мониторинга. Однако есть специфика этапов для СПЭМ, определяемая общими особенностями этих систем и особенностями их применения в технологических процессах ТЭС, среди которых главными являются:

- разнородность входящих блоков и устройств, а также технологических объектов ТЭС;
- работа в реальном масштабе времени;
- программируемая логика работы интеллектуальных датчиков и многофункциональное назначение компонентов системы (например, различные типы газоанализаторов);
- возможность возникновения отказов, приводящих к изменению алгоритма функционирования при отказах элементов (использование мультиверсионной методологии в СПЭМ);
- наличие взаимосвязанных требований по точности и скорости передачи информации.

В таблице 1 показано содержание работ по этапам проектирования СПЭМ с учетом специфики их разработки. Эта специфика наиболее существенно проявляется при разработке технического предложения и эскизного проекта.

Таблица 1. Содержание работ на этапах проектирования.

Этап проектирования	Выполняемая работа
Техническое предложение	• Определение предложений в архитектуре. • Исследование возможностей реализации связей со всеми разнотипными абонентами СПЭМ. • Оценочный анализ влияния всех видов отказов на основные характеристики системы. • Поиск путей выполнения требований к характеристикам системы (для СПЭМ особенно по точности преобразования и пропускной способности передачи данных) в условиях эксплуатации.
Эскизное проектирование	• Функционально-логическая реализация схем системы (для СПЭМ особое внимание уделяется многофункциональным связям с абонентами). • Разработка способов и схем защиты от отказов. • Макетирование и проверка работоспособности в условиях эксплуатации узлов (для СПЭМ особенно схем преобразования информации и сопряжения с магистралями). • Конструктивно-технологическая проработка компоновки и трассировки устройств и узлов (для СПЭМ, в частности, с учетом влияния конструкции на точностные, временные и надежность характеристики системы обмена).
Техническое проектирование	• Разработка основных элементов ПО. • Детальная схемотехническая и конструкторско-технологическая проработки системы с учетом защиты от отказов и обеспечения заданных характеристик.
Испытания	• Испытания конструкции с оценкой ее влияния на точностные, временные и надежность характеристики. • Использование имитатора элементов системы при оценке основных характеристик на соответствие комплексу требований технического задания.

При поэтапном проектировании после окончания каждого этапа выполняется оценка основных полученных результатов путем сравнения их с требуемыми по техническому заданию (ТЗ). На этапе разработки технического предложения, как правило, оцениваются параметры обслуживания выбранной структуры. По итогам эскизного проекта определяются основные характеристики функционально-логической схемы СПЭМ. Конструкторские, технологические решения, принципиальные электрические схемы системы позволяют на этапе разработки технического проекта получить все характеристики подсистемы обмена информацией в СПЭМ. На этапе испытаний осуществляется окончательная проверка принятых решений и происходит определение точных значений параметров СПЭМ в условиях эксплуатации.

После каждой оценки на этапах проектирования может быть выработана рекомендация корректировки ТЗ, необходимость исполнения которой решается дополнительно. При проведении оценок и составлении по ним рекомендаций дальнейших действий непосредственно учитывается специфика содержания работ на этапах проектирования СПЭМ.

5. Результаты экспертного анализа ОСРВ для СПЭМ

После анализа особенностей эксплуатации СПЭМ и анализа требований можно переходить к этапу экспертного анализа для выбора ОС реального времени для аппаратно-программной поддержки технологий экологического мониторинга [16-20].

5.1. Phar Lap ETS®

Phar Lap ETS – это оптимальное решение в реальном времени для устройств, основанных на архитектуре Intelx86. ETS обеспечивает простоту использования и предсказуемую производительность, в сочетании с высокой надежностью. ETS используется в мультимедийных потоковых решениях, субмикронном сканирование систем, системах определения местоположения морских судов и радиочастотной идентификации.

ETS – это высокопроизводительная микроядерная операционная система реального времени с оптимальным операционным следом 88k. Разработчики могут установить, настроить и начать разработку на ETS в течение 2-4 часов. Комплект разработки программного обеспечения ETS (SDK) обеспечивает набор инструментов, которые легко интегрируются в стандартную среду разработки Microsoft Visual Studio.

ETS Visual System Builder позволяет разработчикам систем выбирать компоненты ядра, эффективно строящие систему снизу вверх.

Поскольку ETS была разработана как совместимая с Win32 API операционная система, все стандартные соглашения Windows поддерживаются. Это включает в себя API, управление памятью, мьютексы и семафоры, к которым привыкли разработчики в Windows. В дополнение

к производительности, ETS упрощает разработку благодаря обширному количеству инструментов, разработанных и оптимизированных для представления всеобъемлющей и подробной информации для инженера-программиста, чтобы быстро и точно решать проблемы по мере их возникновения в процессе разработки.

Архитектура ядра ETS обеспечивает полную гибкость в реализации, так как позволяет системным архитекторам использовать монолитное или разделенное ядро/приложение реализация. Возможность разделения приложения ETS позволяет обновлять на месте либо ядро, либо приложение.

Ядро ETS разработано на основе высокоскоростного планировщика, который использует как упреждающий, так и раундобиновые алгоритмы. ETS поддерживает неограниченное количество потоков и обеспечивает точный контроль над приложения с 256 уровнями назначаемого приоритета потока. Планировщик гарантирует, что критическое переключение контекста потока и переход к потокам с более высоким приоритетом происходят в течение 500 наносекунд в диапазоне менее 2 микросекунд. Это единственная операционная система реального времени, которая поддерживает надежное подмножество Win32 API и стандартную модель DLL. Эти возможности упрощают миграцию приложений с кодом на основе Windows и позволяет разрабатывать приложения ETS по частям с минимальным объемом памяти. Точное выполнение событий имеет решающее значение в системе реального времени. ETS обеспечивает полную гибкость разработчику, чтобы определить соответствующее разрешение таймера для своей системы. Значения интервалов таймера могут быть установлены между 1 микросекундами и 18,2 миллисекундами.

Важно, что ETS предоставляет разработчику высоко функциональную основу для построения систем, в том числе, встроенных систем, работающих в реальном времени TCP / IP и USB 1.1 и 2.0. Сложные пользовательские интерфейсы и веб-службы полностью поддерживаются с помощью включенного графического пакета и интегрированного веб-интерфейса.

Разработка ПО с использованием ETS обеспечивает учет потребностей разработчика программного обеспечения. Система предоставляет комплексный набор инструментов, которые легко интегрируются в Microsoft IDE-Visual Studio. Эти инструменты обеспечивают инженер-программисту возможность интерактивного просмотра приложения в режиме реального времени, чтобы понять взаимодействие между оборудованием, ядром ETS и приложением ETS для отладки и анализа функционирования АПК системы экологического мониторинга.

5.2. VxWorks

ОСРВ VxWorks – это детерминированная, высокопроизводительная ОСРВ, которая устанавливает стандарт для масштабируемой, ориентированной на будущее, безопасной и надежной операционной среды для критически важных устройств и систем, которые должны соответствовать самым высоким стандартам.

Система VxWorks в режиме реального времени идеально подходит для жестких встроенных приложений реального времени, потому что это детерминированная, основанная на приоритетах, превентивная ОСРВ с низкой задержкой и минимальным дрожанием. В дополнение к стандартному вытеснению, VxWorks может обеспечивать режим, когда приложения, критичные для безопасности и времени, получали заданное количество циклов центрального процессора (ЦП) через различные формы планирования, а также разделение времени и пространства. Это также обеспечивает гибкость функций, необходимых для технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Поскольку новые функции добавляются в VxWorks, и совместимость функций различных версий ПО всегда достаточно высока, то использование данной ОСРВ в СПЭМ весьма перспективно. Совместимость позволяет разработчикам воспользоваться последние инновации VxWorks, позволяющие им быстро добавлять новые функции и обновления с минимальным повторным тестированием всей системы, тем самым экономя время и затраты на проект.

Система имеет широкие возможности подключения и связи. Важно, что VxWorks имеет надежные стеки IPv4 и IPv6, которые также поддерживают сети, чувствительные ко времени (TSN). Система гарантирует связь в реальном времени и доставку пакетов в течение ограниченного времени или задержки в коммутируемой сети Ethernet. VxWorks поддерживает инновационные промышленные приложения, включая, но не ограничиваясь, OPC Unified Architecture (OPC UA); SocketCAN используемый в автомобильных приложениях; и хост, таргет и on-the-go (OTG) USB.

Имеется широкая поддержка многоядерных и многопроцессорных систем. Система VxWorks поддерживает 32- и 64-разрядные а также многоядерные процессоры, включая Intel®, Arm®, Power Architecture® и RISC-V. Такая всесторонняя поддержка многоядерных процессоров позволяет конфигурировать ОСРВ для асимметричной многопроцессорной обработки (AMP) и симметричной многопроцессорной обработки (SMP) с привязкой к процессору для связанной многопроцессорной обработки (BMP).

Благодаря совместной разработке с партнерами по экосистеме, VxWorks имеет самый обширный список пакетов поддержки плат в индустрии встроенного программного обеспечения. Осуществляется раннее создание прототипа, экономия средств и гибкость

выбора. Решение проблемы для быстрого создания прототипов на недорогом оборудовании VxWorks предлагает BSP с открытым исходным кодом на GitHub, начиная с поддержки Raspberry Pi.

Важным для разработчика является надежность и настройка системы. Модульность VxWorks позволяет легко выбирать и адаптировать возможности по мере необходимости, замена модулей только по мере необходимости.

Высокий уровень виртуализации VxWorks обеспечивает эффективную, практически естественную производительность в виртуализированных средах, таких как платформа виртуализации Wind River® Helix™ или другие популярные гипервизоры, включая QEMU, VMware и KVM. Платформа Helix, которая имеет встроенный сертифицированный гипервизор, который может сэкономить время и усилия по сравнению с другими гипервизорами, которые непросто сертифицировать, также будут запускать VxWorks с другими операционными системами.

Отказоустойчивая файловая система VxWorks поддерживает высоконадежный файл Wind River. Имеется система (HRFS) для отказоустойчивости и восстановления операций в случае системной ошибки и завершения работы, а также FAT-совместимая файловая система dosFS.

5.3. NI Linux Real-Time

Компания National Instruments разработала ОС реального времени на основе Linux (OCPB), которая называется NI Linux Real-Time [20]. Уровень разработки высок благодаря многолетним исследованиям и разработкам, сотрудничеству с сообществом разработчиков программного обеспечения с открытым исходным кодом и участием партнеров. Эта OCPB доступна на некоторых аппаратных средствах NI, которые будут описаны ниже. NI Linux Real-Time полностью поддерживается средой разработки NI LabVIEW с модулем реального времени LabVIEW.

Linux давно используется во встраиваемых системах в значительной степени потому, что это система бесплатна, с открытым исходным кодом, а также развивается и поддерживается сообществом разработчиков. При раннем использовании разработчики встроенного программного обеспечения пришли к выводу, что Linux не может быть OCPB, и с течением времени разработали множество гибридных подходов, которые объединяют Linux с выделенной OCPB для использования во встроенных приложениях.

По мере того, как использование Linux в разработке встроенных систем стало более зрелым, разработчики также добавили функции для улучшения детерминизма самого ядра Linux. Совсем недавно набор патчей PREEMPT_RT, являющийся результатом усилий по

усовершенствованию ядра Linux, все чаще становится общепризнанным подходом к достижению реального результата в реальном времени с Linux.

Остановимся на преимуществах NI Linux при работе в реальном времени. Исторически производительность в реальном времени достигалась за счет удобства использования. Важно, что для NI Linux Real-Time, преимущества и удобство использования, которые предлагает Linux, переносятся и в саму ОС, так как большая часть преимуществ возникает из-за ядра Linux, которое не нарушается. Таким образом, NI Linux Real-Time предлагает привлекательную производительность в режиме реального времени наравне с выделенными ранее ОСПВ, но без ущерба для удобства использования. Примером повышенного удобства использования, предоставляемого RTOS, является проверенный и стабильный сетевой стек, заимствованный из универсальной Linux. Благодаря улучшенному сетевому стеку целевые объекты реального времени, поддерживающие эту ОСПВ, могут поддерживать настоящие сетевые интерфейсные карты с двумя DHCP-серверами (NIC) и не требуют перезагрузки для применения изменений в настройках сети или времени, а также предлагают более широкую поддержку протоколов связи, таких как IPv6 и SNMP. Еще одним убедительным примером является поддержка дисплея для локальных HMI, которые NI Linux Real-Time предлагает в новом контроллере производительности CompactRIO.

Кроме того, поскольку Linux гораздо более распространен, чем даже самая популярная на рынке специализированная ОСПВ, данная ОСПВ предлагает гораздо более богатую экосистему и инструментарий, а также значительную базу опытных пользователей, способных использовать потенциал ОСПВ. При использовании режима реального времени, который поддерживается ОС NI Linux Real-Time, у нас есть большая свобода дополнять функциональность нашего решения элементами экосистемы Linux. Можно также воспользоваться обширной базой опытных пользователей Linux. Отметим, что NI Linux Real-Time расширяет возможности пользователей. От более простого добавления поддержки стороннего периферийного оборудования, такого как специализированные датчики, до гораздо более простой интеграции кода C / C ++.

Помимо удобства использования и экосистемы, в отличие от многих выделенных ОСПВ, NI Linux Real-Time является настоящей двухрежимной ОС. В качестве двухрежимной ОС NI Linux Real-Time предлагает значительно более устойчивую работу. В случае сбоя приложения система продолжает работать и может восстановиться после сбоя приложения без значительных потерь. NI Linux Real-Time также поддерживает настоящую многозадачность, позволяя запускать несколько программ параллельно. Например, можно запустить базу данных непосредственно на объекты, работающие в реальном времени, вместе с приложением LabVIEW Real-Time.

И наконец, опираясь на Linux, эта ОСПВ предлагает значительно улучшенную возможность управления учетными записями пользователей и разрешениями файловой системы пользователей. Активность пользователей можно легче регистрировать на встроенных устройствах, которые поддерживают NI Linux Real-Time. Кроме того, могут быть реализованы такие функции безопасности, как VPN и брандмауэр, что исключает необходимость в дополнительном внешнем оборудовании исключительно для повышения безопасности сети.

NI Linux Real-Time обеспечивает производительность в реальном времени наравне с выделенными ОСПВ, предлагаемыми для целей CompactRIO текущего поколения. Джиттер целей NI Linux Real-Time имеет тот же порядок величины, что и джиттер в современных системах реального времени, предоставляемых NI. Что касается реальных приложений управления и потоковой передачи, то CompactRIO на основе реального времени NI Linux предлагает значительное увеличение производительности, поскольку циклы управления и потоковой передачи работают с более высокой частотой циклов при более низкой загрузке процессора.

6. Заключение

Таким образом, при выборе ОСПВ для СПЭМ следует четко представлять круг выполняемых проектных работ на соответствующих этапах и уровнях с использованием определенных методов проектирования СПЭМ и специализированных датчиков.

Метод сравнительного анализа позволяет определить допустимый вариант реализации ОСПВ, но имеет основные недостатки: в большинстве случаев на практике решение принимается по совокупности показателей качества, учитывающей технические характеристики ОС и аналогичные параметры класса таких систем, а по конкретным характеристикам. Это, как правило, осуществляется неавтоматизированным способом, что снижает эффективность разработки. Так как при этом на каждом шаге принятия решений по определенному параметру выбирается группа вариантов ОС для дальнейшего рассмотрения, то имеется возможность потери варианта реализации ОСПВ, наилучшего по критерию оценки следующих этапов анализа. Этот способ не позволяет создавать новые технические решения, поскольку ориентирован на оценку эвристически заданного множества конкурирующих вариантов. Отмеченный недостаток сравнительного анализа исключается при использовании для проектирования методов синтеза.

Список литературы

- [1] Припутнев, Д.А., Экологический мониторинг окружающей среды / Д.А. Припутнев, И.Н. Мальцев, В.И. Лукьяненко, А.М. Чуйков // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – №1. – С. 182-185.
- [2] Воронич, С.С. Оперативный экологический контроль атмосферных загрязнений локальных урбанизированных территорий / С.С. Воронич, А.Г. Хлопаев // Вестник ВолГУ. Серия 3: Экономика. Экология. – 2012. – №2. – С. 205-213.
- [3] Анопченко, Л.Ю., Использование различных методов для экологического мониторинга атмосферного воздуха / Л.Ю. Анопченко, А.Ю. Луговская // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – №2. – С. 84-88.
- [4] Мазулина, О.В. Экологический мониторинг атмосферного воздуха / О.В. Мазулина, Я.А. Полонский // «Инновации в науке»: материалы IX международной заочной научно-практической конференции. – Новосибирск: Сибирская ассоциация консультантов, 2012. – 102 с.
- [5] Креймер, М.А. Климат и прогноз загрязнения атмосферного воздуха в городе / М.А. Креймер // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т. 2. – 116-122 с.
- [6] Путивцева, Н.П. Автоматизированная система экологического мониторинга / Н.П. Путивцева, К.В. Наливкин // Проблемы Науки. – 2013. – №4(18). – С. 22-23.
- [7] Пронин, Е.Г. Проектирование бортовых систем обмена информации. / Е.Г. Пронин, О.В. Могуева. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
- [8] Ковалев, И.В. Математическое моделирование и алгоритмизация функций мониторинга технологических процессов на основе многоточечных измерительных систем / И.В. Ковалев, Д.И. Ковалев, В.В. Лосев, М.В. Сарамуд, Я.А. Тынченко // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 6-1. – С. 29-38.
- [9] Гофман, П.М., Отечественные стационарные системы виброконтроля и механических перемещений для питательных электронасосов тепловых электростанций / П.М. Гофман, И.В. Ковалев, Я.А. Тынченко, И.И. Кирьянов, В.В. Колесник // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2019. – № 5. – С. 55-72.
- [10] Колесник, В.В. Отечественные акселерометры для контроля абсолютной вибрации турбоагрегатов средней и большой мощности Приборы и системы / В.В. Колесник, С.А. Матвеев, П.М. Гофман, И.В. Ковалев, К.К. Першакова // Управление, контроль,

диагностика. – 2018. – № 4. – С. 29-39.

- [11] Ковалев, И.В. Мультиверсионная технология повышения достоверности измеряемых параметров производственно-экологического мониторинга / И.В. Ковалев, Д.И. Ковалев, М.В. Сарамуд, А.А. Ворошилова // Приборы. – 2018. – № 12(222). – С. 48-52.
- [12] Ковалев, И.В. Анализ технологического оборудования систем автоматизированного мониторинга дымовых газов тепловых электростанций / И.В. Ковалев, Д.И. Ковалев, В.В. Колесник, В.В. Лосев, М.В. Карасева // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19. – № 4. – С. 683-690.
- [13] Калинин, А.О. Методика расчета временных характеристик элементов автоматизированной системы управления на примере замкнутого контура регулирования давления на участке трубопровода под управлением контроллера "ОВЕН ПЛК100 220" / А.О. Калинин, М.В. Посконин, М.В. Сарамуд, В.В. Лосев, И.В. Ковалев // Сибирский журнал науки и технологий. – 2017. – Т. 18. – № 2. – С. 387-395.
- [14] Гофман, П.М. Отечественные интеллектуальные бесконтактные реверсивные пускатели для асути теплоэлектростанций средней мощности / П.М. Гофман, В.В. Колесник, И.В. Ковалев, К.К. Першакова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 5. – С. 35-45.
- [15] Гофман, П.М. Отечественные автоматизированные системы измерения абсолютной вибрации турбоагрегатов теплоэлектростанций / П.М. Гофман, В.В. Колесник, И.В. Ковалев, В.А. Драчёв, К.К. Першакова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 12. – С. 20-35.
- [16] Kovalev, I.V. Analysis of RTOS for hardware and software support of environmental monitoring technologies / I.V. Kovalev, D.I. Kovalev, A.S. Kuznetsov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – № 548 032044.
- [17] Рубанов, В.В. Разработка ОС реального времени для цифрового сигнального процессора / В.В. Рубанов, К.А. Власов // Труды ИСП РАН. – 2007. – №2. – С. 165-178.
- [18] Касьянова, Е.Н. Особенности использования операционной системы QNX / Е.Н. Касьянова, О.А. Вдовыкина // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2012. – №13. – С. 69-72.
- [19] Чуфырев, А.Е. Технический обзор особенностей операционной системы реального времени ti-rtos / А.Е. Чуфырев, В.А. Устюгов // Juvenis scientia. – 2016. – №1. – С. 3-7.
- [20] Мороз, О.В. Принципы применения Linux в качестве операционной системы реального

времени / О.В. Мороз, С.Н. Попов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2012. – №15. – С. 37-41.

Construction of ground control points for spacecraft using optimization-simulation model

I.N. Kartsan

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, 2, Kapitanskaya St.,
Sevastopol, 299011, Russian Federation
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky Rabochy
Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
Sevastopol State University, 33, Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russian
Federation
FGBNU «Expert-Analytical Center», 33/4 Talalikhina St., Moscow, 109316, Russian
Federation

E-mail: kartsan2003@mail.ru

Abstract. The article deals with the application of simulation modeling and optimization-simulation approach to solving problems of synthesis of structures of automated spacecraft control systems, namely, the choice of spacecraft control points, which are multifunctional aggregates of stationary and mobile elements dispersed in space with developed technical means of receiving, transmitting and processing information. Various approaches to the joint use of optimization and simulation models in the synthesis of the structure of complex systems are analyzed. The main attention is paid to the possibility of joint use in the synthesis of optimization and simulation models, their rational interaction in optimization and simulation procedures that describe both the composition and interrelationships of the structural elements of the system, as well as dynamic and stochastic aspects of their functioning. An optimization-simulation approach based on the joint use of optimization and simulation models in the process of searching for optimal structure options is proposed. Rational mapping of a set of interrelated functions performed by a control system into a set of interconnected nodes with appropriate technical means, taking into account the costs of creating or reconstructing the system, the costs of operation and operation, the requirements of operational efficiency of management, the reliability of technical means, the survivability and globality of the control system and other characteristics. Consideration of the problem of optimizing the distribution of tasks included in the control loop by levels and control nodes of the system and determining a set of technical means that minimize the costs of equipping nodes with technical means and their operation when performing restrictions on efficiency, hardware reliability of performing control tasks, weight and energy consumption of on-board equipment, loading of nodes, etc.

Keywords: optimization and simulation approach, simulation modeling, algorithm, model, spacecraft, a network of ground control points

Acknowledgements: This study was supported by the Russian Federation State Task № 0555-2021-0005. This work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation on "Conceptual modeling of the information and educational environment of human capital reproduction in a digital economy" (Cipher FNRN - E). This work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia on the topic "Development of new methods of autonomous navigation of spacecraft in outer space" (Cipher FNRN - S).

Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели

И.Н. Карцан

Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация,
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037, Российская Федерация
Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация,
ФГБНУ «Экспертно-аналитический центр», ул. Талаллихина, 33/4, г. Москва, 109316, Российская Федерация

E-mail: kartsan2003@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы применения имитационного моделирования и оптимизационно-имитационного подхода к решению задач синтеза структур автоматизированных систем управления космическими аппаратами, а именно, выбора пунктов управления космическими аппаратами, которые представляют собой рассредоточенные в пространстве многофункциональные совокупности стационарных и подвижных элементов с развитыми техническими средствами приема, передачи и обработки информации. Анализируются различные подходы к совместному использованию оптимизационных и имитационных моделей при синтезе структуры сложных систем. Основное внимание уделяется возможности совместного использования в процессе синтеза оптимизационных и имитационных моделей, их рациональное взаимодействие в оптимизационно-имитационных процедурах, описывающих как состав и взаимосвязи структурных элементов системы, так и динамические и стохастические аспекты их функционирования. Предложен оптимизационно-имитационный подход, основанный на совместном использовании оптимизационных и имитационных моделей в процессе поиска оптимальных вариантов структуры. Рациональное отображение множества взаимосвязанных функций, выполняемых системой управления, на множество взаимосвязанных узлов с соответствующими техническими средствами с учетом затрат на создание или реконструкцию системы, затрат на эксплуатацию и функционирование, требований оперативности управления, надежности технических средств, живучести и глобальности системы управления и других характеристик. Рассмотрение проблемы оптимизации распределения задач, входящих в контур управления по уровням и управляющим узлам системы и определении набора технических средств, минимизирующих затраты на оснащение узлов техническими средствами и их эксплуатацию при выполнении ограничений по оперативности, аппаратной надежности выполнения задач управления, массе и энергопотреблению бортовой аппаратуры, загрузке узлов и др.

Ключевые слова: оптимизационно-имитационный подход, имитационное моделирование, алгоритм, модель, космические аппараты, сеть наземных пунктов управления

1. Введение

Автоматизированные системы управления космическими аппаратами (АСУ КА) относятся к классу распределенных информационно-управляющих систем (ИУС). АСУ КА

обладают рядом характерных особенностей, которые во многом усложняют задачу построения моделей и методов синтеза их структуры. Как правило, основными характеристиками, влияющими на выбор какого-либо пункта управления, являются динамические и стохастические характеристики, связанные с функционированием объектов управления. Это требует включения в процедуры синтеза их структуры моделей имитационного типа [1-5].

Анализ различных подходов к синтезу структуры подобных систем показал, что задачи синтеза могут быть разбиты на две группы. К первой относятся задачи, связанные с синтезом топологической структуры системы, состоящей в определении состава, территориального расположения и типа управляющих узлов на всех уровнях иерархии системы и каналов связи между ними.

Ко второй группе относятся проблемы синтеза функциональной структуры системы, т. е. распределение функций управления между узлами системы, включая объект управления и распределение технических средств по узлам системы.

Основываясь на оптимизационно-имитационном подходе применительно к анализу структур сложных систем, основное внимание уделяется потенциалу совместного использования в процессе синтеза оптимизационных и имитационных моделей, их рациональному взаимодействию в оптимизационно-имитационных процедурах, описывающих как состав и взаимосвязи структурных элементов системы, так и динамические и случайные аспекты их функционирования. Поэтому, основываясь на вышесказанном, применение анализируемых моделей в данной методологии значительно повысит качество принимаемых решений [6-9].

2. Постановка проблем и задач: выявление плюсов и минусов модели

Важной проблемой при создании систем управления, и в частности, систем управления космическими аппаратами с использованием автоматизации, является выбор их структуры, которая определяет состав элементов системы с соответствующими взаимосвязями и с учетом динамики их функционирования. Актуальными остаются вопросы постановки и формализации задач синтеза структур, разработки оптимизационных и имитационных моделей, а также построения на их основе процедур синтеза структуры автоматизированных систем управления космическими аппаратами.

Задачи синтеза структуры сложных систем, учитывающие динамику функционирования элементов системы, только в простейших случаях могут быть решены аналитическими методами [10-13]. Использование же имитационных моделей позволяет учесть на этапе анализа и синтеза структуры не только статические взаимосвязи между элементами системы, но и динамические аспекты функционирования системы. Методы

имитационного моделирования позволяют проанализировать только незначительное количество вариантов изучаемой системы и выбрать среди них в определенном смысле более приемлемый.

Ниже приводится перечень аргументов в пользу использования имитационного моделирования, а также некоторые минусы данной системы.

Преимущества:

- Разработка имитационной модели системы зачастую позволяет лучше понять реальную систему.
- В ходе моделирования возможно сокращение времени: годы практической эксплуатации реальной системы можно промоделировать в течение нескольких секунд или минут.
- Моделирование не требует прерывания текущей деятельности реальной системы.
- Имитационные модели носят намного более общий характер, чем математические модели; их можно использовать в тех случаях, когда для проведения стандартного математического анализа нет надлежащих условий.
- Моделирование обеспечивает более реалистичное воспроизведение системы, чем математический анализ.
- Моделирование возможно использовать для анализа переходных процессов, тогда как математические модели для этой цели не подходят.
- В настоящее время разработано множество стандартизованных моделей, охватывающих широкий спектр объектов реального мира.

Недостатки:

- Несмотря на то, что на разработку имитационной модели системы может уйти много времени и труда, нет никакой гарантии, что модель позволит получить ответы на интересующие вопросы.
- Нет никакого способа доказать, что работа модели полностью соответствует работе реальной системы. Моделирование связано с многочисленными повторениями последовательностей, которые основываются на генерации случайных чисел, имитирующих наступление тех или иных событий.
- В зависимости от системы, которую возможно моделировать, построение модели может занять от одного часа до 100 человеко-лет. Моделирование сложных систем может оказаться весьма дорогостоящей затеей и занять немало времени.
- Моделирование может быть менее точным, чем математический анализ, поскольку в его основу положена генерация случайных чисел.

- Для разработки и внедрения сложных моделей требуется довольно значительное компьютерное время.

3. Методы исследования и полученные результаты

Для решения проблем синтеза структуры распределенных АСУ КА на основе методологии синтеза структуры сложных систем, разработан комплекс взаимосвязанных моделей и алгоритмов и итеративные схемы их взаимодействия при синтезе топологической (пространственной) и функциональной структуры системы (рисунок 1) [14-18].

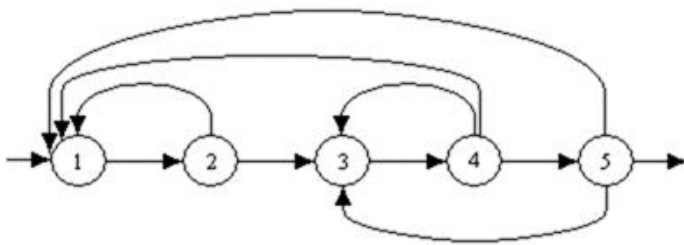


Рисунок 1. Схема взаимодействия процедур и алгоритмов при решении задачи выбора пунктов управления космическими аппаратами.

На первом этапе синтеза (блок 1) решается задача выбора состава и пространственного размещения управляющих узлов с учетом затрат на их организацию, доступность и глобальность управления различными классами КА.

Для определения алгоритмически заданных характеристик функционирования синтезированного варианта структуры системы предназначены имитационные модели взаимодействия элементов заданной топологической структуры (блок 2).

В блоках 3, 4 для выбранной совокупности пунктов управления и их взаимосвязей определяются варианты построения узлов и связей между ними, обеспечивающие повышение живучести системы, определяемой вероятностью выполнения системой функций управления с учетом возможных неблагоприятных внешних воздействий [9].

На этапе синтеза (блок 5) для найденного множества узлов управления и вариантов их реализации, работающих с объектами различных классов, и заданных функции управления по каждому классу объектов определяется оптимальное распределение задач взаимосвязанных подсистем по уровням и узлам системы и выбирается состав комплекса технических средств. Функции управления задаются в виде множества задач, выполняемых различными подсистемами (контурами) управления.

Для синтеза структур сложных систем разработан и успешно используется для решения практических задач структурного построения сложных систем оптимизационно-имитационный подход.

Оптимизационно-имитационный подход к синтезу структур сложных систем основан на совместном использовании в процессе поиска оптимального варианта структуры оптимизационных и имитационных моделей. Эти модели описывают как состав и взаимосвязи структурных элементов системы, так и динамические и стохастические аспекты их функционирования.

При этом возникает проблема рационального сочетания оптимизационных и имитационных моделей для синтеза структуры сложных систем. Это приводит к специфическим итеративным процедурам поиска рациональных вариантов структуры системы.

4. Заключение

При выборе структуры АСУ КА задачи формирования, учитывающие динамику функционирования элементов системы, только в простейших случаях могут быть решены аналитическими методами. Использование же оптимизационно-имитационных моделей позволяет учесть на этапе анализа и синтеза структуры не только статические взаимосвязи между элементами системы, но и динамические аспекты функционирования системы. Применение имитационных моделей дает множество преимуществ по сравнению с выполнением экспериментов над реальной системой и использованием других методов. Существует возможность модификации имитационной модели, по которой вновь производятся расчеты, а затем проводится сравнительный анализ новых результатов с полученными ранее. Методы имитационного моделирования, хотя и не приводят к получению оптимальных решений, как, например, методы линейного программирования, однако, позволяют выработать направления деятельности, приводящей к лучшим результатам. Но прежде, чем внедрять какой-либо из результатов, полученных по имитационной модели, в практику, необходимо произвести оценку ее надежности и, осуществив расчеты на более длительный период, получить репрезентативные характеристики. Обычно расчеты по имитационным моделям проводятся с помощью пакетов прикладных программ.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Концептуальное моделирование информационно-образовательной среды воспроизводства человеческого капитала в условиях цифровой экономики» (Шифр FNRN – E). Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Разработка новых методов автономной навигации космических аппаратов в космическом пространстве» (Шифр FNRN – S).

Список литературы

- [1] Тюпкин, М.В. Аппаратно-информационные технологии управления космическими аппаратами / М.В. Тюпкин // Успехи соврем. естествознания. – 2006. – № 9. – С. 111-113.
- [2] Карасева, М.В. Метапоисковая мультилингвистическая система / М.В. Карасева, И.Н. Карцан, П.В. Зеленков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2007. – № 3(16). – С. 69-70.
- [3] Царев, Р.Ю. Синтез и управление развитием кластерных структур АСУ космических систем / Р. Ю. Царев, Д.В. Капулин, А.В. Штарик, Е.Н. Штарик // Вестник СибГАУ. – 2012. – № 2(42). – С. 80-84.
- [4] Усольцев, А.А. Анализ методов структурно-параметрического описания объекта проектирования / А.А. Усольцев // Вестник НИИ СУВПТ. – 2003. – № 12. – С. 19-27.
- [5] Клейнен, Дж. Статистические методы в имитационном моделировании / Дж. Клейнен. – М.: Статистика, 2008.
- [6] Филиппов, В.А. Имитационное моделирование при синтезе структур сложных систем / В.А. Филиппов, А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2003.
- [7] Строгалева, В.П. Имитационное моделирование / В.П. Строгалева, И.О. Толкачева. – МГТУ им. Баумана, 2008. – 697-737 с.
- [8] Елубаев, С.А. Имитационное моделирование основных компонентов системы управления движением космического аппарата / С.А. Елубаев, Н.К. Джамалов, К.А. Алипбаев, и др. // Вестник СибГАУ. – 2013. – №2(48).
- [9] Лысенко, Л.Н. Концепция разработки программно-методического обеспечения комплекса имитационного моделирования условий функционирования орбитального сегмента глобальных навигационных и телекоммуникационных геостационарных спутниковых систем / Л.Н. Лысенко, В.В. Корянов, А.Г. Топорков // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2015. – 5. – Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/arise/adb/1398.html>.
- [10] Карцан, И.Н. Мультиверсионное программное обеспечение бортового комплекса управления с генетическим алгоритмом / И.Н. Карцан // Решетневские чтения: материалы XXI международной научно-практической конференции (08–11 ноября 2017, г. Красноярск). Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2017. – № 1. – С. 372-373.
- [11] Тюпкин, М.В. Многоатрибутивные методы принятия решений в системном анализе / М.В. Тюпкин // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 12. – С. 48-50.

- [12] Филиппов, В. А. Оптимизационно-имитационные процедуры синтеза структур распределенных систем управления / В.А. Филиппов, А.Д. Цвиркун. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2000.
- [13] Kartsan, I.N. The hardware and software implementation of the adaptive platform for an onboard spacecraft control system / I.N. Kartsan, A.O. Zhukov, O.A. Platonov, S.V. Efremova // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – № 1399(3). – P. 033071.
- [14] Карцан, И.Н. Модульно-иерархическое построение программного обеспечения при сетевом взаимодействии наземных пунктов / И.Н. Карцан, Л.М. Скопинцева, Д.Д. Дмитриев, С.В. Ефремова, В.В. Мосиенко // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. – 2018. – Т. 2. – № 4(14). – С. 151-154.
- [15] Карцан, И.Н. Мультиверсионная модель программного обеспечения систем управления космическим аппаратом с ранжированием принятия решения / И.Н. Карцан, С.В. Ефремова // *Сибирский аэрокосмический журнал*. – 2021. – Т. 22. – № 1. – С. 32-46.
- [16] Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
- [17] Скобелев, П.О. Мультиагентная система для исследования методов взаимодействия космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / П.О. Скобелев, А.В. Соллогуб, А.В. Иващенко, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов, А.В. Царев // *Перспективные информационные технологии для авиации и космоса (ПИТ-2010). Труды Международной конференции с элементами научной школы для молодежи*. Самара: СГАУ, 2010. – 226-230 с.
- [18] Тюпкин, М.В. Проблема синтеза структуры АСУ космическими аппаратами / М.В. Тюпкин, Р.Ю. Царев // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – №8. – С. 36-38.

Анонсы конференций Красноярского Дома науки и техники

Актуальные Международные и Всероссийские конференции с открытыми датами для регистрации.

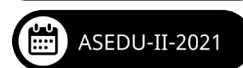
Отсканируйте QR-код и перейдите в карточку конференции. Вы можете перейти на сайт выбранной конференции и оставить заметку о дате конференции в календаре своего смартфона.

II МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



ASEDU

Advances in Science, Engineering
and Digital Education



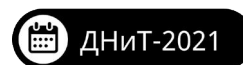
VI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

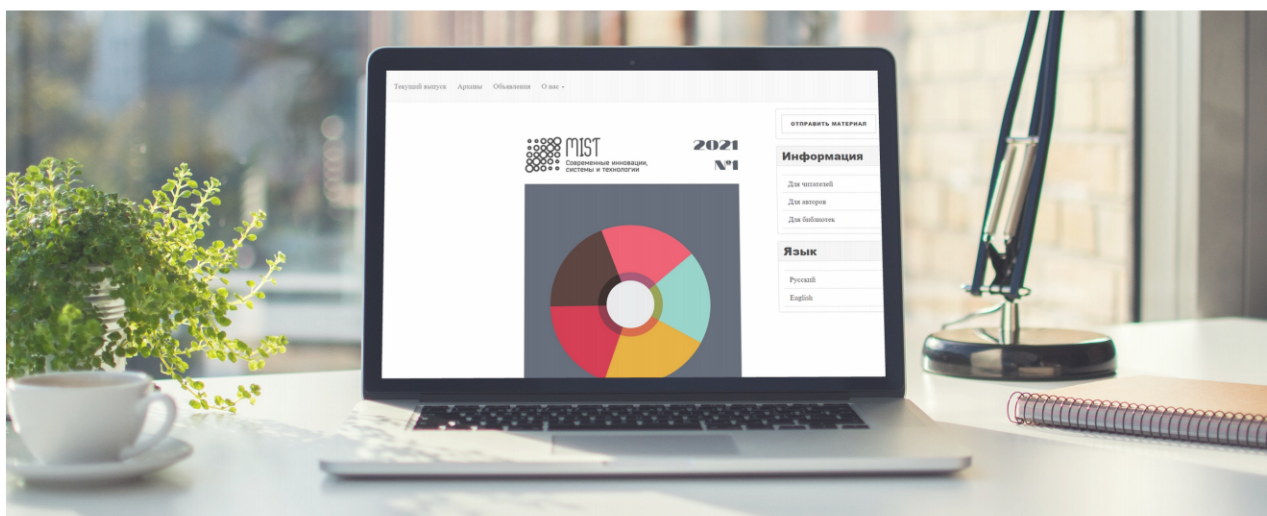


ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



Достижения науки
и
технологии





Тематика журнала

Управление, вычислительная техника и информатика

Науки о Земле, химия и химическая технология

Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь

Машиностроение, металлургия и материаловедение

Транспорт, авиационная и ракетно-космическая техника

Проблемы флота и кораблестроения

Физика, математика и механика

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых, проблемы нефти и газа.

Энергетика, электрификация и энергетическое машиностроение

Строительство и архитектура

Инженерные агропромышленные науки и лесное хозяйство

Прикладные вопросы и задачи применения систем и технологий