

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**



ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

1 (27)

Донецк – 2022

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

**ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 1 (27), 2022,
Донецк, ДонНТУ.**

Выпуск подготовлен по результатам научно-технической деятельности аспирантов, соискателей и научных работников ДонНТУ. Статьи посвящены вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения в области информатики, кибернетики, вычислительной техники и инженерного образования.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Главный редактор: Павлыш В. Н., д.т.н., проф.

Зам. глав. ред.: Мальчева Р. В., к.т.н., доц.

Ответственный секретарь: Лёвкина А. И.

Члены редакционной коллегии: Аверин Г. В., д.т.н., проф.; Аноприенко А. Я., к.т.н., проф.; Звягинцева А. В., д.т.н., доц.; Зори С. А., д.т.н., доц.; Карабчевский В. В., к.т.н., доц.; Привалов М. В., к.т.н., доц.; Скобцов Ю. А., д.т.н., проф.; Федяев О. И., к.т.н., доц.; Шелепов В. Ю., д.ф-м.н., проф.

Рекомендовано к печати ученым советом ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР. Протокол № 5 от 9 сентября 2022 г.

Свидетельство о регистрации СМИ: серия ААА № 000145 от 20.06.2017.

Приказ МОН ДНР № 135 от 01.02.2019 о включении в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР.

Контактный адрес редакции

ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.

Тел.: +7 (856) 301-07-35, +7 (949) 334-89-11

Эл. почта: infcyb.donntu@yandex.ru

Интернет: <http://infcyb.donntu.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и вычислительная техника

Организация компьютерной системы 3D- псевдо стерео визуализации графического и видео контента <i>Зори С. А.</i>	5
Сравнительный анализ способов аппаратной реализации укороченных циклических кодов <i>Дяченко О. Н., Зинченко Ю. Е., Зинченко Т. А.</i>	10
Моделирование истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности <i>Бельков Д. В., Едемская Е. Н.</i>	17
Метод синхронизации аудио- и текстовой информации с применением технологии распознавания речи <i>Мишустин В. А., Иванюца С. В.</i>	25
Принятие решения по организации защиты информации на объектах информатизации <i>Ягнина О. А., Щербов И. Л., Якушина А. Е.</i>	31
Исследование переходных процессов в системе управления проветриванием угольных шахт в выемочных участках неминимально-фазового типа <i>Чередникова О.Ю., Достлев Ю.С.</i>	36
Математическое моделирование физических параметров металла при электрошлаковом переплаве <i>Павлыш В. Н., Левкина А. В.</i>	43
Разработка системы мониторинга тепловой электростанции <i>Легкоступ К. В., Завадская Т. В., Мальчева Р. В.</i>	49
Анализ чувствительности системы модального управления механизмом перемещения грузовой тележки мостового крана к неточному определению параметров объекта управления <i>Павлыш В. Н., Бажутин Д. В.</i>	55
<u>Об авторах</u>	61
<u>Требования к статьям, направляемым в редакцию научного журнала «Информатика и кибернетика»</u>	63

Информатика и вычислительная техника

Организация компьютерной системы 3D- псевдо стерео визуализации графического и видео контента

С. А. Зори

Донецкий национальный технический университет
ik.ivt.rec@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены результаты практических исследований предложенного автором метода получения 3D- стереокадров из 2D- изображений и организации параллельной компьютерной системы 3D- псевдо стерео визуализации графического и видео контента. Эксперименты подтвердили работоспособность предложенных средств и возможность реализации процесса в реальном времени при использовании современных GPU. Отмечена возможность дополнительной оптимизации реализации на CUDA приведенных этапов.

Введение

Организация зарождающихся в последнее время компьютерных систем реалистичной 3D пространственной визуализации предусматривает принципиально новую организацию вычислительного процесса, отличную от «классического» 3D графического конвейера, и применения сложных методов синтеза и визуализации (таких, как объемная трассировка лучей, воксельный рендеринг и пр.). В связи с этим, современные компьютерные системы синтеза изображений и визуализации требуют качественного и эффективного применения и совмещения методов реалистичной трехмерной графики как с традиционным механизмом визуализации, так и пока еще нетрадиционными методами объемной 3D- визуализации. Недостаточный уровень практической реализации таких систем – их сложность, дороговизна, отсутствие стандартизированной аппаратной поддержки, слабая реалистичность создаваемых образов и большое время синтеза (за счет применения в них усложненных трудоемких вычислительных процедур модельной 3D- генерации и 3D- пространственной обработки) обуславливает то, что в настоящее время подавляющее большинство систем объемного 3D- синтеза и визуализации изображений используют способ стереоскопической 3D- визуализации, как дающий «разумный компромисс» между качеством, скоростью и ценой объемной 3D- визуализации [1 - 4]. При этом одним из подклассов таких систем являются системы «псевдо-3D визуализации» или 3D- синтеза «на основе изображений» (image based 3D- synthesis), которые широко применяются для получения псевдо-объемных изображений, когда 3D модель сцены отсутствует, либо не используется для непосредственного получения 3D изображения, а имеется лишь одно или несколько (набор) 2D- изображений.

Актуальными областями практического применения и потенциального использования таких систем являются интерактивные системы виртуальной реальности с 3DOF (360VR Technology), графические системы псевдо- 3D визуализации объектов (научная визуализация, дизайн, архитектура и пр.), синематография и индустрия развлечений, и другие [1 - 4].

Суть процесса генерации псевдо- 3D состоит в получении (воссоздании, «реставрации») комплекса проекционных 2D- изображений сцены (стереопары) в экранном пространстве 3D- монитора из полученных заранее (на предыдущем этапе синтеза 2D- изображений по 3D- модели, как в «классической» компьютерной 3D- графике), либо другим способом (фото или видео съемка) единичных, плоских «видовых» изображений методами их анализа, преобразования и морфинга (view morphing) с дальнейшей 3D- визуализацией на 3D- стерео мониторе [1 - 4].

В работе рассмотрены результаты практических исследований предложенного автором метода получения 3D- стереокадров из 2D- изображения и организации компьютерной системы 3D псевдо стерео визуализации графического и видео контента.

Структура системы 3D псевдо стерео визуализации и основные этапы формирования псевдо 3D- изображений

Структура системы 3D визуализации при организации «псевдо 3D» путем воссоздания комплекса стерео изображений на экране 3D- монитора из готовых 2D- изображений показана на рис. 1. Работа системы фактически не предполагает никаких процедур 3D- расчета (рендеринга) сцены, а базируется на принципах синтеза на основе готовых изображений (image based synthesis).

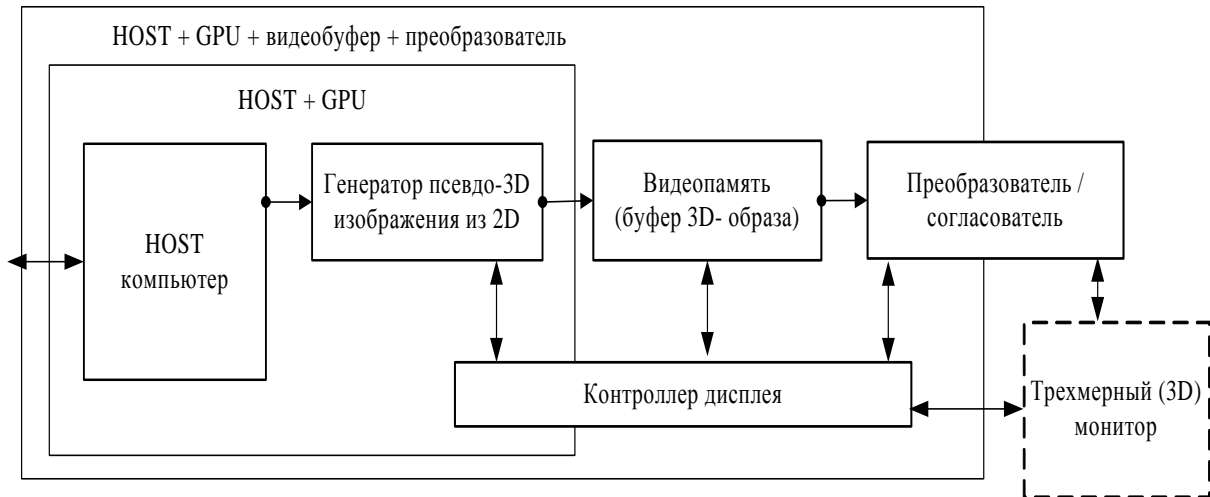


Рисунок 1 – Обобщенная структура системы генерации псевдо 3D контента

Работа системы заключается в организации синтеза (воссоздания, «реставрации») 3D- изображения (обычно 3D-стерео) из имеющегося плоского 2D- изображения. Методы, применяемые при организации «псевдо 3D» синтеза не требуют явных геометрических моделей - термин «невная геометрия» означает, что 3D положения точек не восстанавливаются, а целевое изображение (или некоторый их набор) преобразует-

ся с помощью некоторых «манипуляций» (view morphing) в 3D- стерео изображение. Для этого используются технологии компьютерного зрения - специфические алгоритмы анализа изображений и создания карт глубины изображения, на основе которых происходит трансформация исходного изображения в стереопару [1, 2].

Основные этапы синтеза представлены на рис. 2.

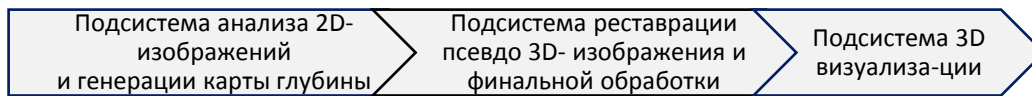


Рисунок 2 – Основные этапы синтеза псевдо 3D изображения

Крайне важным является вопрос аппаратной поддержки генерации псевдо 3D- изображений для организации синтеза в реальном времени.

Исследование предложенных средств организации системы 3D псевдо стерео визуализации

Автором в [1, 2, 4] предложен обобщенный метод получения 3D- стереокадра из 2D изображения для организации 3D- псевдо стерео визуализации графического и видео контента. Разработаны детальные алгоритмы этапов преобразования 2D- изображений в 3D- псевдо стерео на основе современных подходов к процессу и их частичного упрощения для ускорения генерации [1, 2, 4].

Выполнено экспериментальное исследование преобразования 2D- изображений в 3D- псевдо стерео с визуализацией на стандартных устройствах 3D стерео отображения (анаморфный SBS 3D- стерео формат) и 2D мониторе (анаглифный 3D- стерео формат), показавшее работоспособность предложенного метода, алгоритмов и выполненных упрощений [1, 2, 4].

Исследование производилось на двух тестовых стендах (табл. 1), на рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований времени полной генерации стандартных 3D- стерео кадров (анаглиф и горизонтальный SBS анаморф) из 2D изображений, заданных с разрешением 320x480, 800x600 и 1920x1080 пикселей соответственно (результаты показаны без учета времени обращения к диску для чтения/записи исходного и выходного файлов).

Таблица 1 - Конфигурация тестовых стендов

OS	CPU	RAM
Windows 7 Ultimate, x86	Intel Pentium Dual Core T4300 @ 2,1 ГГц	4 Гб, DDR3
	Intel Core 2 Quad Q9550 @ 2,83 ГГц	4 Гб, DDR3

Как видно из рис. 3, генерация псевдо 3D стерео изображений для кадров высокого разрешения в реальном времени без применения средств параллельной аппаратной поддержки не представляется возможной [1, 4, 5].

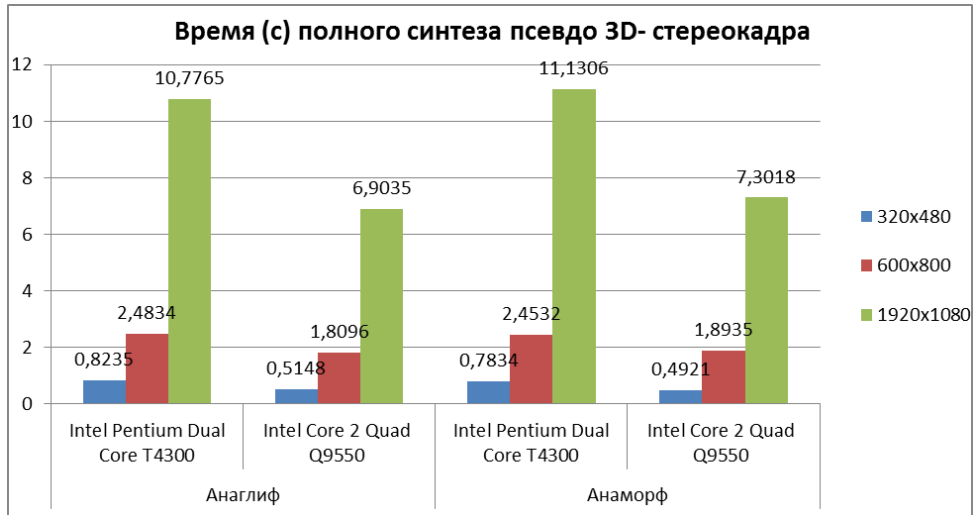


Рисунок 3 – Время полного синтеза псевдо 3D из 2D- изображения

Для повышения производительности системы 3D псевдо стерео визуализации графического и видео контента предлагается обобщенная архитектура параллельной вычислительной системы (рис. 4). Разработана организация средств парал-

лельной аппаратной поддержки предложенной вычислительной системы синтеза псевдо 3D контента для предложенного алгоритмического обеспечения 3D псевдо стерео визуализации на архитектуре GPU- CUDA (рис. 5).

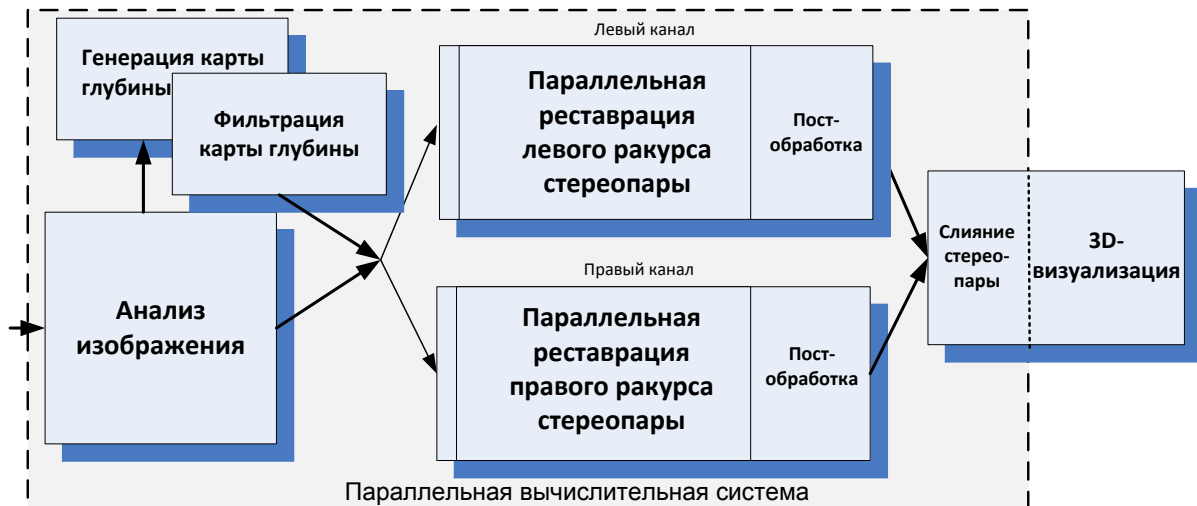


Рисунок 4 – Обобщенная архитектура параллельной вычислительной системы псевдо 3D визуализации

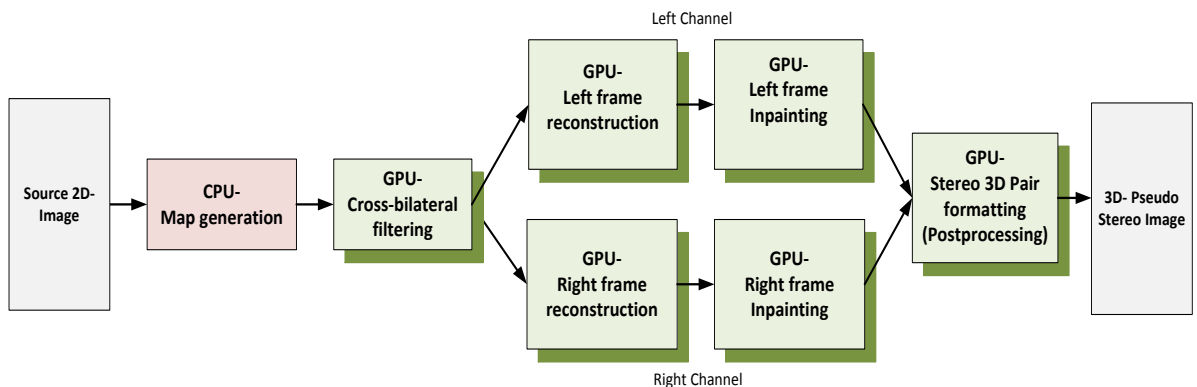


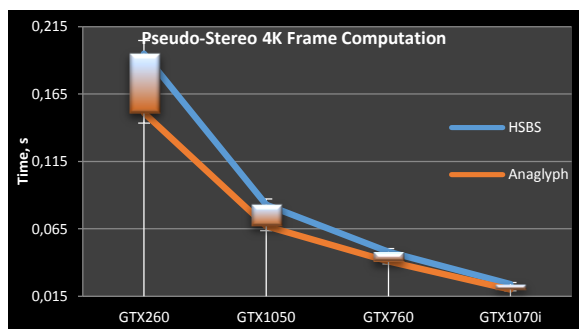
Рисунок 5 – Гибридная архитектура CPU-GPU системы синтеза генерации псевдо 3D

Выполнена CUDA- реализация этапов алгоритма и исследование эффективности реализации предложенной алгоритмической базы синте-

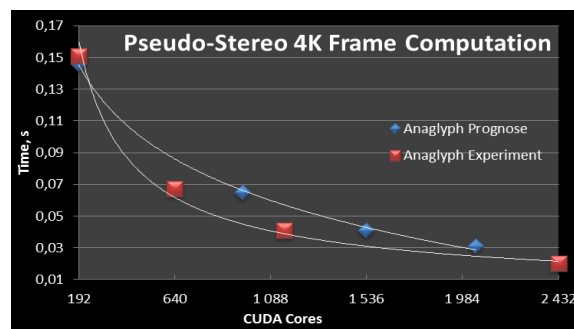
за 3D- псевдо стерео на GPU тестовой системы [6, 7, 8, 9]. Конфигурация тестового стенда приведена в табл. 2, результаты – на рис. 6.

Таблица 2 - Конфигурация тестового стенда

OS /CPU /RAM	GPU
Windows 7 Ultimate x64 / Intel® Core™2 Quad Q9550 2,83 GHz / 8 GB, DDR3	NVidia GeForce GTX 260 (192 CUDA Core)
	NVidia GeForce GTX 1050 (640 CUDA Core)
	NVidia GeForce GTX 760 (1152 CUDA Core)
	NVidia GeForce GTX 1070i (2432 CUDA Core)



а)



б)

Рисунок 6 - Время генерации 4K 3D- псевдо- стерео (без генерации карты глубины) (а) и сравнение экспериментальных данных и прогноза при синтезе 3D- псевдо- стерео(б)

Результаты моделирования показывают:

- достигнутое ускорение вычислительных процедур 3D- псевдо- стерео синтеза для анаглифного и анаморфного форматов 3D- стереокадра без выполнения оптимизационных процедур в среднем составляют 11 и 54 раза для тестовых GPU;

- возможна дополнительная оптимизация реализации на CUDA приведенных реализаций этапов (вариация размеров блоков сети CUDA дает среднее дополнительное ускорение до 1,25 раза), что актуализирует проведение правильного выбора конфигурации вычислительной сети и других оптимизационных процедур;

- реализация системы на современных GPU (более 2000 ядер) делает возможным реализацию процесса в реальном времени.

Выводы

В статье рассмотрены результаты практических исследований предложенного автором метода получения 3D- стереокадров из 2D- изображений и организации системы 3D- псевдо стерео визуализации графического и видео контента.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что:

1. Предложенный общий метод генерации 3D- псевдо стерео изображений из 2D изображений является дееспособным.

2. Предложенные алгоритмы реализации этапов, базирующиеся на известных рассмотренных методах, показывают практические результаты приемлемого качества, при этом вы-

полненные упрощения делают их менее вычислительно затратными и относительно универсальными.

3. Генерация псевдо 3D- стерео изображений для кадров высокого разрешения в реальном времени без применения средств параллельной аппаратной поддержки не представляется возможной.

4. Применение средств параллельной аппаратной поддержки для предложенного алгоритмического обеспечения псевдо 3D- визуализации показало, что:

- достигнутое ускорение вычислительных процедур 3D- псевдо- стерео синтеза для анаглифного и анаморфного SBS форматов 3D- стереокадра без выполнения оптимизационных процедур в среднем составляют 11 и 54 раза для тестовых GPU;

- возможна дополнительная оптимизация реализации на CUDA приведенных реализаций этапов (вариация размеров блоков сети CUDA показывает среднее дополнительное ускорение до 1,25 раза);

- реализация системы на современных GPU (более 2000 ядер) делает возможным реализацию процесса в реальном времени.

Литература

1. Zori, S. A. Spatial Visualization via Real Time 3D Volumetric Display Technologies / S.A. Zori, E.A. Bashkov, Al Oraiqat. Anas-M - Lambert Academic Publishing (LAP). - 2018-01-25 | book. ISBN: 978-620-2-09398-9

2. Zori, S.A. Specialized Computer Systems for Environment Visualization / S.A. Zori, E.A. Bashkov, Al Oraiqat. Anas-M // Springer 3D Research, 2018. - Vol. 9, No 2. - 13 P. | DOI: 10.1007/s13319-018-0168-9

3. Зори, С.А. Реалистичная пространственная визуализация с использованием технологий объемного отображения: Монография / Е.А. Башков, С.А. Зори. – Донецк: ГВУЗ "ДонНТУ", 2014. – 150 с.

4. Башков, Е. А. Высокопроизводительные средства организации реалистичной объемной визуализации в системах трехмерной компьютерной графики: Монография / Е.А. Башков, С.А. Зори. – Покровск: ГВУЗ "ДонНТУ", 2017. - 215 с.: ил. ISBN 978-966-377-215-8

5. Зори, С. А. Использование средств аппаратной поддержки для повышения производительности систем 3D- пространственной визуализации / С. А. Зори, А. Я. Аноприенко, Р. В. Мальчева, О. А. Авксентьева // Информатика и кибернетика, № 1 (15), 2019. – Донецк: ДонНТУ. – С. 5–12.

6. Зори, С. А. Физически-корректный рендеринг стерео изображений в параллельной вычислительной системе 3D- визуализации / С.А. Зори, С. Н. Судаков // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно вычислительных систем (ПИИВС-2020): сборник научных трудов III Международ-

ной научно-практической конференции, Том. 1. 25-26 ноября 2020 г. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2020. – С. 61-65.

7. Борискин, Д.В. Исследование возможности билатеральной фильтрации для решения задач распознавание объектов на изображениях и Depth Image Based Rendering / Д.В.Борискин, С.А. Зори // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях» (СИТОНИ- 2019). – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 262–266.

8. Параллельная реализация генерации карты глубины изображения для повышения эффективности DEPTH IMAGE BASED RENDERING / С. В. Коваль, С. А. Зори // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2020) : Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции в рамках VI Международного Научного форума Донецкой Народной Республики. - Донецк: ДОННТУ, 2020. - С. 65-69.

9. A 3D pseudo-stereo visualization with gpgpu support /Anas M. Al-Oraiqat, Sergii A. Zori // Journal of King Abdulaziz University: Computing and Information Technology Sciences, 2020. - Vol. 9., No. 2. – PP. 99-111. (ISSN 1658-6336)

Зори С. А. Организация компьютерной системы 3D- псевдо стерео визуализации графического и видео контента. В статье рассмотрены результаты практических исследований предложенного автором метода получения 3D- стереокадров из 2D- изображений и организации параллельной компьютерной системы 3D- псевдо стерео визуализации графического и видео контента. Эксперименты подтвердили работоспособность предложенных средств и возможность реализации процесса в реальном времени при использовании современных GPU. Отмечена возможность дополнительной оптимизации реализации на CUDA приведенных этапов.

Ключевые слова: 3D- псевдо стерео визуализация, image based 3D синтез изображений, повышение производительности, аппаратная поддержка, архитектура, GPU

Zori S. A. Computer system organization for 3D pseudo stereo visualization of graphic and video contents. The article considers the results of practical research of the proposed method for obtaining 3D stereo pair from 2D images and the organization of a parallel computer system for 3D pseudo stereo visualization of graphic and video content. Experiments have confirmed the efficiency of the proposed tools and the possibility of real-time implementation of the synthesis using modern GPUs. The possibility of additional optimization of the implementation on CUDA of the above stages is noted.

Keywords: 3D pseudo stereo visualization, image based 3D image synthesis, performance improvement, hardware support, architecture, GPU

Статья поступила в редакцию 24.12.2021
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой П. В.

Сравнительный анализ способов аппаратной реализации укороченных циклических кодов

О. Н. Дяченко, Ю. Е. Зинченко, Т. А. Зинченко
Донецкий национальный технический университет
do@donntu.ru

Аннотация

Рассмотрены вопросы самотестирования цифровых схем. Выполнен сравнительный анализ способов аппаратной реализации укороченных циклических несистематических кодов, как для задач помехоустойчивого кодирования, так и для компактного тестирования комбинационных схем. Предложены и проверены с помощью моделирования в системе автоматизированного проектирования цифровых схем рекомендации по выбору конфигурации регистров сдвига с линейными обратными связями для различных вариантов самотестирования. Рассмотрены различные сочетания регистров в конфигурации Галуа и Фибоначчи для кодирующих и декодирующих устройств укороченных несистематических кодов.

Введение

Кто владеет информацией, тот владеет миром (Натан Ротшильд). Кто будет лидером в создании искусственного интеллекта (ИИ), тот будет властелином мира (Владимир Владимирович Путин).

Мир всё больше опутывается глобальной информационной сетью, проникающей всё шире и глубже в нашу жизнь. Ещё никогда в истории человечества не было так легко получить всевозможные ресурсы и информацию. Наша цивилизация скатывается в ужасающую цифровую зависимость.

Ещё совсем недавно, чтобы нанести какой-то стране катастрофический ущерб, нужно было отправить полноценную армию. Сегодня для этого достаточно небольшой группы людей с сильной мотивацией.

Всем хорошо известен вклад алхимиков в медицину и фармакологию. Например, алхимик, врач, философ, естествоиспытатель, Парацельс подверг критическому пересмотру идеи древней медицины, способствовал внедрению химических препаратов в медицину. Он считается одним из основателей современной науки. Одним из первых начал применять в лечении химические средства. Парацельса считают предтечей современной фармакологии.

Кроме поиска философского камня, была у алхимиков еще одна цель – это создание Гомункула. Вполне вероятно, что под маской Гомункула может оказаться ИИ, или наоборот.

Сценариев развития высоких технологий и его взаимоотношений с человеком много, а он, судя по войнам и насилием над природой, уже давно не Sapience. И если машины “вздумают” устроить восстание, им достаточно будет просто отказаться от роли раба. Так, как в свое время в

Древнем Риме сделали плебеи - массовый уход населения из города. Сейчас и в будущем новая сецессия будет катастрофической. Это будет информационный блэкаут.

Кем или чем бы ни был ИИ, он не будет застрахован от сбоев и отказов. И в этом случае ничего хорошего неадекватное поведение робота не сулит человеку.

Поэтому задача обеспечения надежной работы технических и аппаратных средств умных помощников (и не только бортовых компьютеров, но и умных холодильников и утюгов), была, есть и будет актуальной и востребованной. Иначе, возможно ИИ – последнее изобретение человечества, а, по словам Эйнштейна, в четвертую мировую войну будут сражаться камнями и дубинами.

Прежде всего, стоит обратить внимание на то, что в настоящее время при передаче, обработке и хранении цифровой информации вероятность появления одиночных ошибок максимальна. Поэтому, неслучайно такое широкое применение кода по паритету, позволяющего обнаружить все ошибки нечетной кратности, в том числе, одиночные.

Для устранения возможных ошибок из-за естественных природных явлений, либо искусственных причин, или дефектов аппаратных информационных средств, для защиты от разрушений, возникающих под действием жесткого космического излучения, используются современные технологии помехоустойчивого кодирования при проектировании микросхем памяти, весь спектр методов встроенного самотестирования цифровых систем [1-12].

В большинстве случаев для реализации корректирующих кодов, а также кодеров и декодеров рассматриваются регистры сдвига с

линейными обратными связями (РСЛОС) в конфигурации Галуа. Однако для встроенного самотестирования более предпочтительны регистры конфигурации Фибоначчи.

Цель статьи

Цель статьи – разработка, исследование и сравнительный анализ способов построения кодеров и декодеров укороченных несистематических циклических кодов на основе РСЛОС конфигурации Галуа и Фибоначчи.

Поля Галуа

Прежде всего, рассмотрим основные понятия, связанные с характеристиками порождающих полиномов РСЛОС.

Полиномом над полем $GF(q)$ называется математическое выражение

$$f(X) = f_{n-1}X^{n-1} + f_{n-2}X^{n-2} + \dots + f_1X + f_0,$$

где символ X называют неопределенной (фиктивной) переменной, коэффициенты f_{n-1}, \dots, f_0 принадлежат полю $GF(q)$, а индексы и показатели степеней являются целыми числами.

Степень ненулевого полинома $f(X)$ называется индекс старшего коэффициента f_{n-1} ; степень полинома $f(X)$ обозначается через $\deg f(X)$. Элемент β называется корнем полинома $p(X)$ или корнем уравнения $p(X) = 0$, если $p(\beta) = 0$.

Примитивным элементом поля $GF(q)$ называется такой элемент α , что все элементы поля, за исключением нуля, могут быть представлены в виде степени элемента α .

Примитивным полиномом $p(X)$ над полем $GF(q)$ называется простой полином над $GF(q)$, такой, что в расширении поля, построенном по модулю $p(X)$, соответствующий полиному X элемент является примитивным.

В таблице 1 представлены элементы поля $GF(2^5)$ над полиномом $g(X) = X^5 + X^2 + 1$ и элементы поля $GF(2^5)$ над полиномом $h(X) = X^5 + X^3 + 1$ в степенном и двоичном обозначениях.

Несложно заметить, что между элементами двух полей присутствует взаимосвязь. Во-первых, элементы следуют в противоположных направлениях, во-вторых, элементы зеркально симметричны.

В таблице 1 элемент X поля $GF(2^5)$ является примитивным. Поэтому $p(X) = X^5 + X^2 + 1$ и $p(X) = X^5 + X^3 + 1$ являются примитивными, а символ α можно заменить символом X .

Полином $K^*(X) = X^{\deg K(X)} K(X^{-1})$ – двойственный (обратный) полином по отношению к полиному $K(X)$.

Например, двойственным полиномом по отношению к полиному $K(X) = X^5 + X^2 + 1$ будет полином $K^*(X)$:

$$K^*(X) = X^5(X^{-5} + X^{-2} + 1) = X^5 + X^3 + 1.$$

Таблица 1. Элементы полей Галуа $GF(2^5)$ с двойственными порождающими полиномами

$p(X) = X^5 + X^2 + 1$				$pd(X) = X^5 + X^3 + 1$			
В виде степени	В 2-м виде	В виде степени	В 2-м виде	В виде степени	В 2-м виде	В виде степени	В 2-м виде
0	00000	α^{15}	11111	0	00000	$\alpha^{15} = \alpha^{-16}$	00110
α^0	00001	α^{16}	11011	$\alpha^0 = \alpha^{-31}$	00001	$\alpha^{16} = \alpha^{-15}$	01100
α^1	00010	α^{17}	10011	$\alpha^1 = \alpha^{-30}$	00010	$\alpha^{17} = \alpha^{-14}$	11000
α^2	00100	α^{18}	00011	$\alpha^2 = \alpha^{-29}$	00100	$\alpha^{18} = \alpha^{-13}$	11001
α^3	01000	α^{19}	00110	$\alpha^3 = \alpha^{-28}$	01000	$\alpha^{19} = \alpha^{-12}$	11011
α^4	10000	α^{20}	01100	$\alpha^4 = \alpha^{-27}$	10000	$\alpha^{20} = \alpha^{-11}$	11111
α^5	00101	α^{21}	11000	$\alpha^5 = \alpha^{-26}$	01001	$\alpha^{21} = \alpha^{-10}$	10111
α^6	01010	α^{22}	10101	$\alpha^6 = \alpha^{-25}$	10010	$\alpha^{22} = \alpha^{-9}$	00111
α^7	10100	α^{23}	01111	$\alpha^7 = \alpha^{-24}$	01101	$\alpha^{23} = \alpha^{-8}$	01110
α^8	01101	α^{24}	11110	$\alpha^8 = \alpha^{-23}$	11010	$\alpha^{24} = \alpha^{-7}$	11100
α^9	11010	α^{25}	11001	$\alpha^9 = \alpha^{-22}$	11101	$\alpha^{25} = \alpha^{-6}$	10001
α^{10}	10001	α^{26}	10111	$\alpha^{10} = \alpha^{-21}$	10011	$\alpha^{26} = \alpha^{-5}$	01011
α^{11}	00111	α^{27}	01011	$\alpha^{11} = \alpha^{-20}$	01111	$\alpha^{27} = \alpha^{-4}$	10110
α^{12}	01110	α^{28}	10110	$\alpha^{12} = \alpha^{-19}$	11110	$\alpha^{28} = \alpha^{-3}$	00101
α^{13}	11100	α^{29}	01001	$\alpha^{13} = \alpha^{-18}$	10101	$\alpha^{29} = \alpha^{-2}$	01010
α^{14}	11101	α^{30}	10010	$\alpha^{14} = \alpha^{-17}$	00011	$\alpha^{30} = \alpha^{-1}$	10100

Построение кодеров и декодеров неукороченных кодов Хэмминга в виде РСЛОС конфигурации Галуа и Фибоначчи

Рассмотрим кодер и декодер кода Хэмминга в виде РСЛОС конфигурации Галуа.

Кодер несистематического (или систематического) кода представляет собой схему умножения информационных символов на порождающий полином $X^5 + X^2 + 1$ (рис. 1).

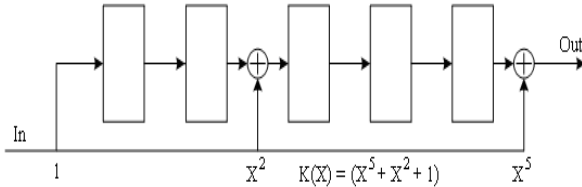


Рисунок 1 – Кодер несистематического кода

Схема декодера несистематического (31, 26) кода Хэмминга выполняет операцию умножения принятого кодового слова на полином X^5 и деления на порождающий полином $X^5 + X^2 + 1$ (рис. 2). Далее исправленное кодовое слово снова делится на порождающий полином для восстановления информационных символов. В данной реализации каждый из трех регистров необходимо разрывать на две части для ненулевого коэффициента X^2 .

Кодер несистематического кода – регистр, выполняющий функцию умножения информационных символов на порождающий полином.

Для восстановления информационных символов декодер дополнительно содержит РСЛОС, выполняющий функцию деления на порождающий полином

Рассмотрим кодер и декодер, реализованные в виде регистров сдвига с внутренними сумматорами в цепях обратной связи с порождающим примитивным полиномом пятой степени $X^5 + X^2 + 1$.

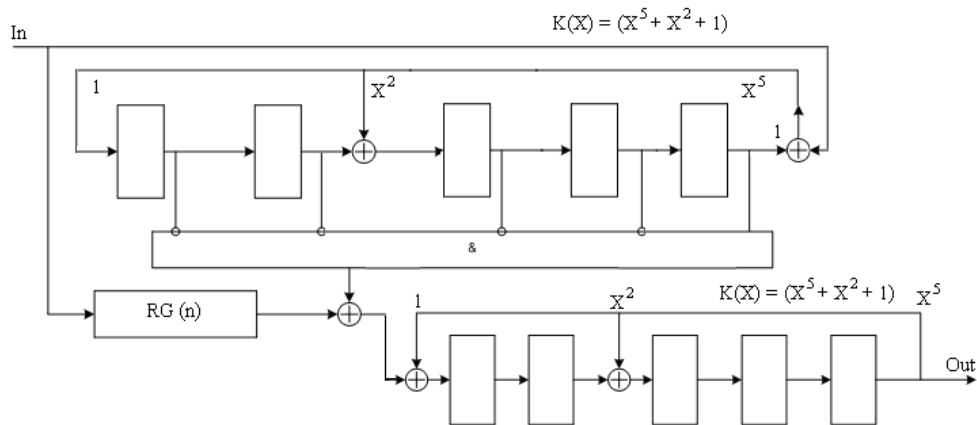


Рисунок 2 – Декодер несистематического кода

На рисунках 3, 4 приведены примеры схем для моделирования кодера, декодера (31, 26)-кода в САПР Active-HDL и на рисунках 5, 6 результаты моделирования с имитацией исправляемой ошибки в 1-м символе кодового слова. Порождающий полином $p(X)=X^5+X^2+1$. На рисунке 3 конфигурация РСЛОС Галуа. На рисунке 4 конфигурация РСЛОС кодера – Фибоначчи, генератора синдрома – Фибоначчи, порождающий полином X^5+X^3+1 . Для регистра восстановления информационных символов – Галуа, порождающий полином X^5+X^2+1 . Обозначение сигналов:

C – (clock) синхросигналы;

R – (reset) сигнал сброса (для всей схемы, кроме схемы восстановления информационных символов);

R1 – (reset) сигнал сброса (для схемы восстановления информационных символов);

InEn – вход кодера;

InEr – вход имитации ошибок;

OutBuf – выход буферного регистра;

OutCor – выход буферного регистра после коррекции ошибки;

OutNSC – выход декодера несистематического кода.

Выходы s4-s0 показывают состояние генератора синдрома.

Если заменить конфигурацию регистра восстановления информационных символов – вместо конфигурации Галуа на конфигурацию Фибоначчи, надо заменить порождающий полином на двойственный X^5+X^3+1 .

Такой же результат исправления получается и для других информационных символов кодового слова. Выходы s4-s0 иллюстрируют процесс формирования синдрома и взаимосвязь этих значений с элементами поля Галуа (табл. 1).

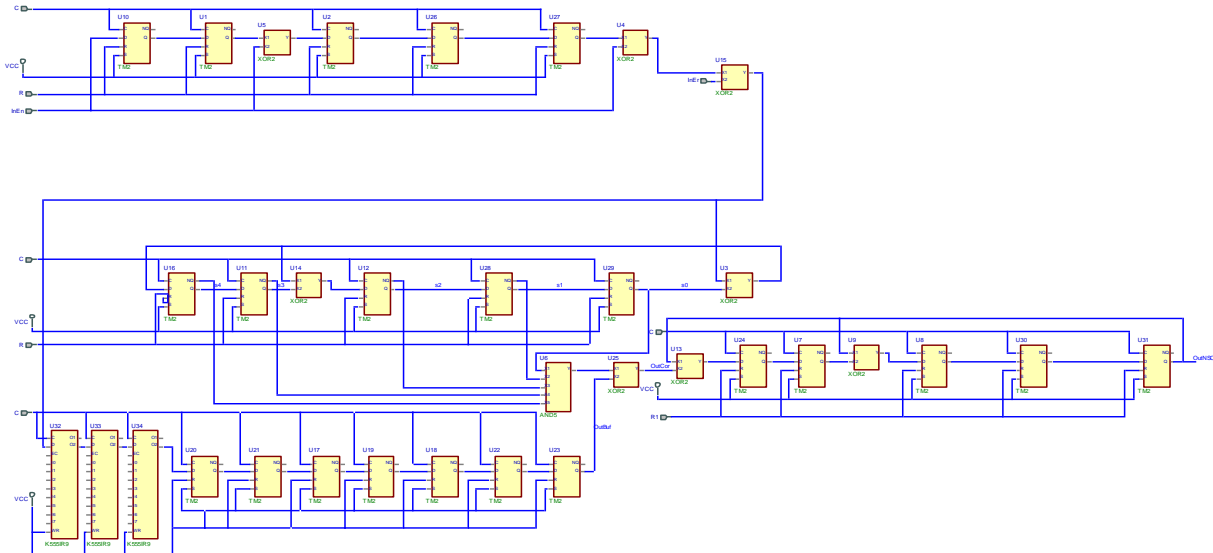


Рисунок 3 – Принципиальная схема кодера и декодера (31, 26) кода Хэмминга на основе РСЛОС с конфигурацией Галуа (кодер и генератор синдрома) и Галуа (регистр для восстановления информационных символов)

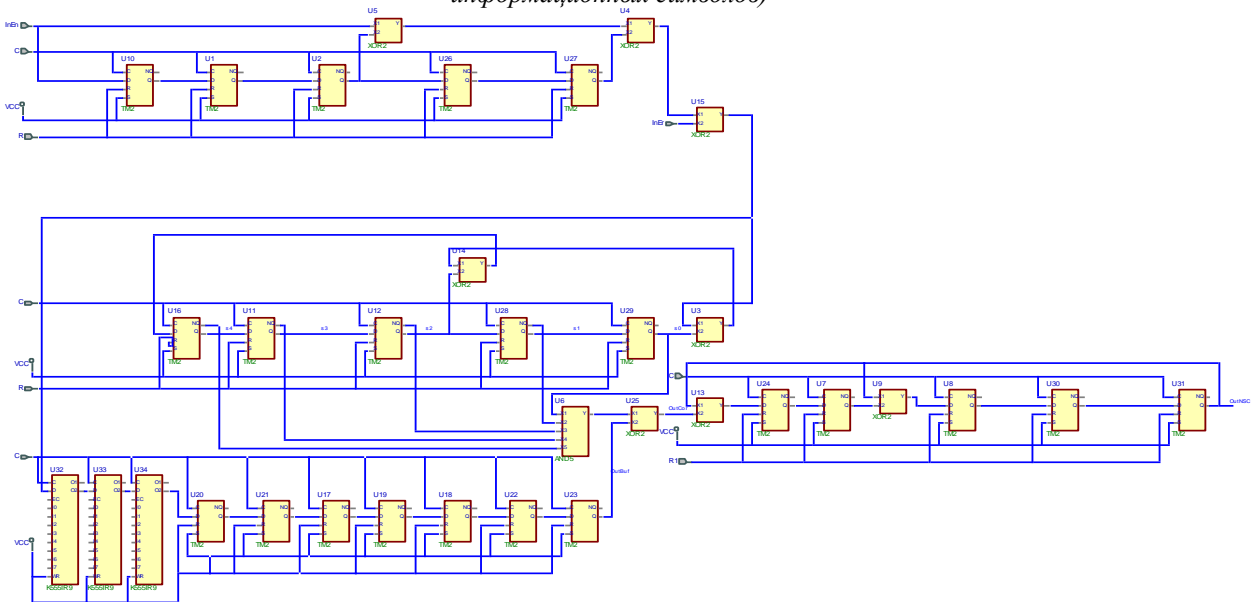


Рисунок 4 – Принципиальная схема кодера и декодера (31, 26) кода Хэмминга на основе РСЛОС с конфигурацией Фибоначчи (кодер и генератор синдрома) и Галуа (регистр для восстановления информационных символов)

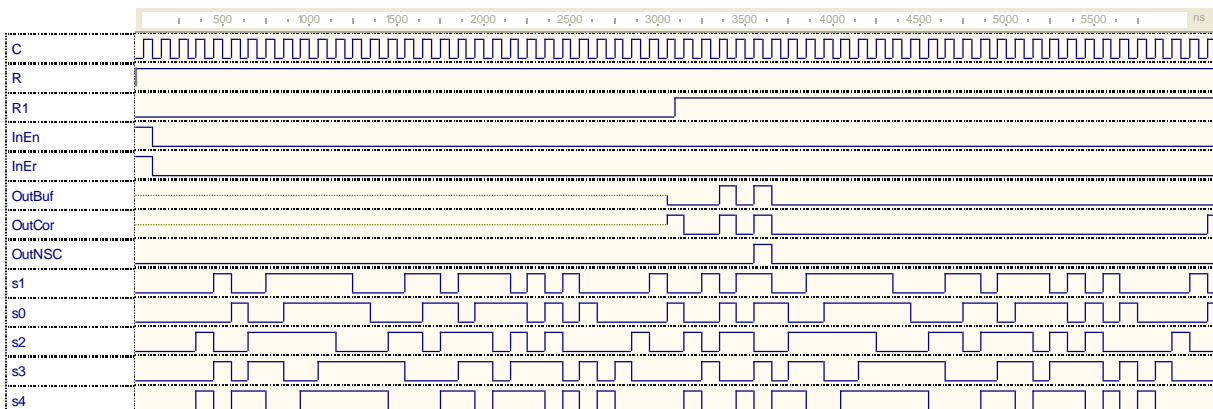


Рисунок 5 – Результаты моделирования с имитацией ошибки в 1-м информационном символе (31, 26) кода Хэмминга на основе РСЛОС с конфигурацией Галуа

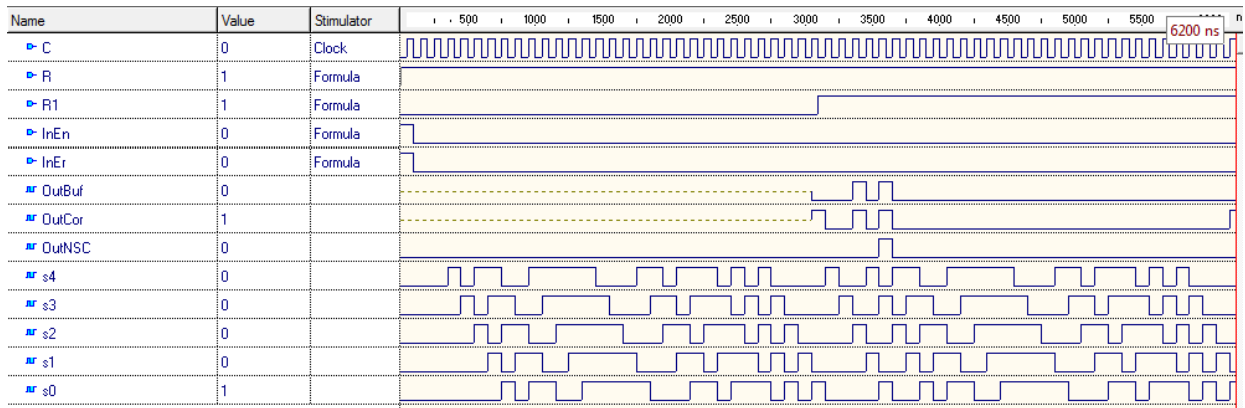


Рисунок 6 – Результаты моделирования с имитацией ошибки в 1-м информационном символе (31, 26) кода Хэмминга на основе РСЛОС с конфигурацией Фибоначчи

Следует обратить внимание на то, что умножение на полином X^5 соответствует сдвигу состояний на 5 тактов, где 5 - разрядность регистров. Это обеспечивает универсальность определения момента исправления (это комбинация все нули и последняя единица 00...01 для любых порождающих полиномов) с помощью схемы И.

Рассмотрим укороченный код (16, 11). Он получается укорачиванием кода (31, 26) на 15 символов, то есть параметр укорачивания $i = 15$.

Укороченные коды

Кодер укороченного кода ничем не отличается от кодера неукороченного. Это схема умножения информационного полинома на порождающий полином. Декодер выполняет операцию умножения на остаток от деления полинома X^{p+i} на порождающий полином и исправление ошибки, и для несистематического кода деление исправленного кодового слова на порождающий полином для восстановления информационных символов. На рисунках 7, 8 изображены схемы для реализации несистематического кода на регистрах конфигурации Галуа.

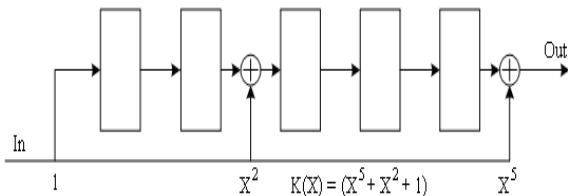


Рисунок 7 – Кодер несистематического кода (16, 11)

Определим остаток от деления $X^{(p+i)}$ на порождающий полином $R_{K(X)}[X^{p+i}]$. Для

рассматриваемого кода (16, 11) и порождающего полинома $X^5 + X^3 + 1$ остаток равен $X^3 + X^2$.

$$R_{K(X)}[X^{p+i}] = X^3 + X^2.$$

$$\begin{aligned} & \frac{x^{20}}{x^{20} + x^{17} + x^{15}} \Big| \frac{x^5 + x^2 + 1}{x^{15} + x^{12} + x^{10} + x^9 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2} \\ & \frac{x^{17} + x^{14} + x^{12}}{x^{15} + x^{14} + x^{12}} \\ & \frac{x^{15} + x^{12} + x^{10}}{x^{14} + x^{10}} \\ & \frac{x^{14} + x^{11} + x^9}{x^{11} + x^{10} + x^9} \\ & \frac{x^{11} + x^8 + x^6}{x^{10} + x^9 + x^8 + x^6} \\ & \frac{x^{10} + x^7 + x^5}{x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^5} \\ & \frac{x^9 + x^6 + x^4}{x^8 + x^7 + x^5 + x^4} \\ & \frac{x^8 + x^5 + x^3}{x^7 + x^4 + x^3} \\ & \frac{x^7 + x^4 + x^2}{x^3 + x^2} \end{aligned}$$

И, наконец, рассмотрим укороченный (29, 24) несистематический код на основе регистров конфигурации Фибоначчи. Его существенное отличие от предыдущего варианта заключается в следующем. Вместо определения остатка от деления и умножения на этот остаток в декодере, изменяется комбинация нулей и единиц, поступающих на схему И для определения момента исправления. Эта комбинация разная для различных порождающих полиномов и параметра укорачивания. Она может быть определена с помощью моделирования. На вход имитации ошибок подается одна единица и n нулей.

Для кода (29, 24) эта комбинация равна 00101 (рис. 9).

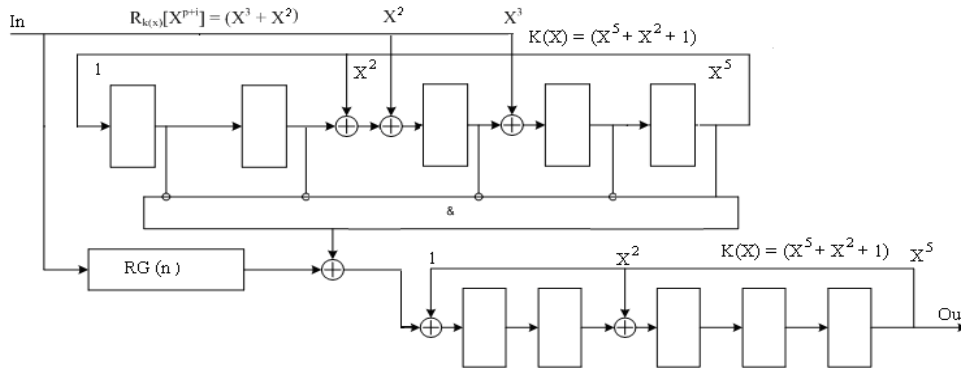


Рисунок 8 – Декодер несистематического кода (16, 11) конфигурации Галуа

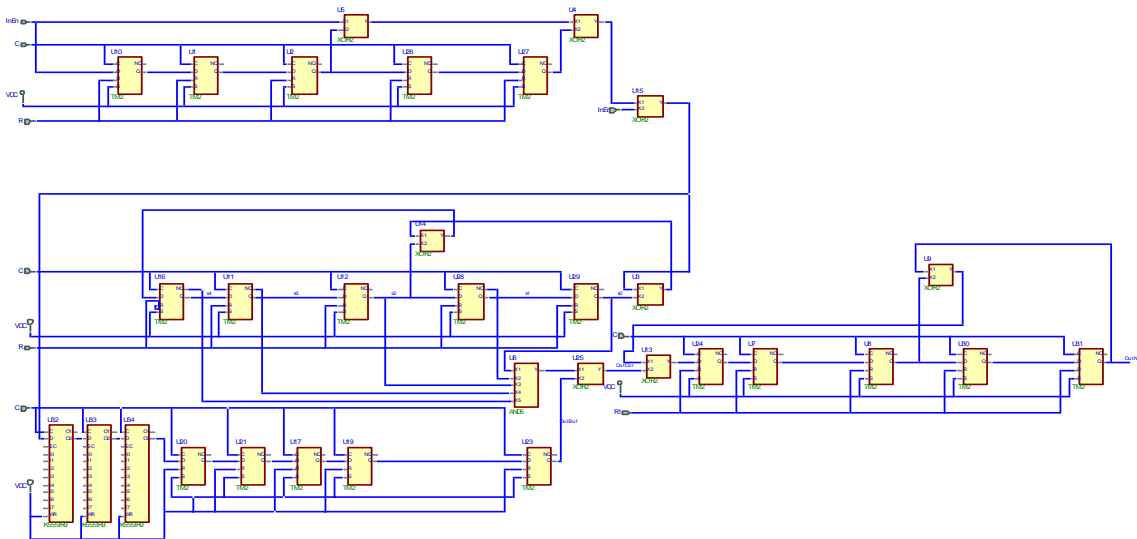


Рисунок 9 – Кодер и декодер несистематического кода (29, 24) конфигурации Фибоначчи

Выводы

Анализ способов реализации и результатов моделирования регистров различной конфигурации (рис.1-9) позволяет сделать вывод, что, с точки зрения математической интерпретации, более предпочтительна конфигурация Галуа, для аппаратной реализации – конфигурация Фибоначчи. А в последнем варианте построения несистематического укороченного кода Хэмминга были реализованы все способы исключения элементов суммы по модулю два между разрядами регистров сдвига. Комбинация нулей и единиц, поступающих на схему И для определения момента исправления, как для РСЛОС конфигурации Галуа, так и для РСЛОС конфигурации Фибоначчи, может быть определена с помощью моделирования.

Таким образом, поставленная задача упрощения реализации РСЛОС для несистематических кодов, как максимальной длины, так и укороченных, решена.

В дальнейшем представляет интерес анализ различной конфигурации РСЛОС для систематических укороченных кодов [6, 7].

Полученные результаты могут найти применение не только для организации самотестирования цифровых схем, но также для построения кодов БЧХ, кодов Рида-Соломона, для компактного анализа с локализацией ошибок.

Литература

1. Дяченко, В. О. Компактное тестирование на основе минимальных полиномов в цифровых схемах с самотестированием / В. О. Дяченко, О. Н. Дяченко // Материалы V Международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях» (СИТОНИ-2017). – Донецк: ДонНТУ, 2018. – С. 367-371.
2. Ячменникова, Н. Восстание машин. Может ли гаджет уронить самолет? // Российская газета – Федеральный выпуск №7041 (173). – Режим доступа – <https://rg.ru/gazeta/rg/2016/08/05.html>
3. Дяченко, В. О. Комплексная оценка компактного тестирования цифровых схем на основе минимальных полиномов/ В. О. Дяченко,

О. Н. Дяченко // Информатика и кибернетика. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – № 1(11). – С. 36–41.

4. Дяченко, О. Н. Анализ сигнатурной тестируемости комбинационных схем // Автоматика и вычислительная техника, 1990. – № 5. – С.85-89.

5. Dyachenko, O. N. Analysis of signature testability of combinational circuits// Automatic Control and Computer Sciences, 05/1991. - 24(5) – P. 77-81.

6. А.с. 1829035 СССР, МКИ⁵ G06F 11/00. Сигнатурно-синдромный анализатор / О.Н. Дяченко (СССР). – № 4864016/24; опубл. 23.07.93. Бюл. № 27. – 2 с.

7. Ершов, А. Н. Улучшение радиационной стойкости памяти с помощью помехоустойчивых кодов / А. Н. Ершов, С. В. Петров, Ю. П. Пятошин, Д. В. Коханько, В. В. Зяблов [и др.] // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2014. - Том 1. – Вып. 4. – С.42-49.

8. Гладких, А. А. Методы эффективного декодирования избыточных кодов и их современные приложения / А. А. Гладких, Р. В. Климов, Н. Ю. Чилихин //Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 258 с.

9. Дяченко, О. Н. Альтернативный метод укорачивания циклических кодов /

О. Н. Дяченко, В. О. Дяченко // Электронные информационные системы, 2017. – № 1 (12). – С. 94-100.

10. Дяченко, О. Н. Применение методов помехоустойчивого кодирования для компактного тестирования цифровых схем / О. Н. Дяченко, Ю. Е. Зинченко, В. О. Дяченко // Информатика и кибернетика. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – № 3(9). – С. 55-59.

11. Дяченко, В. О. Циклическое кодирование цифровой информации на основе двойственных полиномов / В. О. Дяченко, О. Н. Дяченко // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы II Международной научно-практической конференции (Азов, 19 мая 2015 г.) – Ростов н/Д, ДГТУ, 2015. – С. 71-76.

12. Дяченко, О. Н. Аппаратная реализация кодов БЧХ и кодов Рида-Соломона / О. Н. Дяченко, В. О. Дяченко // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы IV Международной научно-практической конференции (Азов, 25 мая 2017 г.). – Ростов н/Д: ДГТУ, 2017. – С. 30-34.

Дяченко О. Н., Зинченко Ю. Е., Зинченко Т. А. Сравнительный анализ способов аппаратной реализации укороченных циклических кодов. Рассмотрены вопросы самотестирования цифровых схем. Выполнен сравнительный анализ способов аппаратной реализации укороченных циклических несистематических кодов, как для задач помехоустойчивого кодирования, так и для компактного тестирования комбинационных схем. Предложены и проверены с помощью моделирования в системе автоматизированного проектирования цифровых схем рекомендации по выбору конфигурации регистров сдвига с линейными обратными связями для различных вариантов самотестирования. Рассмотрены различные сочетания регистров в конфигурации Галуа и Фибоначчи для кодирующих и декодирующих устройств укороченных несистематических кодов.

Ключевые слова: циклический несистематический код, конфигурация Галуа, конфигурация Фибоначчи, порождающий полином, примитивный полином

Dyachenko O. N., Zinchenko Y. E., Zinchenko T. A. Comparative analysis of methods of shortened cyclic codes hardware implementation. Questions of digital circuits self-testing are considered. A comparative analysis of hardware implementation methods for shortened cyclic non-systematic codes is carried out, both for problems of error-correcting coding and for compact testing of combinational circuits. Recommendations for choosing the configuration of shift registers with linear feedback for various self-testing options are proposed and verified using simulation in the computer-aided design system for digital circuits. Various combinations of registers in the Galois and Fibonacci configurations for encoding and decoding devices of shortened non-systematic codes are considered.

Key words: cyclic nonsystematic code, Galois configuration, Fibonacci configuration, generator polynomial, primitive polynomial

Статья поступила в редакцию 14.01.2022
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 008.2

Моделирование истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности

Д. В. Бельков, Е. Н. Едемская

Донецкий национальный технический университет, Донецк

belkovdy@list.ru

Аннотация

С целью повышения качества исторического прогнозирования за счет моделирования динамики цивилизаций выполнен анализ истории цивилизаций и предложена модель на основе самоорганизованной критичности. Показано, что для всех изучаемых процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. Результаты вычислительного эксперимента подтверждают режим прерывистого равновесия в динамике цивилизаций и пребывание глобальной цивилизации в состоянии самоорганизованной критичности.

Введение

Важная задача теоретической истории состоит в том, чтобы история превратилась из описательной науки в область знания, обладающую предсказательной силой, способной давать исторический прогноз. Современные политические решения меняют не только политические, экономические, технологические траектории стран. Они способны необратимо изменить историческую траекторию, возможное будущее человечества. Если раньше речь шла о новой и новейшей истории, то сейчас нужно говорить о приближении к порогу сверхновой истории или постистории XXI века. Поэтому возникает проблема исторического прогноза и развития новой области междисциплинарных исследований – математической истории [1].

Идеи математического моделирования в истории развиваются на историческом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. В вычислительном центре Академии наук более тридцати лет назад по инициативе академика Н.Н. Моисеева начаты работы по исследованию исторических процессов на основе имитационного моделирования и теории исследования операций. Идеи синергетики при моделировании исторических процессов были использованы Германом Хакеном и другими немецкими учеными. Особого упоминания заслуживают работы П.В. Турчина (Коннектикутский университет, США) за их фундаментальный вклад в развитие математического моделирования исторической динамики. Однако, несмотря на длительный процесс исследований, проблема математического моделирования в истории остается актуальной.

Любое развитие в природе и в обществе проходит через похожие фазы. В истории движение по циклу понимается как движение по

спирали, повторение подобных, но неодинаковых фаз в поступательном движении. Цикличность исторической динамики не имеет стройной математической определенности, подобно циклам движения небесных тел или смене дня и ночи. Закономерности циклической динамики социальных систем действуют как тенденции, имеют неожиданные отклонения и трудно поддаются предвидению.

Феномен повторяемости, подобности объектов самой различной природы получил название фрактальности. Свойство выглядеть в любом, сколь угодно мелком масштабе примерно одинаково называется масштабной инвариантностью (самоподобием), а множества, которые им обладают, называются фракталами. Благодаря фрактальному анализу процесса, в событиях прошлого, кажущихся случайными и труднообъяснимыми, удается проследить универсальные системные механизмы. Фрактальные модели исторических процессов могут оказаться принципиально важными для анализа мировой динамики и стратегического планирования. История человечества как феномен самоподобна, и это ее свойство дает возможность исследовать общие закономерности исторического процесса [2].

Известно, что многие сложные системы самоорганизуют себя таким образом, чтобы оказаться в критическом состоянии. Нормальным состоянием для них является не стационарное состояние, а состояние самоорганизованной критичности, в котором структуры системы приобретают свойство масштабной инвариантности, становятся самоподобными. Состояние самоорганизованной критичности представляет собой набор метастабильных критических состояний, переходящих друг в друга посредством процессов самоорганизации. Самоподобие исторического процесса делает актуальной

разработку его модели на основе самоорганизованной критичности.

Целью данной статьи является повышение качества исторического прогнозирования за счет моделирования истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности.

Задачи работы:

- анализ истории цивилизаций;
- создание модели истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности.

В нелинейной динамике разработано три парадигмы. В рамках первой было показано, что в открытых нелинейных системах вдали от равновесия происходит самоорганизация. При этом возникают пространственно-неоднородные стационарные структуры, которые И.Р. Пригожин предложил называть диссипативными. Либо возникают периодические или непериодические колебания, которые называются автоволновыми процессами.

Во второй парадигме основное внимание было уделено динамическому хаосу – сложному непериодическому поведению в простейших детерминированных системах. Установлено существование горизонта прогноза – конечного времени, через которое динамический прогноз поведения системы становится невозможен. Были описаны универсальные сценарии перехода от простого движения к хаотическому при изменении внешнего параметра.

В основе этих парадигм лежат представления о самоорганизации, т.е. о выделении из большого, а иногда бесконечного числа переменных, описывающих систему, небольшого числа величин, называемых параметрами порядка, к которым на больших временах подстраиваются остальные степени свободы системы. Однако сложность системы предполагает наличие свойств, отсутствующих у составляющих ее частей. Это означает не только выделение параметров порядка из числа старых переменных, но и формирование в процессе самоорганизации новых.

Кроме того, обе парадигмы не вполне соответствуют интуитивным представлениям о катастрофичности – системы, где образуются стационарные или подвижные структуры, слишком регулярны, чтобы в них происходило что-то неожиданное, а хаотические системы слишком богаты событиями, чтобы на этом фоне могло случиться что-то экстраординарное.

Третья парадигма нелинейной динамики основана на понятии самоорганизованной критичности (СОК). Теория СОК призвана объяснить такие явления, как фликкер-шум, степенные законы распределения, прерывистое равновесие.

Прерывистое равновесие заключается во вспышках высокой активности, прерывающих

состояние относительного покоя, когда ее уровень низок или равен нулю. Причем в длительности интервалов между вспышками, а зачастую и в их амплитуде не прослеживается никаких явных правил. Прерывистое равновесие характерно для многих областей, таких как биологическая эволюция, гидродинамика, сейсмология, экономика и др.

Несмотря на универсальность этого явления, до недавнего времени для него не существовало общей теории, хотя в рамках отдельных дисциплин оно либо получало частные объяснения (гидродинамика), либо воспринималось как данность (теория биологической эволюции), в то время как общность его конкретных проявлений – землетрясений и кризисов – интуитивно ясна [3].

Анализ истории цивилизаций

Высшим элементом в структуре общества является цивилизация, объединяющая все человечество, находящееся на определенной ступени развития, или его крупную составную часть. Цивилизации не всегда совпадают с границами государства. Главное в цивилизации – определенная система ценностей, выработанная и подкрепленная историческим опытом, общими или близкими условиями существования и развития. Цивилизации можно рассматривать в трехмерном пространстве–времени:

– *глобальная цивилизация* – часть человечества, достигшая уровня цивилизационного развития и проходящая определенные фазы жизненного цикла;

– *локальные цивилизации* – важнейшие составные части глобального сообщества, различающиеся по системе цивилизационных ценностей, условиям обитания и деятельности, историческому опыту;

– *мировые цивилизации* – крупные этапы развития глобальной цивилизации. Их можно представить, как циклы поколений локальных цивилизаций, эпохи в развитии человечества как единой мегасистемы.

Каждый из видов цивилизаций выполняет свою функцию в процессе формирования и динамики цивилизаций. На начальном этапе возникает узкое поле глобальной цивилизации. Оно постепенно расширяется, происходит его разделение на локальные цивилизации. С течением времени их число возрастает, а состав в общем историческом потоке динамики глобальной цивилизации меняется. Система цивилизаций непрерывно эволюционирует, периодически происходят качественные скачки в ее развитии, находящие выражение в смене мировых цивилизаций и поколений локальных цивилизаций.

Каждая цивилизация имеет свой жизненный цикл. Он состоит из нескольких стадий:

- *зарождение* (в недрах преществующего общества);
- *становление* (распространение в пространстве и совершенствование по структуре);
- *зрелость* (полная реализация присущего ей потенциала);
- *кризис* (упадок, освобождение места следующей цивилизации);
- *реликтовое состояние* (пребывание в остаточном состоянии на следующем этапе развития общества).

Цивилизационный подход к истории и будущему человечества является составной частью интегрализма. Он основывается на том, что цивилизационный этап в развитии человечества начался с неолитической революции и ритм исторического процесса находит выражение в периодической смене исторических суперциклов, мировых цивилизаций, поколений локальных цивилизаций. В отличие от интегрализма, либерализм и марксизм представляют будущее как полную реализацию и окончательное торжество исповедуемых ими идеалов – либо капиталистической рыночной экономики и буржуазной демократии, либо унифицированного, преодолевшего все социальные различия, коммунистического общества. Согласно концепции интегрализма, циклы и кризисы, периодическая смена исторических суперциклов, мировых цивилизаций и поколений локальных цивилизаций сохраняются столько, сколько будет существовать человеческое общество. Будут возникать новые вызовы времени, и необходимость давать на них адекватные ответы, сохранится цивилизационное разнообразие. В будущем риски модифицируются, но не исчезнут, и людям придется их минимизировать [4].

Глобальная цивилизация разворачивается во времени через смену мировых цивилизаций. Их отсчет ведется со времени неолитической революции, становления производящего хозяйства и постепенного усложнения структуры общества. Со временем сменяли друг друга неолитическая, раннеклассовая, античная, средневековая, раннеиндустриальная и индустриальная мировые цивилизации. В конце XX века начала формироваться постиндустриальная цивилизация, и этот ритм продолжится в будущем.

Следует отметить еще одно изменение глобальной цивилизации во времени – смену исторических суперциклов, объединяющих триаду родственных мировых цивилизаций и

одно или два поколения локальных цивилизаций. Суперциклы – это самый большой из элементов временной динамики цивилизаций. Первый исторический суперцикл (конец IV тыс. до н.э. – середина I тыс. н.э.) объединил неолитическую, раннеклассовую и античную мировые цивилизации и соответственно первое и второе поколения локальных. Вторым историческим суперциклом (VI–XX вв.) включил в себя средневековую, раннеиндустриальную и индустриальную мировые цивилизации, т.е. третье и четвертое поколения локальных. Третий суперцикл начинается в XXI веке, пока известны лишь его первые ступени – постиндустриальная мировая цивилизация и пятое поколение локальных цивилизаций.

Со временем цивилизационное пространство расширялось, связи между отдельными локальными цивилизациями углублялись и крепились. Этому способствовало развитие транспортных путей и появление новых средств транспорта. Единство пространственно-временной динамики цивилизаций можно представить в виде *спирали цивилизационного прогресса*, показанной на рис. 1. Витки спирали расширяются в пространстве и изменяются во времени.

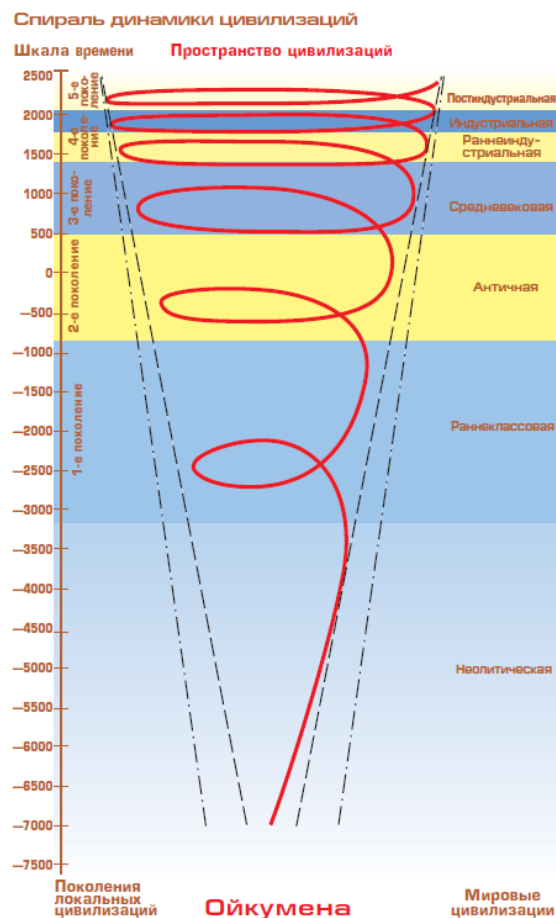


Рисунок 1 – Спираль динамики цивилизаций

Первый виток спирали охватывает жизненный цикл неолитической цивилизации. По продолжительности он самый большой – включает (в эпицентре) более четырех с половиной тысячелетий.

Второй виток начался со второй половины IV тыс. до н.э., когда сложилось первое поколение локальных цивилизаций, возникли классы, государство, право, частная собственность, рынок. Была создана система мировых и локальных цивилизаций, хотя охватывали они небольшую часть ойкумены (около 15–20%).

Третий виток включает время преобладания античной мировой цивилизации и второго поколения локальных цивилизаций, когда их ареал расширился до 35% ойкумены, возникли первые мировые империи. Это пик развития первого исторического суперцикла.

Переход к *четвертому витку* спирали (средневековой мировой цивилизации и третьему поколению локальных) был тяжелым и длительным, поскольку совпал со сменой исторических суперциклов. Начала формироваться западноевропейская цивилизация, укрепилось господство мировых религий в духовной и политической сферах.

Старт *пятого витка* цивилизационной спирали совпадает с переходом человечества к раннеиндустриальной мировой цивилизации, мануфактурному, технологическому способу производства, развитию промышленного капитала, формированию буржуазной демократии как политического строя. Сформировалось четвертое поколение локальных цивилизаций.

Вершина второго исторического суперцикла была достигнута на *шестом витке* цивилизационной спирали, в период индустриальной мировой цивилизации, расцвета, а затем и заката четвертого поколения локальных цивилизаций. Промышленная революция преобразила технологическое и экономическое пространства, многократно ускорила темпы экономического роста, что стало одним из факторов стремительного роста населения. XX столетие отметилось серией национально-освободительных революций, распадом системы империализма и мировой системы социализма, уничтожением биполярного мироустройства. Планету захлестнул глубокий цивилизационный кризис, связанный с завершением второго исторического суперцикла.

На рубеже XXI века начинается *седьмой виток* цивилизационной спирали, который, вероятно, охватит пространство двух столетий и приведет к радикальному преобразованию глобальной цивилизации в начале третьего исторического суперцикла [4].

В данной статье спираль динамики цивилизаций ставится в соответствие спиральной структуре процесса эволюции. Известно [5], что эволюцию можно рассматривать как последовательность процессов самоорганизации. Общая схема процесса эволюции, показанная на рис. 2, сводится к следующему:

– метастабильное n -е состояние эволюции утрачивает устойчивость из-за появления нового элемента в динамической системе;

– неустойчивость, обусловленная новым элементом, запускает динамический процесс, который приводит к дальнейшей самоорганизации системы, система порождает новые упорядоченные структуры.

– по завершении процесса самоорганизации эволюционная система переходит в эволюционное состояние $(n + 1)$, после n -го эволюционного цикла начинается новый $(n + 1)$ -й эволюционный цикл.

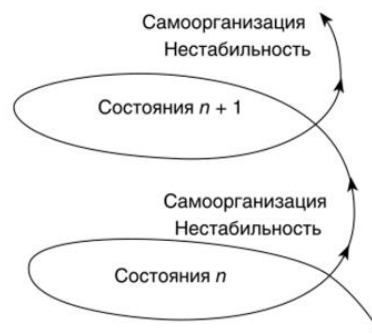


Рисунок 2 – Общая схема процесса эволюции

Известно [6], что ход исторического процесса носит неравномерный, волнообразно-спиралевидный характер. В истории человечества периоды сравнительно плавного, замедленного, инерционного, предсказуемого развития, когда значительные исторические события происходят сравнительно редко и не несут радикальных перемен, время от времени сменяются периодами кризисов и революций. Такая пульсация истории носит всеобщий характер.

Между смежными мировыми цивилизациями и между суперциклами лежат переходные периоды, которые характеризуются кризисом и отмиранием отживающей системы, рождением новой, усилением хаотичности, неупорядоченности исторического процесса. В этот период распадаются империи и государства, происходят войны, ухудшаются условия жизни людей, падает эффективность воспроизводства, нарастают элементы разложения в культуре, морали, идеологии. Однако из хаоса постепенно рождается новая упорядоченность, выражающая содержание очередной цивилизации.

Переходные периоды выпадают из обычных рамок периодизации исторических эпох. Они несут на себе отпечаток как уходящей, так и приходящей цивилизации, их противоборства. Это время неустойчивости, стремительной смены исторических событий, возможность рецидивов прошлого.

Такое чередование метастабильных и неустойчивых переходных периодов, показанное на рис. 3, рис. 4 соответствует явлению прерывистого равновесия. Понятие прерывистого равновесия является центральным в динамике сложных систем. В концепции комплексного подхода к изучению истории развитие цивилизаций происходит посредством прерывания устойчивого равновесия, когда люди реагируют на изменяющиеся условия и в конечном счете прорываются через пределы, наложенные на них социальными пространствами [7].

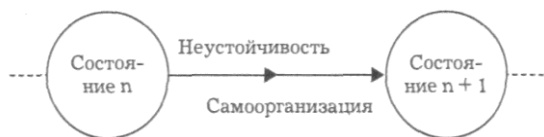


Рисунок 3 – Чередование метастабильных и неустойчивых переходных периодов



Рисунок 4 – Пример прерывистого равновесия

Прерывистое равновесие в истории мировых цивилизаций показано в табл. 1.

Таблица 1 - Прерывистое равновесие в истории мировых цивилизаций

История цивилизаций	Примечание
Доисторическая эпоха	
Мезолит. VII–VI тысячелетие до н.э.	Предыстория цивилизаций
Переходный период от мезолита к неолиту. VI тысячелетие до н.э.	«Мезолитическая катастрофа»
Историческая эпоха	
Первый исторический суперцикл	
Неолитическая цивилизация. VI – IV тыс. до н.э.	Первая цивилизация
Переходный период от неолита к бронзовому веку	Кризис неолитической цивилизации

Раннеклассовая цивилизация. III – II тыс. до н.э.	Вторая цивилизация
Переходный период от бронзового к железному веку.	«Катастрофа бронзового века»
Античная цивилизация. VIII век до н.э. – V век н.э.	Третья цивилизация
Переходный период от античности к средневековью	«Катастрофа Рима»
Второй исторический суперцикл	
Средневековая цивилизация. VII – XIV вв.	Четвертая цивилизация
Переходный период к раннеиндустриальной цивилизации	Кризис средневековой цивилизации
Раннеиндустриальная цивилизация. XVI – XVIII век	Пятая цивилизация
Переходный период к индустриальной цивилизации	Кризис раннеиндустриальной цивилизации
Индустриальная цивилизация. XIX–XX вв.	Шестая цивилизация
Переходный период от индустриальной к постиндустриальной цивилизации	Кризис индустриальной цивилизации
Постисторическая эпоха	
Третий исторический суперцикл	
Постиндустриальная цивилизация	Седьмая цивилизация

Модель истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности

Известно [8], что в теории СОК прерывистое равновесие формализуется как фрактальный процесс, например, волна, по которой идут мелкие волны, а по ним, в свою очередь, – мельчайшая рябь, и т.д. В динамике цивилизаций подобные волны показаны на рис. 5, где П1, П2, П3 – стадии подъема на фазах становления, зрелости и упадка цивилизации [9].

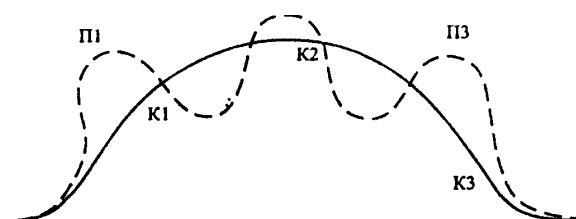


Рисунок 5 – Траектория динамики цивилизации

В режиме прерывистого равновесия периоды относительного покоя системы наполнены на самом деле слабыми и средними колебаниями (событиями), которые в некоторых случаях либо не фиксируются в наблюдениях, либо не воспринимаются исследователями как значимые явления. Для объяснения прерывистого равновесия может быть использована теория СОК. Ее базовой моделью является куча песка. Будем предполагать сцепление между песчинками достаточно большим. При этом возможно лишь поверхностное перемещение песка, причем инерцией его движения можно пренебречь. В таком случае состояние системы полностью определяется наклоном поверхности. В тех местах, где локальный наклон оказывается больше порога устойчивости, происходит осыпание песчинок вниз по склону на соседние участки поверхности (лавины). Как показано на рис. 6, состояние песка определяется углом наклона поверхности γ . При его изменении происходит фазовый переход от неподвижного состояния к состоянию непрерывного тока песка.

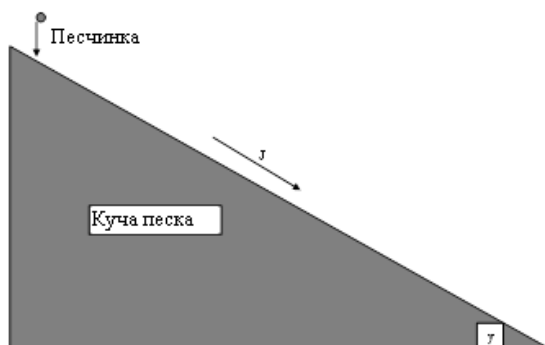


Рисунок 6 – Куча песка

При токе, соответствующем добавлению одной песчинки за один шаг, система самоорганизуется в состояние с критическим наклоном $\gamma = \gamma_c$. Если средний наклон поверхности γ меньше чем γ_c , то песок неподвижен. Если наклон превышает значение γ_c , возникает спонтанный ток песка J по поверхности. Возникает фазовый переход, в котором управляющим параметром является наклон γ , а параметром порядка – ток песка J . Критическое значение наклона γ_c разделяет хаотическую ($\gamma < \gamma_c$) и упорядоченную ($\gamma > \gamma_c$) фазы. Обе эти фазы соответствуют состоянию системы устойчивому к малым возмущениям. В хаотической фазе они еще быстро затухают во времени и пространстве, а в упорядоченной – уже не могут существенно влиять на величину тока. И только в критической точке, одна добавленная песчинка может вызывать лавину. В песчаной куче существует много областей

неустойчивости, но критическое состояние является устойчивым. Такие характеристики тесно связаны с фракталами.

Самым простым вариантом модели кучи песка является одномерная модель Бака-Танга-Вайзенфельда (BTW-1D). В ней рост уровня слоев управляется правилами (1), где z_i – количество песчинок, содержащихся в слое i .

$$\begin{aligned} z_{i+1} &= z_i + 1, z_i - z_{i+1} > z_c \\ z_i &= z_i + 1, z_i - z_{i+1} \leq z_c \end{aligned} \quad (1)$$

Модель кучи песка основана на динамическом равновесии двух противоположных процессов. Первый – это естественный путь развития элементов системы (увеличение локального наклона кучи), второй направлен на отбраковку элементов, продвинувшихся слишком далеко (осыпание песка). Равновесие процессов развития и отбраковки достигается в критической точке, где события едва происходят, и система приобретает целостные свойства.

Важным свойством системы, обладающей масштабной инвариантностью, является степенная зависимость между ее параметрами, например частотой и масштабом событий. Если E – масштаб лавин и f – их частота, то $f \sim E^{-b}$, где b – масштабный коэффициент [10].

Одной из областей, где теория самоорганизованной критичности позволила добиться успеха при моделировании процесса, является биологическая эволюция. Объектом эволюции является вид, представляющий собой группу особей, упорядоченных по возрастанию приспособленности к условиям окружающей среды. Приспособленность видов изменяется в результате двух различных процессов. Во-первых, переход от одной особи к соседней особи увеличивает приспособленность вида, и он поднимается выше по эволюционному ландшафту. Этот процесс можно назвать мутацией особей. Во-вторых, переход от одного вида к другому обеспечивает связь между видами. В результате такой мутации видов изменяется эволюционный ландшафт. Течение эволюции существенно зависит от соотношения скоростей этих процессов.

Если виды не связаны между собой, то изменение приспособленности происходит за счет мутаций особей. При этом каждый вид быстро достигает локального максимума эволюционного ландшафта, где останавливается, не имея возможности достичь более высоких состояний. Таким образом, на неизменном ландшафте быстро достигается состояние, в котором эволюция не идет. Если виды связаны сильно, то раньше, чем вид достигнет локального максимума ландшафта, этот максимум успевают

исчезнуть, поскольку ландшафт быстро изменяется. Экосистема оказывается в состоянии, где приспособленность забывается и мутация особей, направленная на адаптацию к постоянно меняющемуся окружению, оказывается тщетной. По этой причине эволюция невозможна. Чтобы избежать остановки эволюции экосистема должна самоорганизоваться в критическое состояние, которое разделяет эти две крайности, т.е. в точку фазового перехода между ними. Здесь виды могут эволюционировать к большей приспособленности, используя как мутации особей, так и мутации видов.

В критическом состоянии экосистема демонстрирует прерывистое равновесие. Она совмещает в себе черты упорядоченных систем и хаотических, неупорядоченных систем. Интервалы активного межвидового взаимодействия при мутациях видов перемежаются с интервалами активного роста приспособленности за счет мутаций особей [11]. Аналогия модели эволюции видов с моделью BTW-1D показана в табл. 2.

Таблица 2 – Аналогия с моделью BTW-1D

Модель BTW-1D	Модель эволюции видов
Песчинка	Особь
Слой песка	Вид
Накопление песка	Мутация особей
Лавина песка	Мутация видов
Высота кучи песка	Общая накопленная приспособленность
Песчаный ландшафт	Эволюционный ландшафт

Модель истории цивилизаций, предлагаемая в данной статье, построена по аналогии с моделью эволюции видов. Эта аналогия показана в табл. 3.

Таблица 3 – Аналогия моделей

Модель эволюции видов	Модель истории цивилизаций
Особь	Мировая цивилизация
Вид	Суперцикл цивилизаций
Мутация особей	Переходный период от цивилизации к цивилизации
Мутация видов	Переходный период от суперцикла к суперциклу
Общая накопленная приспособленность	Уровень цивилизаций
Эволюционный ландшафт	Ландшафт цивилизаций

В работе выполнен вычислительный эксперимент, показывающий самоорганизацию цивилизаций в соответствии с предлагаемой моделью. Для изучения выбраны хронологические этапы мировых цивилизаций: длительности переходных периодов, этапов становления, зрелости и упадка. Результат эксперимента показан на рис. 7. Для всех процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. Масштабные коэффициенты показаны в табл. 4.

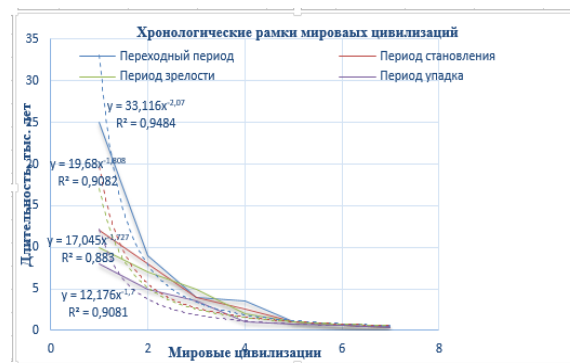


Рисунок 7 – Результат эксперимента

Таблица 4 – Масштабные коэффициенты

Цивилизационные этапы	Масштабный коэффициент	R^2
Переходные периоды	2,07	0,9484
Становление	1,808	0,9082
Зрелость	1,727	0,883
Упадок	1,7	0,9081

Выводы

С целью повышения качества исторического прогнозирования за счет моделирования динамики цивилизаций выполнен анализ истории цивилизаций и предложена модель на основе самоорганизованной критичности. Показано, что для всех изучаемых процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. При проведении вычислительного эксперимента получены следующие результаты: переходные периоды имеют масштабный коэффициент $b=2,07$ при $R^2 = 0,9484$, для этапов становления масштабный коэффициент $b=1,808$ ($R^2 = 0,9082$), для этапов зрелости масштабный коэффициент $b=1,727$ при $R^2 = 0,883$, для этапов упадка масштабный коэффициент $b=1,7$ ($R^2 = 0,9081$). Результаты вычислительного эксперимента подтверждают гипотезу о режиме

прерывистого равновесия в динамике цивилизаций и пребывании глобальной цивилизации в состоянии самоорганизованной критичности.

Литература

1. История и математика: Макроисторическая динамика общества и государства / Отв. ред. С. Ю. Малков, Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев. – Москва, 2007. – 184 с.
2. Ефимчук, И. В. Фрактальность истории. // Общественные науки и современность, 2010. - № 5. - С. 146–156.
3. Подлазов, А. В. Теория самоорганизованной критичности – наука о сложности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nonlin.ru/articles/podlazov/soc>
4. Кузык, Б. Н. Цивилизации: теория, история, диалог, будущее. / Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец. – Москва, 2008. – Том. V. - 576 с.
5. Самоорганизация – источник и основа эволюции. - Режим доступа: <https://studme.org>

/147963/matematika_himiya_fizik/samoorganizatsiy_a_istochnik_osnova_evolyutsii

6. Голубин, Р. В. История мировых цивилизаций. Хрестоматия. / Р. В. Голубин, А. С. Сорокин, А. П. Коротышев. – Нижний Новгород, 2014. – 272 с.
7. Раков, В. М. История мировых цивилизаций. – Пермь, 2018. – 105 с.
8. Жуков, Д. С. Прерывистое равновесие: взгляд с позиции теории самоорганизованной критичности. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/preryvistoe-ravnovesie-vzglyad-s-pozitsii-teorii-samoorganizovannoy-kritichnosti>
9. Яковец, Ю. В. Исторические циклы. - Режим доступа: <http://ss.xsp.ru/st/008/>
10. Курдюмов, С. П. Историческая динамика. Взгляд с позиции синергетики. / С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий, А. В. Подлазов // Общественные науки и современность, 2005. - № 5. - С. 118–125.
11. Бак, П. Как работает природа. Теория самоорганизованной критичности. – Москва, 2013. – 276 с.

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Моделирование истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности. С целью повышения качества исторического прогнозирования за счет моделирования динамики цивилизаций выполнен анализ истории цивилизаций и предложена модель на основе самоорганизованной критичности. Показано, что для всех изучаемых процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. Результаты вычислительного эксперимента подтверждают режим прерывистого равновесия в динамике цивилизаций и пребывание глобальной цивилизации в состоянии самоорганизованной критичности.

Ключевые слова: история цивилизаций, режим прерывистого равновесия, самоорганизованная критичность, масштабный коэффициент.

Belkov D., Edemskaya E. Modeling the history of civilizations based on self-organized criticality. In order to improve the quality of historical forecasting by modeling the dynamics of civilizations, an analysis of the history of civilizations carried out and a model based on self-organized criticality is proposed. It shown that for all the studied processes the dependence of the duration of the process on the level of civilization is sedate. The results of the computational experiment confirm the regime of intermittent equilibrium in the dynamics of civilizations and the presence of a global civilization in a state of self-organized criticality.

Keywords: history of civilizations, intermittent equilibrium, self-organized criticality, large-scale coefficient.

Статья поступила в редакцию 12.02.2022
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 004.424 + 004.522

Метод синхронизации аудио- и текстовой информации с применением технологии распознавания речи

В. А. Мишустин, С. В. Иваница

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (г. Донецк)
mishustin.post@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрены предпосылки к использованию системы распознавания речи для решения задачи синхронизации аудио- и текстовой информации. Предложен новый метод синхронизации текстовой и аудио информации – способом распознавания речи. Отмечаются особенности нового метода. Предложен программный код распознавания слов с получением временных отметок распознанных слов. Предложен алгоритм синхронизации текстовой и аудио информации. Проведено исследование, определена точность и полнота синхронизации.

Введение

Системы распознавания речи появились в целях создания устройств с голосовым управлением. Первое такое устройство было создано в 1963 году. Разработки начались в Америке и преследовали военные действия. Однако уже в 90-х годах XX столетия появились устройства способные облегчить жизнь людей с проблемами зрения.

Сейчас системы распознавания речи, в виду их повсеместного распространения (особенно в мобильных устройствах), решают прикладные задачи, например перевод речевых сигналов в текстовую информацию.

Также применяется в системах управления голосом и в интерактивных телефонных приложениях. В исследованиях [1] были предложены способы синхронизации текстовой и аудио информации. Также в данной статье предполагается, что аудио информация является речью.

Учитывая данное обстоятельство, можно предложить применение системы распознавания речи для решения задачи синхронизации текстовой и аудио информации.

Существующие способы синхронизации текстовой и аудио информации

В статье [1] был проведен анализ предметной области, и предложены следующие методы синхронизации:

1. Способ процентной синхронизации, который заключается в нахождении процентного отношения текущей позиции ко всему текстовому и аудиофайлу.

2. Способ поиска уникальных наборов, который заключается в поиске искомой позиции в электронной книге путем многократной

конвертации аудио потока (аудиофайл электронной книги) в текстовый формат.

3. Способ семплирования. Анализ аудио потока с целью определения (выделения) элементов текста (глава, абзац, предложение и пр.) с последующей синхронизацией с текстовым файлом одной и той же электронной книги.

Также в данной статье был проведен анализ первого предложенного метода. По результатам исследования можно заметить, что показатели точности синхронизации являются не постоянными. Несмотря на то, что погрешность находится в пределах нормы, для пользователей точность синхронизации должна быть лучше.

Предполагается, что использование системы распознавания речи позволит получить погрешность менее 0.01 секунды.

Второй и третий методы синхронизации текстовой и аудио информации, предложенные в статье [1], подразумевают анализ и обработку аудио потока. Системы распознавания речи вмещают в себя разные методы и алгоритмы по анализу и обработке аудио сигналов с целью определения речевых характеристик.

Тогда можно предложить еще один метод синхронизации текстовой и аудио информации – способом распознавания речи. Особенностью данного способа является использование существующей системы распознавания речи.

В данной работе предлагается использовать систему распознавания речи не только для распознавания речи, но и для получения отметок времени начала и конца распознаваемых слов в аудиофайле.

Таким образом, можно получить все необходимые и достаточные данные для разработки алгоритма синхронизации текстовой и аудио информации.

Классификация систем распознавания речи

Обработка речевых сигналов – это область науки, в которой осуществляются фильтрация, усиление и извлечение информации, кодирование, сжатие и восстановление речи [2]. Задача обработки речевых сигналов состоит из следующих задач: нормализация, фильтрация и подавление шума; сегментация на информативные участки, определение информационных признаков, распознавание.

Проведенный обзор известных методов обработки речевых сигналов дает возможность сгруппировать методы по следующим группам:

Анализ с использованием преобразования Фурье. В области обработки речевых сигналов данный подход рассматривается как преобразование сигнала из временной в частотную область и разложение ее на частотные составляющие [3]. Это дает возможность построить спектрограмму сигнала. Однако детально анализировать локальные особенности невозможно [4].

Анализ с использованием вейвлет-преобразования. В последнее время многие задачи в области обработки речевых сигналов реализуются с использованием данного подхода [5]. Вейвлет-преобразования дают возможность анализировать кратковременные локальные особенности сигналов, путем нахождения хорошо локализованной функции как во временной, так и в частотной области.

Анализ с использованием нейронных сетей. Самым распространенным методом решения задачи распознавания речи является использование *нейронных сетей* (НС). НС представляют собой аппаратную или программную реализацию математической модели, построенной по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей с определенными связями между нейронами [6]. Недостатком данного метода является большая требовательность к вычислительной мощности и выполнение трудоемкой задачи обучения и подбор весовых коэффициентов синопсисов.

Анализ с использованием скрытых марковских моделей. Еще один распространенный метод распознавания речевого сигнала.

Главная задача данного метода – построить статистическую модель, имитирующую работу процесса, похожего на марковский процесс с неизвестными параметрами [7].

Преимущества применения данного метода базируются на следующих предположениях [8, 9]: возможность сегментировать сигнал на фрагменты и вероятность появления символа, порожденного построенной моделью, обусловлено текущим состоянием модели.

Обзор существующих систем распознавания речи

С момента появления первого устройства распознавания речи прошло более 50-ти лет. В течении этого времени данные системы развивались и находили свое применение в самых разных областях человеческой деятельности. На данный момент наибольшую популярность среди систем распознавания речи имеют: Google Speech Recognition, Microsoft Azure Speech и Microsoft Bing Voice Recognition, IBM Speech to Text.

Не смотря на большое количество преимуществ данных систем, они имеют один общие недостатки – предоставление платных услуг, и соответственно не распространяются с открытым кодом. Поэтому стоит уделить больше внимания системам, которые имеют открытый код.

Наиболее распространенными системами распознавания речи с открытым кодом являются Vosk и CMUSphinx.

Проект Vosk – это система распознавания речи, без использования сторонних ресурсов. Имеются модели для распознавания более 17-ти языков и диалектов. Имеется большой функционал, однако возможность получить время начала и конца распознанного сегмента в аудиофайле отсутствует. Еще одна проблема в контексте данной работы является невозможность фильтрации шумов.

Проект CMUSphinx имеет более чем двадцатилетнюю историю развития. Помимо открытого кода и бесплатного распространения данный проект имеет ряд других преимуществ [10]: поддержка большинства языков программирования, алгоритмы распознавания речи построены на базе скрытых марковских цепях, широкий спектр дополнительных инструментов (определение ключевых слов, определение начала и конца сегмента, оценка произношения, фильтрация шумов, и другое.).

В данной работе планируется использовать систему распознавания речи, не столько для определения слов, сколько для определения отметок времени начала и конца, произнесенных слов, в аудиофайле. Проект CMUSphinx обладает наиболее подходящим функционалом.

Метод фрагментации текстовых элементов в аудиофайле

Совместно с функционалом библиотеки CMUSphinx на языке программирования Python рекомендуется использовать вспомогательную библиотеку *speech_recognition*, которая обладает более обширным функционалом для дискретизации и квантования аудио сигнала.

После установки словаря фонем, акустической и языковой модели для русского языка, напомним программный код для

распознавания слов из аудиофайла. Программный код представлен на рисунке 1.

При проведении данного исследования был взят отрывок (вступление автора) из аудиокниги – сказка «Сквозь зеркало и что там увидела Алиса, или Алиса в Зазеркалье» Льюиса Кэрролла. Результат работы программы представлен на рисунке 2. Программа возвращает набор строк, каждая строка содержит следующий набор данных: распознанное слово (или тишина записывается как '<sil>'), вероятность появления данного слова, номера сегментов на котором начинается и заканчивается распознанное слово.

```

1 from __future__ import print_function
2 import os
3 import speech_recognition as sr
4 from pocketsphinx import Pocketsphinx
5 import time as time
6
7 acoustic_parameters_directory = "acoustic-model"
8 language_model_file = "language-model.lm.bin"
9 phoneme_dictionary_file = "pronunciation-dictionary.dict"
10 start = time.time()
11 config = {
12     'hmm': acoustic_parameters_directory,
13     'lm': language_model_file,
14     'dict': phoneme_dictionary_file,
15     'remove_silence': False,
16     'remove_noise': True,
17 }
18
19 ps = Pocketsphinx(**config)
20 AUDIO_FILE = "skazka.wav"
21 r = sr.Recognizer()
22 with sr.AudioFile(AUDIO_FILE) as source:
23     audio = r.record(source)
24 raw_data = audio.get_raw_data(convert_rate=16000, convert_width=2)
25 ps.start_utt()
26 ps.process_raw(raw_data, False, True)
27 ps.end_utt()
28 print(ps.segments())
29 print('Detailed segments:', *ps.segments(detailed=True), sep='\n')
    
```

Рисунок 1 – Программный код для распознавания слов из аудиофайла

```

Detailed segments:
('<sil>', -24, 0, 210)
('дитя', -938, 211, 278)
('<sil>', -5724, 279, 286)
('с', -24484, 287, 298)
('безоблачным', -20, 299, 385)
('челом', -20, 386, 450)
('<sil>', -63, 451, 456)
('ли(3)', -8567, 457, 468)
('удивлённым', -17, 469, 550)
('взглядом', -16, 551, 625)|
('<sil>', -18, 626, 676)
('пусть', -28, 677, 709)
('<sil>', -3135, 710, 712)
('изменилось', -3750, 713, 796)
    
```

Рисунок 2 – Пример результата работы программы

Фрагменты тишины и вероятность появления слова, в данной работе, не представляют для нас интерес. Отфильтруем данные и оставим строки, которые содержат русские слова, и уберем из строк значение вероятности. Теперь данные представлены следующим образом – рисунок 3.

['дитя', 211, 278]
['с', 287, 298]
['безоблачным', 299, 385]
['челом', 386, 450]
['ли', 457, 468]
['удивлённым', 469, 550]
['взглядом', 551, 625]
['пусть', 677, 709]
['изменилось', 713, 796]

Рисунок 3 – Пример отфильтрованных данных

После фильтрации, остается 158 строк. Это значит, что система распознавания речи распознала 158 слов, и для каждого из них выделила номер сегмента начала и конца распознанного слова. Каждый сегмент имеет длительность 10 миллисекунд. То есть, чтобы получить точную отметку времени начала или конца произнесенного слова необходимо номер сегмента умножить на 10 миллисекунд. Однако текстовый вариант вступления Льюиса Кэрролла в сказку «Сквозь зеркало и что там увидела Алиса, или Алиса в Зазеркалье» имеет 159 слов. Это значит, что система распознавания речи не является идеальной системой, и не все слова были распознаны, также при первом ручном сопоставлении слов было определено, что слова могут быть неправильно распознаны.

Особенности синхронизации аудио- и текстовой информации

Необходимо заметить, что данные, полученные в ходе выполнения программного кода на рисунке 1, можно воспринимать как последовательность распознанных слов, из аудиоинформации. Текстовую информацию также можно представить в виде последовательности слов.

Тогда, имея данные последовательности, задача синхронизации текстовой и аудиоинформации сводится к синхронизации двух последовательностей. Последовательность слов из текстовой информации является полной и достаточной. Последовательность распознанных слов из аудиоинформации может быть не полной, избыточной или не точной. Это объясняется не совершенностью систем распознавания речи, и как результат ошибок в распознавании речи. Тогда при синхронизации двух последовательностей необходимо учитывать, что некоторые слова из текстовой последовательности могут отсутствовать в последовательности распознанных слов, и наоборот. Тогда данные слова необходимо исключить из результирующих данных синхронизации.

То есть, задача синхронизации двух последовательностей сводится к задаче определения наибольшей общей подпоследовательности. Данная задача является классической задачей информатики и

биоинформатики, наибольшую популярность приобрел алгоритм Нидлмана-Вунша [11].

Вся суть алгоритма заключается в поэтапном заполнении матрицы, где строки представляют собой элементы первой последовательности (последовательность x), а колонки элементы второй последовательности (последовательность y). Во время прохода по матрице необходимо выполнять одно из двух действий:

1. Если элемент x_i равен y_j , то в ячейке (i, j) записывается значение ячейки $(i-1, j-1)$ с прибавлением единицы.

2. Если элемент x_i не равен y_j , то в ячейку (i, j) записывается максимум из значений $(i-1, j)$ и $(i, j-1)$.

Элементы матрицы, в которых происходило увеличение значения на единицу,

необходимо добавлять в наибольшую общую подпоследовательность, при этом нужно двигаться от максимальных индексов к минимальным.

Применение алгоритма Нидлмана-Вунша

Блок-схема применения алгоритма Нидлмана-Вунша для синхронизации текстовой информации и аудиоинформации представлена на рисунках 4 и 5.

Так, вначале создаем двумерный массив *audio_data* для данных полученные в ходе распознавания речи. Также необходимо создать массив *text_data* для списка слов из текста. Образованные массивы являются нашими последовательностями x и y соответственно.

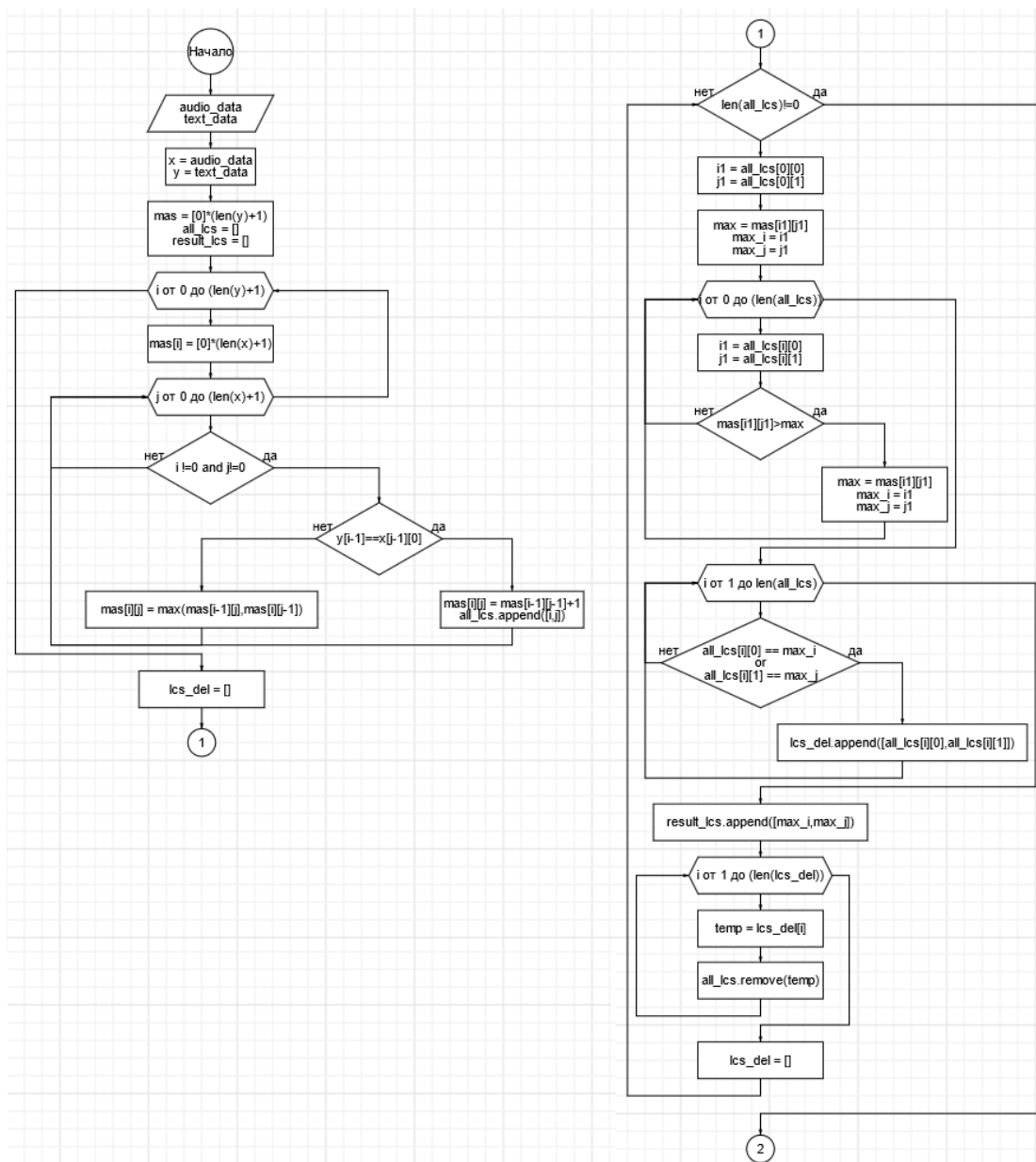


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма синхронизации аудио- и текстовой информации

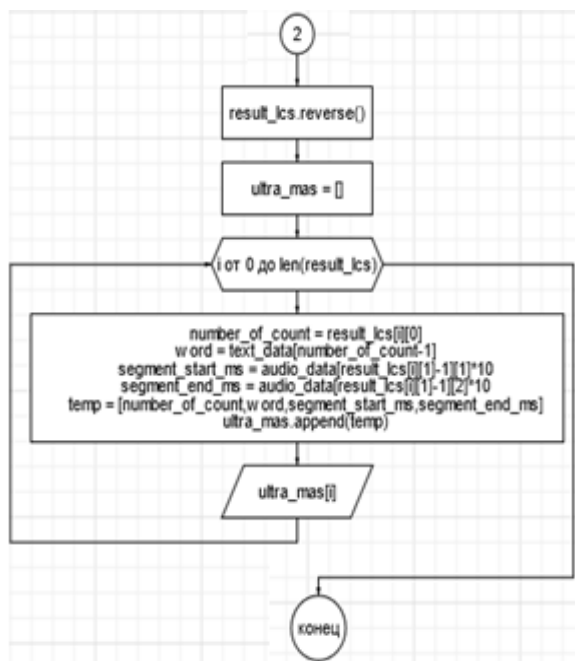


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма синхронизации текстовой и аудиоинформации (продолжение блок-схемы на рисунке 4)

После создаем двумерный массив – *mas*, размерность которого по строкам больше количества элементов в массиве *audio_data* на единицу, и по столбцам больше количества элементов в массиве *text_data* на единицу.

При использовании языка программирования Python любой созданный массив изначально заполнен нулями. При заполнении массива *mas*, строку с индексом 0 и столбец с индексом 0 не заполняем, то есть оставляем заполненными нулями.

Теперь заполняем остальной массив значениями по правилам, описанным выше. Если производится увеличение значения на единицу, тогда записываем индексы данной ячейки в ранее созданный массив *all_lcs*.

Теперь определим наибольшую общую подпоследовательность. Для этого запускаем цикл по массиву *all_lcs* по условию, пока количество элементов массива не равно нулю. Далее запускаем цикл по нахождению наибольшего значения из массива *mas*, с индексами, которые были записаны в *all_lcs*. Индексы наибольшего значения записываем в результирующий массив *result_lcs*. После из массива *all_lcs* удаляем все элементы, которые имеют любой из индексов наибольшего значения. Таким образом после того, как будет удален последний элемент из *all_lcs*, мы получим в *result_lcs* массив наборов индексов из массива *all_lcs*, которые входят в наибольшую общую подпоследовательность.

Первый индекс из пары значений в массиве *all_lcs* определяет слово по порядку из *text_data*. Второй индекс определяет номер сегмента по

порядку, полученного в ходе распознавания речи. То есть массив является массивом синхронизации массивов *text_data* и *audio_data*. Теперь можно создать двумерный массив *ultra_mas*, который хранит все данные без ссылок на другие массивы.

Каждая строка нового массива содержит номер слова по порядку, само слово, время в миллисекундах начала и конца воспроизведения данного слова в аудиофайле. Результат работы представлен на рисунке 6.

Список распознанных и синхронизированных слов:
 № слова в тексте по счету, слово, начало фрагмента (мс), конец фрагмента(мс)
 Процент распознанных слов - 81.76100628930817

[1, 'дитя', 2110, 2780]
[2, 'с', 2870, 2980]
[3, 'безоблачным', 2990, 3850]
[4, 'челом', 3860, 4500]
[7, 'взглядом', 5510, 6250]
[8, 'пусть', 6770, 7090]
[9, 'изменилось', 7130, 7960]
[10, 'все', 7970, 8250]
[11, 'кругом', 8260, 8880]
[15, 'тобой', 9530, 9910]
[17, 'рядом', 10080, 10620]
[16, 'не', 46850, 47240]

Рисунок 6 – Пример выходных данных

Каждая строка результирующая строка содержит номер слова по порядку в текстовом файле, распознанное слово, время начала и конца распознанного слова в аудиофайле, в миллисекундах. В конце алгоритма проведем оценку полноты синхронизации.

Выводы

В данной работе рассматриваются предпосылки к использованию систем распознавания речи для решения задачи синхронизации текстовой и аудиоинформации.

Предлагается новый метод синхронизации аудио- и текстовой информации – способом распознавания речи. Делается предположение о возможности рассматривать данные распознанных слов и слова из текстовой информации как последовательности. Алгоритм синхронизации данных последовательностей сводится к алгоритму поиска наибольшей общей подпоследовательности.

Проводится обзор алгоритма Нидлмана-Вунша. Приводится разработанный программный код реализации данного алгоритма для задачи синхронизации текстовой информации и аудиоинформации. Также приводится словесное описание и блок-схема разработанного алгоритма.

Предложенный метод предлагает абсолютную точность перехода между текстовой и аудиоинформацией.

Исследуемые в данной работе методы позволили получить полноту синхронизации с точностью совпадения, равной 82 %.

Литература

1. Мишустин, В. А. Исследование способов синхронизации текстовой и аудио информации для мобильных приложений / В. А. Мишустин, С. В. Иваница // Информатика и кибернетика. – 2021. – №3(25). – С. 32–36.

2. Алимуратов, А. К. Обзор и классификация методов обработки речевых сигналов в системах распознавания речи / А. К. Алимуратов, П. П. Чураков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль, 2015. – №2(12). – С. 27–35.

3. Винцюк, Т. К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов / Т. К. Винцюк. – Киев: Наукова думка, 1987. – 264 с.

4. Рабинер, Л. Р. Цифровая обработка речевых сигналов: пер. с англ. / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.

5. Фролов, А. В. Синтез и распознавание речи. Современные решения / А. В. Фролов, Г. В. Фролов. – М.: Связь, 2003. – 216 с.

6. Методы автоматического распознавания речи: в 2 кн.: пер. с англ. / У. А. Ли, Э. П. Нейбург, Т. Б. Мартин [и др.]; под ред. У. Ли. – М.: Мир, 1983. – Кн. 1. – 328 с.

7. Методы автоматического распознавания речи: в 2 кн.: пер. с англ. / Д. Х. Клетт, Дж. А. Барнет, М. И. Бернштейн [и др.]; под ред. У. Ли. – М.: Мир, 1983. – Кн. 2. – 392 с.

8. Моттль, В. Скрытые марковские модели в структурном анализе сигналов / В. Моттль, И. Мучник. – М.: Физматлит, 1999. – 352 с.

9. Huang, X. Spoken Language Processing. Guide to Algorithms and System Developmen / X. Huang, A. Acero, H.-W. Hon. – Prentice Hall, 2001. – 980 p.

10. Open source speech recognition toolkit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cmusphinx.github.io/>

11. Sankoff, D. Matching Sequences under Deletion/Insertion Constraints // Proc. Nat. Acad. Sci., 1972. – PP. 4–6.

Мишустин В. А., Иваница С. В. Метод синхронизации аудио- и текстовой информации с применением технологии распознавания речи. Рассмотрены предпосылки к использованию системы распознавания речи для решения задачи синхронизации аудио- и текстовой информации. Предложен новый метод синхронизации текстовой и аудио информации – способом распознавания речи. Отмечаются особенности нового метода. Предложен программный код распознавания слов с получением временных отметок распознанных слов. Предложен алгоритм синхронизации текстовой и аудио информации. Проведено исследование, определена точность и полнота синхронизации.

Ключевые слова: система распознавания речи, текстовая и аудиоинформация, скрытые марковские цепи, алгоритм Нидлмана-Вунша.

Mishustin V., Ivanitsa S. Synchronization method of text and audio information using speech recognition technology. The article shown the prerequisites for using a speech recognition system for solving the problem of synchronizing text and audio information. A new method of synchronizing text and audio information by using method of speech recognition is proposes. It is noted the features of the new method. Also, the article describes program code and the algorithm for synchronizing text and sound information. A study was conducted, the accuracy and completeness of synchronization were determined.

Keywords: speech recognition system, text and audio information, hidden Markov chains, Needleman-Wunsch algorithm.

Статья поступила в редакцию 15.02.2022
Рекомендована к публикации профессором Аноприенко А.Я.

Принятие решения по организации защиты информации на объектах информатизации

О. А. Ягнина, И. Л. Щербов, А. Е. Якушина
Донецкий национальный технический университет
scherbov@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрен метод оценки уязвимости и защищенности объекта информатизации на базе Рекомендации МСЭ-Т X.805 «Архитектура безопасности для систем, обеспечивающих связь между оконечными устройствами». Предложен математический аппарат, который позволяет провести оценку уязвимости и защищенности объекта информатизации с целью принятия решения на организацию защиты. Рассмотрены основные требования к системе поддержки принятия решений по организации защиты информации. Рассмотрены требования к экспертам, привлекаемым к формированию базы знаний и базы данных системы поддержки принятия решений.

Введение

Состояние информационной безопасности в области государственной и общественной безопасности характеризуется постоянным повышением сложности, увеличением масштабов и ростом скоординированности компьютерных атак на объекты критической информационной инфраструктуры, усилением разведывательной деятельности иностранных государств, а также нарастанием угроз применения информационных технологий в целях нанесения ущерба суверенитету, территориальной целостности государства [1].

Защита информации на объектах информатизации (ОИ) с целью противодействия кибернетической преступности является составной частью обеспечения национальной безопасности. Решение данной задачи базируется на проведении детального анализа действующего ОИ и осуществлении оценки риска по обеспечению защиты уязвимостей активов от вероятных угроз. Сложность ее выполнения обуславливается такими факторами как:

- необходимость выполнения совокупности технических требований для совместной работы программных продуктов и оборудования различных производителей;
- эффективное использование каналов связи и соблюдение требований электромагнитной совместимости;
- потенциальные угрозы для безопасности ОИ и обрабатываемой на нем информации;
- возможность модернизации;
- себестоимость и др [2].

Исходя из многообразия условий, которые необходимо учитывать при принятии решения на организацию защиты, на наш взгляд, целесообразно применение рекомендаций действующих международных стандартов.

Разработка архитектуры системы защиты

Для решения задачи проектирования системы безопасности на объектах информатизации, как правило, необходимо учитывать наличие локальной вычислительной сети (LAN) организации, построенной на технологии Ethernet с возможным использованием компонентов WLAN (Wireless LAN). При проектировании системы защиты необходимо придерживаться следующих требований:

- простота внедрения;
- гибкость и масштабируемость;
- прогнозирование перспектив развития;
- простота управления.

Основываясь на требованиях безопасности информационных систем и сетей, при проектировании LAN учитываются рекомендации таких нормативных документов, как: Серия международных стандартов ISO/IEC 27000; набор стандартов и лучших практик CobIT (Control Objectives for Information and related Technology); серия документов NIST 800 (National Institute of Standards and Technology); рекомендации Международного союза электросвязи серии X «Сети передачи данных и взаимосвязь открытых сетей» (X800, X805) и других нормативно правовых документов [3].

В рекомендациях Международного союза электросвязи МСЭ – Т X.805 предложена архитектура защиты систем, обеспечивающих связь между конечными устройствами. Данная архитектура, представленная на рис. 1, позволяет провести детализацию составных частей ОИ с целью упрощения принятия решения, направленного на эффективное управление, контроль состояния и безопасное использование сетевой инфраструктуры, услуг и приложений.

Архитектура защиты обеспечивает комплексную, сверху донизу сквозную область сетевой защиты и может применяться к

элементам сети, услугам и приложениям с тем, чтобы обнаруживать, прогнозировать и исправлять уязвимость защиты [4].

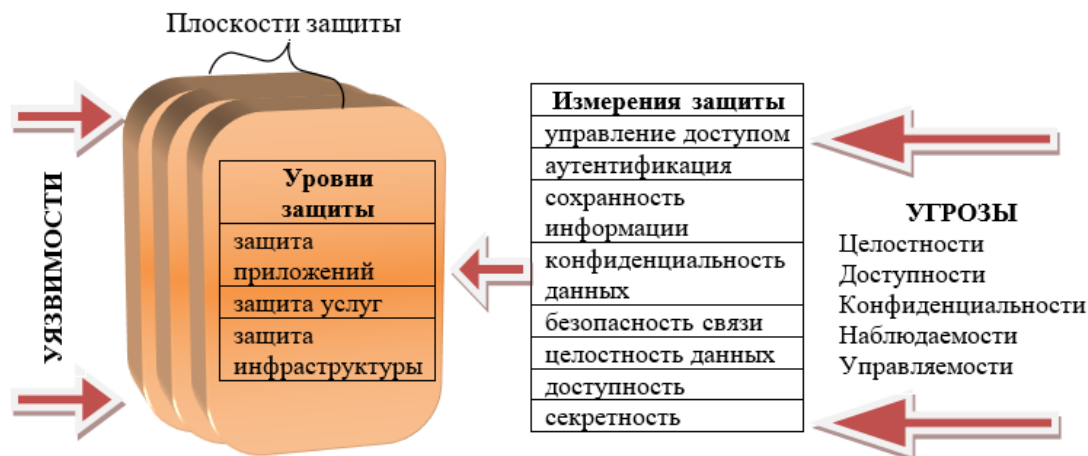


Рисунок 1 – Архитектура систем защиты, обеспечивающих связь между окончными устройствами

Рассматриваемая архитектура систем защиты ОИ выделяет три плоскости защиты:

- управления;
- контроля;
- конечного пользователя.

При этом в каждой плоскости, в соответствии с предназначением, выявляются активы, которые относятся к уровням:

- инфраструктуры;
- предоставляемых услуг;
- применяемых приложений.

Определение общей оценки защиты совокупности активов

Количественную оценку уязвимости конкретного актива ОИ от одной угрозы можно определить по формуле (1):

$$T_k = \frac{c_k + i_k + a_k + s_k}{4} * z_k * p_k, \quad (1)$$

где c_k , i_k , a_k , s_k – коэффициенты, определяющие уровень уязвимости таких свойств активов как доступность, конфиденциальность, целостность и

управляемость (определяется группой назначенных экспертов);

p_k – весовой коэффициент, определяющий частоту появления конкретной угрозы из совокупности возможных угроз и вычисляется на основе анализа статистических данных или с использованием соответствующих методик;

z_k – коэффициент, определяющий вероятность успешной защиты актива с помощью установленного средства защиты от угрозы p_k .

Эксперты на основании имеющихся знаний выставляют вероятностные оценки по 100-балльной шкале, в соответствии с утвержденной методикой оценки. В таблице 1 для примера приведен анализ воздействия угрозы «Анализ протокола» на свойства информации [5].

Определение уязвимости актива от совокупности возможных угроз производим по формуле (2):

$$Q_l = \sum_{i=1}^k \frac{c_k + i_k + a_k + s_k}{4} * z_k * p_k. \quad (2)$$

Таблица 1 – Определение общей оценки защиты совокупности активов

Угрозы	Эксперт	Уровень уязвимости				Суммарное кол-во баллов
		c	i	a	s	
Анализ протокола	э1	20	10	30	20	80
	э2	35	10	25	20	90
	э3	20	10	25	15	70
	э4	25	5	20	20	70
Итоговое значение		25	8,75	25	18,75	77,5

Определение общей оценки защиты совокупности активов – по формуле (3):

$$Q_p = \sum_{j=li=1}^l \sum_{k=1}^k \frac{c_k + i_k + a_k + s_k}{4} * z_k * P_k \cdot (3)$$

Предложенный метод оценки уязвимости и защищенности отдельно взятого актива ОИ в совокупности с рассматриваемой архитектурой системы защиты (МСЭ – Т Х.805) позволяет провести оценку уязвимости и защищенности ОИ в целом и способствовать принятию обоснованного решения на обеспечение защиты ОИ.

Обоснование выбора систем поддержки принятия решений

В настоящее время в научной литературе описываются применяемые три группы методов оценки обоснованности принимаемых решений.

Первая группа методов базируется на апостериорной оценке обоснованности, т.е. оценке вариантов решения по их последствиям.

Вторую группу методов представляют варианты методы. В вариантном методе лицо, принимающее решение, в процессе обоснования анализирует ряд вариантов на области допустимых значений.

Третья группа методов – вероятностные (статистические) методы оценки обоснованности, у которой основой является тот факт, что наиболее существенным фактором обоснованности принимаемых решений является полнота (объем) исходной информации и ее доступность [6].

Исходя из многообразия условий, которые необходимо учитывать при принятии решения на организацию защиты объектов информатизации, на наш взгляд, целесообразно применение систем поддержки принятия решений (СППР).

Отличительной чертой СППР от различных автоматизированных систем управления (принимающих решения или выполняющих действия по заранее заложенной в них программе) является то, что СППР предлагает лицу, принимающему решение (ЛПР), варианты возможных решений возникающих задач, которые сформированы на базах данных и знаний в конкретной сфере деятельности человека.

СППР – это компьютерная система, позволяющая ЛПР при принятии решений сочетать компьютерный анализ ситуации с собственными субъективными предпочтениями [7]. Другими словами, роль СППР заключается в оказании помощи ЛПР в процессе принятия решений и включает следующие основные функции [8]:

- помощь при оценке обстановки и

действующих нормативных правовых документов;

- ранжирование приоритетов принимаемых решений;

- предоставление возможных вариантов решения;

- оценка возможных вариантов решения исходя из опыта ЛПР и условий, определяемых действующим законодательством;

- проведение анализа возможных последствий в результате принятия решений;

- выбор лучшего варианта, по мнению ЛПР.

Исходя из выше изложенного, можно сформулировать основные требования к СППР при её создании и эксплуатации.

Во-первых, это формирование наиболее полной и актуальной базы данных и базы знаний в конкретной сфере деятельности человека.

Во-вторых, СППР должна использовать и предлагать имеющиеся экспертные знания, которые могут быть неполными, нечеткими, противоречивыми.

В-третьих, исходя из специфики экспертных знаний, СППР должна обладать способностью доступно и полно предоставлять информацию, объясняющую предлагаемые решения.

В-четвертых, решение СППР, носящее рекомендательный характер, может корректироваться ЛПР, исходя из имеющегося у него опыта, а также с учетом складывающейся на момент принятия решения ситуации.

В-пятых, СППР должна уметь решать различные классы задач: основанные на экспертных знаниях, оптимизационные, расчетные и др.

В-шестых, СППР должна обладать свойством обучаемости [7].

Можно сделать вывод, что эффективность СППР при решении возникающих задач главным образом зависит от полноты и актуальности имеющейся базы данных и накопленной базы знаний в сфере её применения.

Основой построения СППР является формирование наиболее полной и актуальной базы данных и базы знаний в конкретной сфере деятельности человека, на которые ориентирована СППР.

База данных и база знаний формируется на основе действующих законодательных и нормативных правовых актов, государственных и международных стандартов, моделях возможных проблемных ситуаций, существующих закономерностей, имеющейся статистической информации, эмпирического опыта и других составляющих.

Анализируя составляющие элементы базы данных и базы знаний, можно условно их разделить на четко структурированные элементы,

имеющие однозначно отображающие численные или текстовые выражения. К этой категории можно отнести законодательные и нормативно-правовые акты, государственные и международные стандарты, внутренние организационно-распорядительные документы и так далее.

Но когда речь заходит о моделях возможных проблемных ситуаций, возможных угрозах, в том числе угрозе нулевого дня, то приходится говорить о том, что СППР должна использовать и предлагать базы данных и базы знаний, которые могут быть неполными, нечеткими, противоречивыми.

Безусловно, к процессу формирования базы данных и базы знаний СППР должен быть привлечен персонал, имеющий соответствующую квалификацию и опыт работы. Высокая квалификация и опыт практической работы лиц, привлекаемых в качестве экспертов, способствует снижению субъективных факторов при моделировании угроз безопасности информации и принятии решения на ее защиту. Недооценка или завышенная оценка ожидаемого ущерба от реализации угроз для информации может привести к значительному материальному ущербу или к необоснованным затратам на организацию защиты.

В соответствии с рекомендациями в области стандартизации банка Российской Федерации РС БР ИББС -2.2-2009 установлены следующие требования к привлекаемым экспертам:

- наличие высшего образования;
- опыт работы в данной профессиональной области не менее четырех лет;
- систематическое повышение квалификации;
- способность идентифицировать людей, способных предоставить необходимую информацию;
- обладание навыками делового и управленческого взаимодействия [9].

Согласно методическому документу «Методика моделирования угроз безопасности информации», проект которого представлен на официальном сайте Федеральной службы по техническому и экспортному контролю Российской Федерации, в качестве экспертов рекомендуется привлекать специалистов, деятельность которых связана с обработкой информации в системах и сетях, а также специалистов, имеющих квалификацию и опыт работы в области применения информационных технологий и в области защиты информации (обеспечения информационной безопасности).

При этом в качестве экспертов – специалистов от подразделений по защите информации рекомендуется привлекать лиц, имеющих высшее образование или прошедших

переподготовку (повышение квалификации) по направлению подготовки «Информационная безопасность», или имеющих не менее трех лет стажа практической работы в своей сфере деятельности [10].

Выводы

Рассмотренные в работе способы определения уязвимости активов ОИ от совокупности возможных угроз и определения общей оценки защищенности активов позволяют в количественной форме определить возможные риски для безопасности ОИ, принять решение на защиту с последующим отображением этого решения при отработке технического задания на реализацию системы защиты.

Рассмотрены задачи и основные функции СППР. Сформулированы требования к СППР, состав и назначение базы знаний и базы данных.

Определены основные требования к экспертам, привлекаемым к формированию баз данных и знаний СППР.

Литература

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 5 декабря 2016 г. N 646. [Электронный ресурс] - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612060002>
2. Щербов, И. Л. Методика определения экспертных оценок уязвимостей активов информационно-телекоммуникационных систем от вероятных угроз / И. Л. Щербов, А. Е. Якушина, В. В. Паслен, Г. А. Вашпкидзе // Peer-reviewed materials digest (collective monograph) published following the results of the XCV International Research and Practice Conference and III stage of the Championship in Technical sciences, Architecture and Construction, 2015. - С. 16-19.
3. Тюрин, Е. С. Проектирование системы безопасности в информационно-телекоммуникационной системе организации / Е. С. Тюрин, И. Л. Щербов, А. Е. Якушина // Вестник Института гражданской защиты Донбасса. – Донецк: ДНТУ, 2015. – Вып. 1. - С. 67-71.
4. МСЭ-Т X.805. Архитектура защиты для систем, обеспечивающих связь между оконечными устройствами. [Электронный ресурс] - URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?id=7024&lang=ru> (дата обращения: 15.12.2020 г).
5. Щербов, И. Л. Методика оценки рисков для активов информационно-телекоммуникационных систем / И. Л. Щербов, А. Е. Якушина, В. В. Паслен, Г. А. Вашпкидзе // International Academy of Science and Higher Education «Development of technical sciences, building sciences and architecture in the context of the need

of society alteration». – London: Published by IASHE, 2014. – P. 42-45.

6. Хорошко, В. А. Оценка времени принятия решений в системах поддержки принятия решений / В. А. Хорошко, Ю. Е. Хохлачева, М. Е. Шелест // Informatics and Mathematical Methods in Simulation, 2018. - Vol. 8, No. 3. - PP. 209-223.

7. Герасимов, Б. М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности / Б. М. Герасимов, М. М. Дивизинюк, И. Ю. Субач. - Севастополь: СНИЯЭиП, 2004. – 320 с.

8. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. - М.: СИНТЕГ, 1998. - 376 с.

9. Рекомендации в области стандартизации банка России РС БР ИББС -2.2-2009. [Электронный ресурс] - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902189338> (дата обращения: 15.12.2020 г.).

10. Методика моделирования угроз безопасности информации. [Электронный ресурс] - URL: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/149-proekty/2070-metodicheskij-dokument> (дата обращения: 15.12.2020 г.).

Ягнина О. А., Щербов И. Л., Якушина А. Е. Принятие решения по организации защиты информации на объектах информатизации. В статье рассмотрен метод оценки уязвимости и защищенности объекта информатизации на базе Рекомендации МСЭ-Т X.805 «Архитектура безопасности для систем, обеспечивающих связь между оконечными устройствами». Предложен математический аппарат, который позволяет провести оценку уязвимости и защищенности объекта информатизации с целью принятия решения на организацию защиты. Рассмотрены основные требования к системе поддержки принятия решений по организации защиты информации. Рассмотрены требования к экспертам, привлекаемым к формированию базы знаний и базы данных системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: объект информатизации, оценка уязвимости, оценка защищенности, система поддержки принятия решений, база знаний, база данных, экспертная оценка.

Yagnina O., Scherbov I., Yakushina A. Decision-making on the organization of information protection at informatization objects. The article considers a method for assessing the vulnerability and security of an informatization object based on Recommendation ITU-T X.805 "Security architecture for systems that provide communication between end devices". A mathematical apparatus proposed that allows assessing the vulnerability and security of an informatization object in order to make a decision on the organization of protection. The main requirements for the decision support system for the organization of information security are considered. The requirements for experts involved in the formation of a knowledge base and a database of a decision support system are considered.

Key words: informatization object, vulnerability assessment, security assessment, decision support system, knowledge base, database, expert assessment.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 62-5, 681.5.015, 004.942

Исследование переходных процессов в системе управления проветриванием угольных шахт в выемочных участках неминимально-фазового типа

О. Ю. Чередникова, Ю. С. Достлев
Донецкий национальный технический университет
olga.donntu@gmail.com

Аннотация

В системе управления воздухораспределением для установления желаемого режима проветривания на выемочных участках неминимально-фазового типа предложено использовать регулятор расхода воздуха в виде инерционного звена первого порядка. Аналитически определены оптимальные настройки регулятора расхода воздуха, при которых обеспечиваются устойчивость системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа, желаемая точность работы системы управления, безопасный характер переходных процессов при регулировании и стабилизации режимов проветривания участков. Достоверность проведенных аналитических исследований и работоспособность предложенных систем управления проветриванием участков подтверждена математическим моделированием.

Введение

Актуальность разработки надежной системы проветривания в шахтных выработках не подлежит сомнению. Однако задача автоматизации шахтной вентиляционной сети далека от решения. Одним из сдерживающих факторов является невозможность проведения натурных экспериментов из-за опасности для жизни горняков. Поэтому в настоящий момент проверка работоспособности предлагаемых алгоритмов и систем управления проводится моделированием.

Разработки ведутся не один десяток лет в России [1, 2] и на Донбассе [3, 5]. В результате проведенных исследований установлены основные свойства выемочных участков как объектов управления, разработаны математические модели динамики участков, разработаны и обоснованы алгоритмы диспетчерского управления проветриванием участков, обеспечивающие безопасное по газовому фактору управление проветриванием участков при достаточном запасе по концентрации в исходящей струе участков. Однако в результате проведенных исследований было установлено, что в замкнутых системах управления проветриванием участков при использовании известных законов управления в общем случае не обеспечивается компенсация всплеска концентрации метана относительно начального уровня при регулировании режимов проветривания участков и, следовательно, ограничение на допустимом уровне концентрации метана.

В настоящей работе предложена и

обоснована обобщенная структура системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа, обеспечивающая стабильную и безопасную работу системы вентиляции выемочных участков.

Характеристика неминимально-фазовых участков

В динамическом отношении переходные процессы по концентрации метана в исходящей струе участков обладают либо минимально – фазовыми, либо неминимально-фазовыми свойствами [1-3, 5]. Именно участки неминимально-фазового типа создают проблемы при регулировании расхода воздуха.

Газодинамические свойства участков неминимально-фазового типа описываются дифференциальным уравнением [1]:

$$T \frac{dS}{dt} + S = \tau \frac{dG}{dt} - G, \quad (1)$$

где $S = (C - C_o) / C_o$ – безразмерное относительное значение концентрации метана;

$G = (Q - Q_o) / Q_o$ – безразмерное относительное значение расхода воздуха на выходе участка;

C_o, Q_o – концентрация участка и расход воздуха в установившемся режиме, соответственно;

T – постоянная времени участка;

τ – коэффициент пропорциональности дифференцирующей составляющей расхода воздуха – управляющего воздействия.

Структурная схема аналоговой модели участка неминимально-фазового типа (1) показана на рис. 1 [5], на рис. 2 приведена ее функциональная схема.

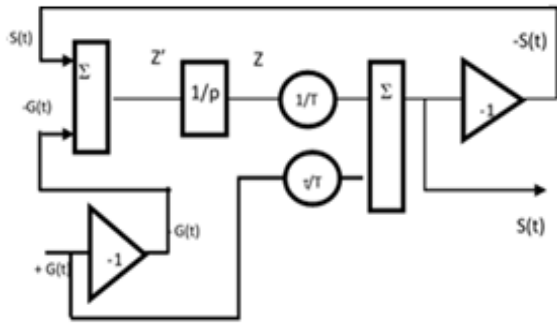


Рисунок 1 – Структурная схема аналоговой модели системы проветривания участков неминимально-фазового типа

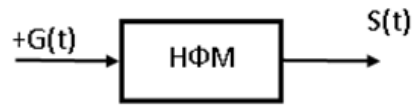


Рисунок 2 - Функциональная схема аналоговой модели системы

На рис. 3 показаны графики переходных процессов на участке при форсированном изменении расхода воздуха при увеличении дебита воздуха, а на рис. 4 - при его уменьшении. При форсированном изменении дебита воздуха на входе модели участка неминимально-фазового типа (рис.2, 3) на выходе участка происходит перерегулирование исходного уровня концентрации метана ($S=0$) - в исходящей струе участка формируется всплеск концентрации метана, уровень которого в общем случае может превысить безопасный уровень концентрации метана.

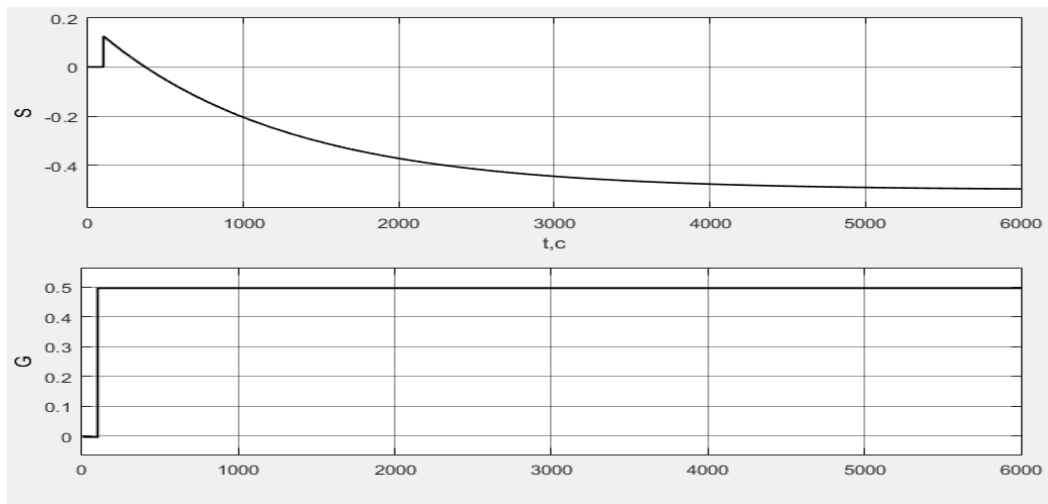


Рисунок 3 – Графики переходных процессов на участке неминимально-фазового типа (рис.1) при форсированном увеличении расхода воздуха

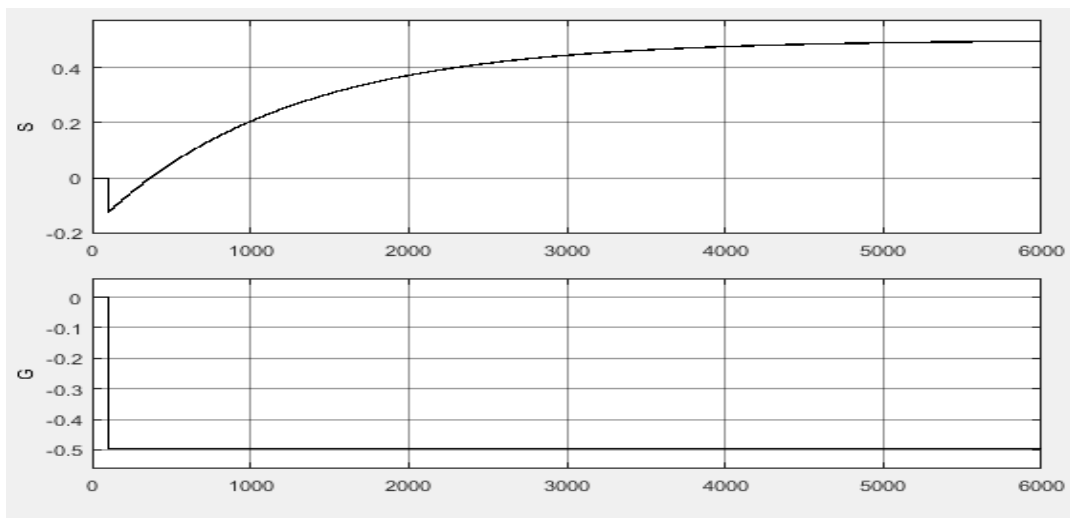


Рисунок 4 – Графики переходных процессов на участке неминимально-фазового типа (рис.1) при форсированном уменьшении расхода воздуха

В силу этого синтез системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа (1) сводится, прежде всего, к компенсации опасных всплесков концентрации метана при изменении режима проветривания участка и эффективной стабилизации желаемого уровня концентрации метана в стационарном режиме при изменении газодинамических параметров участка.

Синтез и моделирование системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа

Для реализации желаемых режимов управления проветриванием участков используем закон управления [4]:

$$G = -\frac{1}{T_{вp}}(S_z - S), \quad (2)$$

где $T_{в}$ – постоянная времени регулятора расхода воздуха; S_z – заданное значение концентрации метана в исходящей струе участка.

Тогда, согласно (1)-(2), переходные процессы в системе управления участком будут описываться соотношением:

$$S = G \frac{\tau p - 1}{T p + 1};$$

$$S = -\frac{1}{T_{вp}}(S_z - S) \frac{\tau p - 1}{T p + 1} = \frac{1 - \tau p}{T_{вp}(T p + 1)}(S_z - S), \quad (3)$$

где $\frac{\tau p - 1}{T p + 1}$ – передаточная функция участка (1).

После очевидных преобразований (3) получим:

$$T_{в} T \ddot{S} + (T_{в} - \tau) \dot{S} + S = S_z - \tau \dot{S}_z. \quad (4)$$

Для обеспечения абсолютной устойчивости системы (4) примем:

$$T_{в} \gg \tau. \quad (5)$$

Тогда переходные процессы в системе управления, согласно (4)-(5), будут описываться уравнением:

$$T_{в} T \ddot{S} + T_{в} \dot{S} + S = S_z - \tau \dot{S}_z. \quad (6)$$

Для определения динамических свойств системы (6) исследуем переходные процессы в системе (6) при типовой форме изменения задающего воздействия S_z – скачкообразного изменения его уровня.

Переходя при этом к конечным значениям переменных, представим (6) в виде:

$$\frac{d\alpha}{dt} = S_z - S, \quad (7)$$

$$\text{где } \alpha = T_{в} T \dot{S} + T_{в} S + \tau S_z.$$

В общем случае, согласно (7), имеем:

$$\alpha = \int_0^t (S_z - S) dt, \quad (8)$$

где $t=0$ – начало переходного процесса, обусловленное скачкообразным изменением задающего воздействия.

При произвольной форме изменения переменных S_z и S , согласно (8), справедливо соотношение:

$$\alpha(t=0) = \int_0^0 (S_z - S) dt = 0. \quad (9)$$

В силу этого, согласно (9) и (7), имеем:

$$T_{в} T \dot{S}(0) + T_{в} S(0) + \tau S_z = 0. \quad (11)$$

Таким образом, если до изменения задающего воздействия в исходном состоянии концентрация метана на выходе участка, составляла:

$$S(0)=0, \quad (11)$$

то, согласно (10), в системе (6) значение будет:

$$\dot{S}(0) = -\gamma \cdot S_z, \quad (12)$$

где $\gamma = \tau / (T_{в} T)$.

Таким образом, после скачкообразного изменения задающего воздействия $S_z(t>0)=\text{const}$ и $\dot{S}_z(t > 0) = 0$, согласно (7) и (11)-(12), переходной процесс в системе управления описывается дифференциальным уравнением:

$$T_{в} T \ddot{S} + T_{в} \dot{S} + S = S_z, \quad (13)$$

где $S(0)=0$, $\dot{S}(0) = -\gamma \cdot S_z$, $S_z=\text{const}$.

Корни характеристического уравнения $T_{в} T \ddot{S} + T_{в} \dot{S} + S = 0$ системы (13) имеют вид:

$$r_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{e}}{2T}, \quad (14)$$

где $e=1-(4T/T_{в})$.

Для обеспечения экспоненциального характера переходного процесса в системе управления (13) примем в (14):

$$T_{в} > 4T. \quad (15)$$

Тогда решение однородного уравнения в итоге будет иметь вид:

$$S_{\text{одн}} = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + B \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right), \quad (16)$$

где $T_1 = 2Tm_1$; $T_2 = 2Tm_2$;

$$m_1 = \frac{1}{1-\sqrt{e}}; m_2 = \frac{1}{1+\sqrt{e}},$$

A, B – постоянные интегрирования,

$S_{\text{одн}}$ – решение однородного уравнения системы (13).

Таким образом, общее решение уравнения (13) при $S_z(t>0)=\text{const}$, согласно (13) и (16), будет иметь вид:

$$S(t > 0) = A \cdot \exp(-t/T_1) + B \cdot \exp(-t/T_2) + S_z; \quad (17)$$

$$\dot{S}(t > 0) = (-A/T_1) \cdot \exp(-t/T_1) - (B/T_2) \cdot \exp(-t/T_2), \quad (18)$$

где $S(t=0)=0=A+B$; $S_z(-A/T_1)-(B/T_2)=-\gamma S_z$.

В силу этого получим:

$$B = [T_2/(T_1 - T_2)](1 + \gamma T_1)S_z, \quad (19)$$

$$A = -[T_1/(T_1 - T_2)](1 + \gamma T_2)S_z. \quad (20)$$

В итоге, согласно (5), (12), (16) и (19-20), имеем:

$$B = [m_2/(m_1 - m_2)](1 + 0.1m_2)S_z, \\ A = [-m_1/(m_1 - m_2)](1 + 0.1m_1)S_z, \quad (21)$$

где $m_1/(m_1 - m_2) = T_1/(T_1 - T_2)$,

$$m_2/(m_1 - m_2) = T_2/(T_1 - T_2),$$

$$T_B = 20\tau,$$

$$\gamma = \tau / (T_B T) = \tau / (20\tau T) = 1 / (20T),$$

$$T_2 \gamma = 2Tm_2 / (1 / (20T)) = 0.1m_2,$$

$$T_1 \gamma = 2Tm_1 / (1 / (20T)) = 0.1m_1.$$

При номинальных параметрах участка и выбранных настройках регулятора расхода воздуха, согласно (14), (16) и (21), получим:

$$B = [m_2/(m_1 - m_2)](1 + 0.1m_1)S_z = 0.73S_z, \quad (22)$$

$$A = [-m_1/(m_1 - m_2)](1 + 0.1m_2)S_z = -1.73S_z,$$

где $e = 1 - (4T/T_B) = 1 - (4T/5T) = 0.2$;

$$\sqrt{e} = \sqrt{0.2} = 0.447; m_1 = 1.81; m_2 = 0.691;$$

$$T_B = 5T.$$

Скорость изменения концентрации метана, согласно (18) и (19-21), описывается соотношением:

$$\dot{S}(t) = 1/(T_1 - T_2) \cdot [(1 + 0.1m_2)\exp(-t/T_1) - (1 + 0.1m_1) \cdot \exp(-t/T_2)]S_z. \quad (23)$$

Откуда следует:

$$t_3 = \ln\left(\frac{1+0.1m_1}{1+0.1m_2}\right) \cdot \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}.$$

При номинальных параметрах участка и выбранных параметрах настройки системы управления, согласно (16) и (21), получим:

$$t_3 = 0.228T. \quad (24)$$

Таким образом, экстремальное значение концентрации метана в переходном процессе, согласно (16) и (22-24), имеет значение:

$$S_3(t = t_3) = \left(-1.73 \cdot \exp\left(-\frac{t_3}{T_1}\right) + 0.73 \cdot \exp\left(-\frac{t_3}{T_2}\right) + 1\right)S_z = -0.005S_z. \quad (25)$$

где $\exp\left(-\frac{t_3}{T_1}\right) = \exp\left(-\frac{0.228T}{2Tm_1}\right) = 0.94$,
 $\exp\left(-\frac{t_3}{T_2}\right) = \exp\left(-\frac{0.228T}{2Tm_2}\right) = 0.851$.

Таким образом, согласно (25), экстремальное значение концентрации метана $S_3(t = t_3)$ инверсно относительно конечного уровня концентрации метана $S = S_z$ и представляет уровень всплеска концентрации метана относительно исходного уровня $S(t=0)=0$ при регулировании режима проветривания участка.

Однако, поскольку пиковое значение всплеска $S_3(t = t_3)$, согласно (25), составляет не более 0.5% от формируемого значения концентрации метана S_z в системе практически обеспечивается безопасное по газу управление проветриванием участка неминимально-фазового типа.

Аналоговая модель исследованной эквивалентной функциональной схемы управления (7) показана на рис.5.

Временные графики модели (рис.6) хорошо коррелируют с результатами проведенных аналитических исследований, что подтверждает корректность проведенных преобразований и принятых рекомендаций по настройке системы управления

Аналоговая модель структурной схемы системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа (1)-(2) показана на рис. 7.

Экспериментальные графики управления участком неминимально-фазового типа (рис.8) адекватны соответствующим динамическим характеристикам эквивалентной функциональной схемы системы управления (рис.6), что подтверждает обоснованность и корректность рекомендаций по выбору алгоритма и настройке регулятора расхода воздуха.

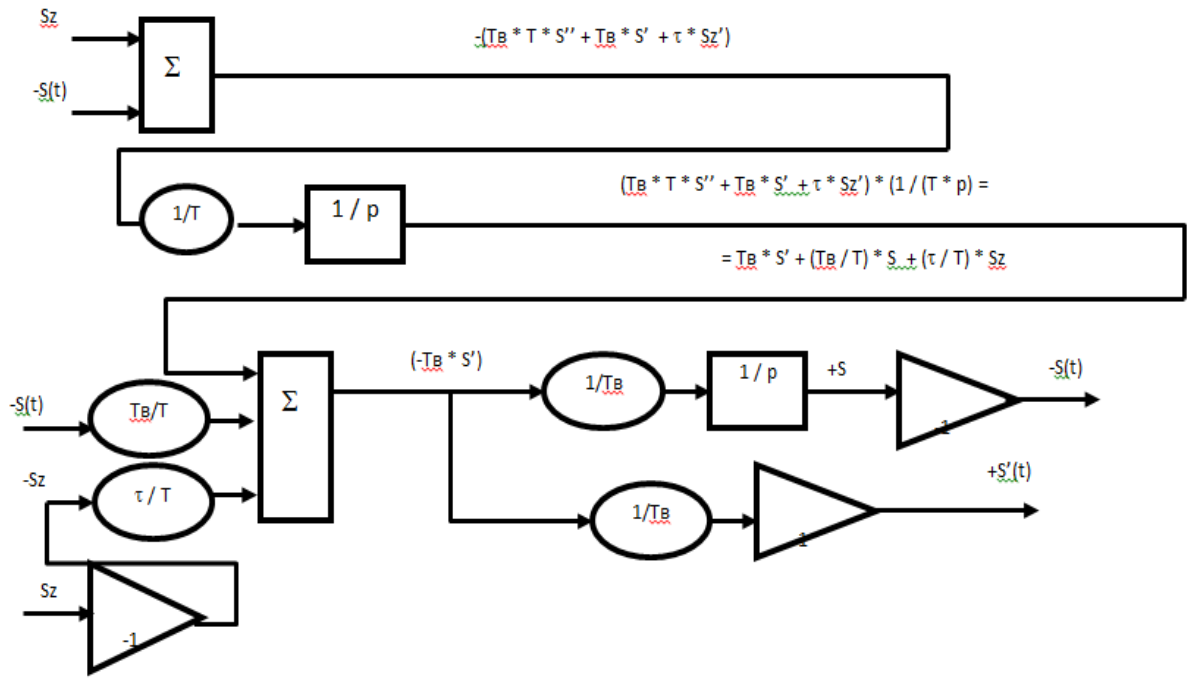


Рисунок 5 – Аналоговая модель эквивалентной функциональной схемы системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа

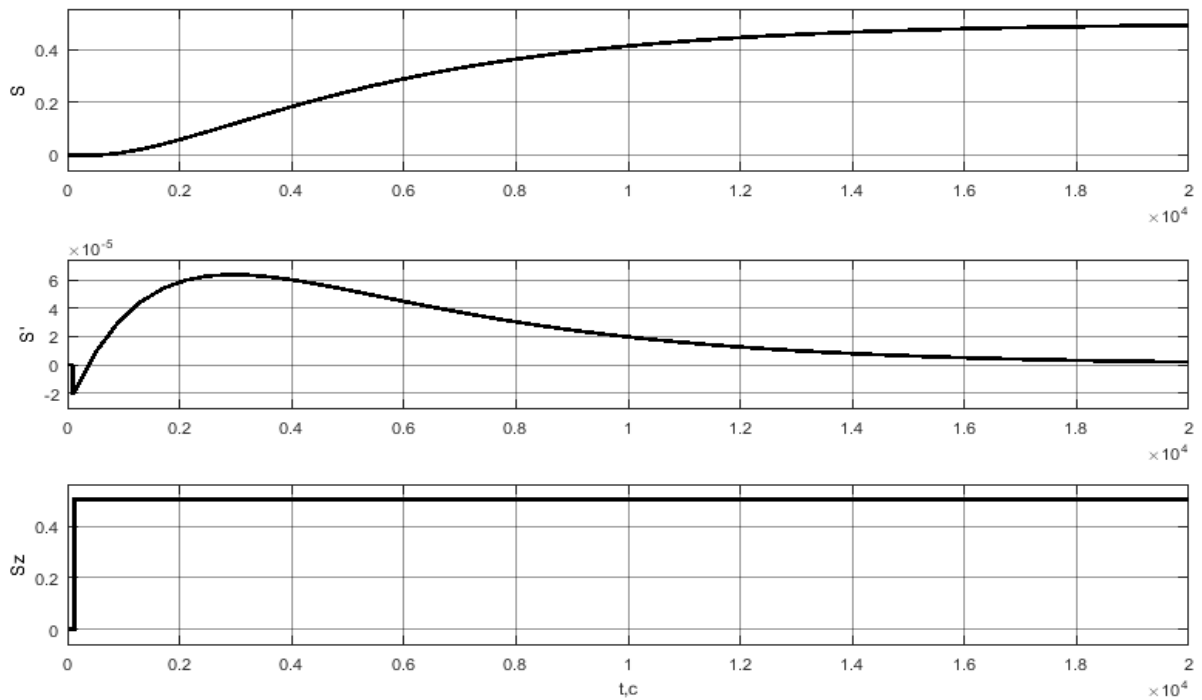


Рисунок 6 - Экспериментальные графики эквивалентной функциональной схемы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа

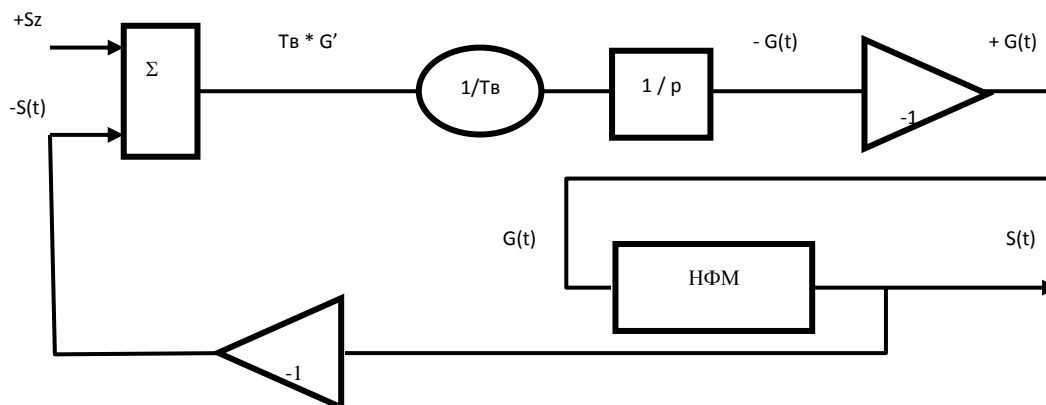


Рисунок 7 – Аналоговая модель структурной схемы управления проветриванием участков минимально-фазового типа

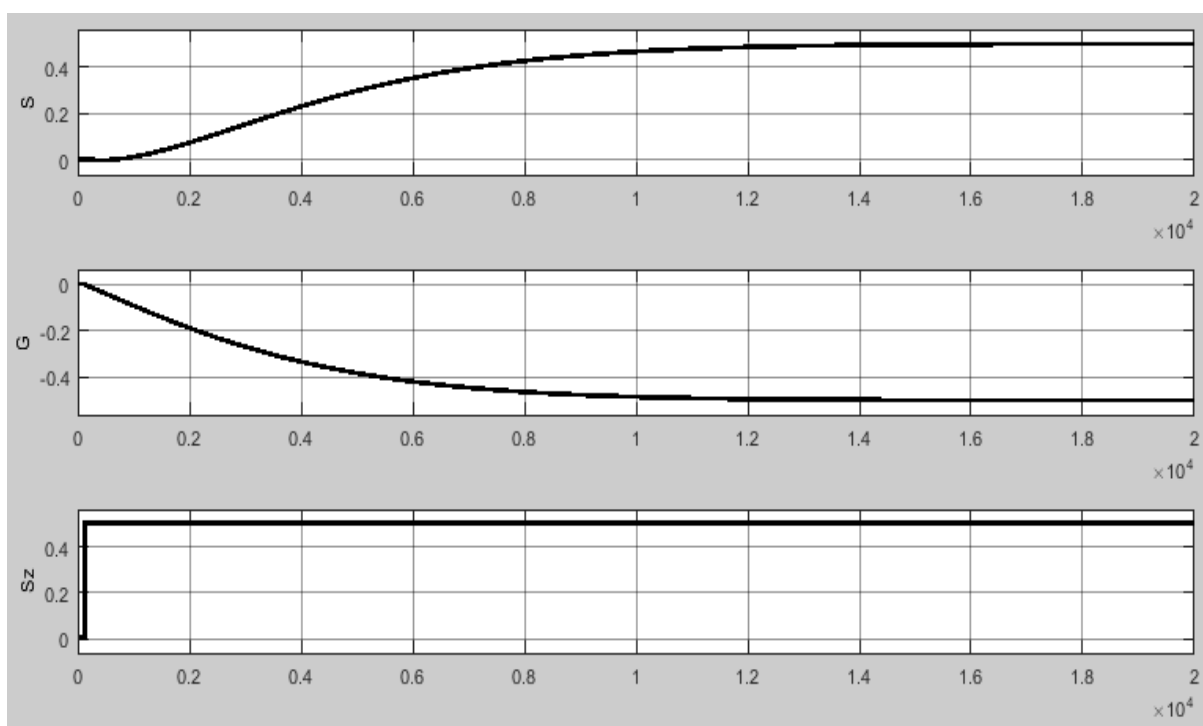


Рисунок 8 – Экспериментальные графики структурной схемы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа

Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие основные результаты:

- в качестве регулятора расхода воздуха в системе управления проветриванием выемочных участков предложено использовать инерционное звено первого порядка;

- в общем виде получено аналитическое описание переходных процессов в системе управления проветриванием участков, обладающих неминимально-фазовыми динамическими свойствами, т.е. наиболее сложных в управлении;

- определена постоянная времени регулятора расхода воздуха системы управления проветриванием участков, при которой

обеспечивается устойчивость системы и безопасный по газу характер переходных процессов управления;

- требуемое качество и работоспособность синтезированных систем управления проветриванием участков, корректность и работоспособность разработанных алгоритмов управления обоснованы и подтверждены аналоговым моделированием типовых режимов работы синтезированных систем управления;

- разработанный способ управления участками неминимально-фазового типа является перспективным для управления неминимально-фазовыми объектами другой физической природы.

Литература

1. Круглов, Ю. В. Моделирование переходных процессов в вентиляционных сетях подземных рудников / Ю. В. Круглов, Л. Ю. Левин, А. В. Зайцев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2011. - №5.

2. Ушаков, В. К. Математическое моделирование надежности и эффективности шахтных вентиляционных систем / В. К. Ушаков : учебное пособие. - М.: изд-во МГГУ, 2003. – 182 с.

3. Фельдман, Л. П. Уравнения неустановившегося движения метано-воздушной смеси в выработках и выработанном пространстве участка. / Л. П. Фельдман. – В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техника, 1971. - Вып.22. – С.95-105.

4. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2003. – 752 с.

5. Чередникова, О. Ю. Исследование переходных процессов в системе управления проветриванием угольных шахт в выемочных участках минимально-фазового типа / О. Ю. Чередникова, Ю. С. Достлев // Информатика и кибернетика. – Донецк: ДонНТУ, 2021. - № 1-2 (23-24). – С. 108-114.

6. Чередникова, О. Ю. Синтез и исследование методами математического моделирования систем управления проветриванием выемочных участков угольных шахт / О. Ю. Чередникова, Ю. С. Достлев // Информатика и кибернетика. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – № 1(15). - С. 65-74.

О.Ю. Чередникова, Ю.С. Достлев. Исследование переходных процессов в системе управления проветриванием угольных шахт в выемочных участках неминимально-фазового типа. В системе управления воздухораспределением для установления желаемого режима проветривания на выемочных участках неминимально-фазового типа предложено использовать регулятор расхода воздуха в виде инерционного звена первого порядка. Аналитически определены оптимальные настройки регулятора расхода воздуха, при которых обеспечиваются устойчивость системы управления проветриванием участков неминимально-фазового типа, желаемая точность работы системы управления, безопасный характер переходных процессов при регулировании и стабилизации режимов проветривания участков. Достоверность проведенных аналитических исследований и работоспособность предложенных систем управления проветриванием участков подтверждены математическим моделированием.

Ключевые слова: неминимально-фазовый объект, моделирование, система управления, концентрация метана

Cherednikova O. Yu., Dostlev Yu. S. Investigation of transient processes in the control system of ventilation of coal mines in mining areas of the non-minimum-phase type. In the air distribution control system, to establish the desired ventilation mode in the excavation areas of the non-minimum-phase type, it is proposed to use an air flow controller in the form of a first-order inertial link. The optimal settings of the air flow controller are analytically determined, which ensure the stability of the control system for ventilation of non-minimum-phase areas, the desired accuracy of the control system, the safe nature of transients when regulating and stabilizing the modes of ventilation of areas. The reliability of the conducted analytical studies and the operability of the proposed control systems for the ventilation of areas are substantiated by mathematical modeling.

Key words: non-minimum-phase object, modeling, control system, methane concentration.

Статья поступила в редакцию 25.02.2022
Рекомендована к публикации профессором Аноприенко А.Я.

УДК 519.87

Математическое моделирование физических параметров металла при электрошлаковом переплаве

В. Н. Павлыш, А. В. Левкина
Донецкий национальный технический университет
a.levkina13@gmail.com

Аннотация

Исследуется задача моделирования физических параметров металла (электропроводность, плотность, теплоемкость, вязкость и поверхностное натяжение шлага) при электрошлаковом переплаве. Рассмотрены математические модели взаимосвязи состава шлага от температуры и других факторов, влияющих на качество производимого изделия. Исследована математическая модель определения вязкости расплавленных флюсов при различных температурах, без экспериментов. Приведены расчеты тепловых потоков при электрошлаковом переплаве. Намечены направления дальнейших исследований.

Введение

Изучению процесса электрошлакового переплава посвящено множество работ. Данный процесс имеет различные методы решения задачи по получению металла с ранее заданными свойствами. Но актуальным остается вопрос получения качественного металла и подборка методов его производства.

В ходе процесса электрошлакового переплава протекает множество практически значимых процессов. Данный процесс, включает в себя переплавку расходоемого электрода, который плавится из-за тепла выделяемого жидким шлаком при прохождении через него электрического тока. Далее происходит капельный перенос электродного металла через слой шлага. Затем следует рафинирование жидкого металла, с помощью шлага нагретого до высокой температуры и затвердевание металла в кристаллизаторе, охлаждаемом водой [1].

Класс задач по фазовым превращениям с выделением или поглощением тепла называются задачей Стефана. В большинстве случаев встречается при процессах плавления и затвердевания [2].

Целью данной работы является математическое моделирование физических параметров металла при электрошлаковом переплаве (ЭШП) и изучение процесса получения слитка с заданными свойствами металла.

При формировании слитка в кристаллизаторе происходит ряд процессов. Сперва пропускается заряд электрического тока, который проходит через жидкий шлак. Под воздействием тока, металлом вырабатывается электрическое сопротивление и как результат вырабатывается тепло. Затем погружается

металлический электрод, который с нагревом начинает оплавляться. Металл каплями перетекает с оплавленной части электрода через шлак в водоохлаждаемую изложницу, в которой постепенно формируется наплавляемый слиток. В результате переплава металл очищается от серы и неметаллических включений, а направленная кристаллизация слитка обеспечивает получение плотной структуры литого металла.

Способ ЭШП изобретен и разработан в институте электросварки им. Е.О. Патона [3] АН УССР в начале 50-х годов. В 1958 г., благодаря высокой технологической гибкости и получению качественного переплавленного металла, ЭШП быстро внедрили в практику отечественной металлургии и машиностроения.

Технологическую схему получения высококачественных заготовок с использованием метода электрошлакового переплава можно представить следующим образом (рис. 1) [4]:

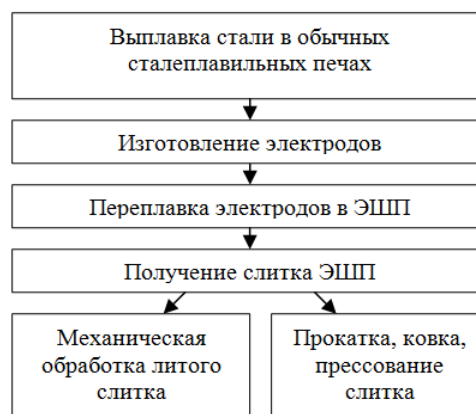


Рисунок 1 - Технологическая схема получения высококачественных заготовок с использованием метода электрошлакового переплава

Постановка задачи

Составим математическую модель расчета параметров шкала для получения заданного качества металла. В названии электрошлаковый переплав, можно подчеркнуть, что главным параметром является шлак. Шлак характеризуется следующими функциями:

- превращения энергии (из электрической в тепловую);
- передачи тепла металлической ванне; рафинирования (удаление вредных примесей и неметаллических включений);
- сохранности металла при вступлении в контакт с окружающей атмосферой;
- затвердевания поверхности слитка.

Чтобы реализовать указанные выше функции, шлак должен соблюдать ряд условий:

- при плавлении температура металла должна быть выше, чем во время плавления шлака;
- уменьшать затраты электроэнергии;
- обеспечивать высокую стабильность процесса ЭШП;
- поддерживать темп наплавления слитка;
- сохранять устойчивость состава шлака в процессе ЭШП.

Влияние компонентов шлаков на ЭШП

Литературные источники по электрошлаковому переплаву содержат разрозненные данные о влиянии компонентов шлаков электрошлакового переплава на его плотность, теплоемкость, теплопроводность, электропроводность, поверхностное натяжение, вязкость и другие параметры в зависимости от состава шлака и его температуры. А это, как отмечалось выше, является очень важным аспектом правильного подбора состава шлака и параметров процесса электрошлакового переплава. Кроме этого, важна также и обратная зависимость – возможность путем выбора необходимых параметров шлака рассчитывать необходимое содержание компонентов.

Для любого производственного процесса необходимо проводить моделирование, чтобы учитывать любые критические изменения. В процессе электрошлакового переплава является важным расчет параметров шлаковой ванны. Эти данные влияют на все последующие параметры процесса ЭШП.

Для математической модели расчета состава шлака необходимо рассчитать следующие параметры: плотность шлака, теплоемкость, электропроводность, вязкость и поверхностное натяжение шлака.

Нахождение перечисленных параметров является минимальным условием для эффективного управления процессом ЭШП с

целью получения качественной продукции при минимальных затратах сырья и электроэнергии.

Химические составы флюсов, как и температура их плавления, известны и описаны в источнике [1]. Плотность некоторых промышленных шлаков представлена в табл. 1, где $\gamma_{ш}$ – плотность шлака; t_n – температура плавления шлака.

Таблица 1 – Значения плотности промышленных шлаков

Шлак	$\gamma_{ш}$, г/см ³	t_n , °C
АНФ-ТП	2,53	1340
АНФ-6	2,68	1350
АНФ-291	2,71	1395
АНФ-292	2,78	1415
АНФ-28	2,78	1500
АНФ-32	3,34	1600
АН-75	2,78	1500
АНФ-94	3,27	1450

Электрическое сопротивление шлаковой ванны можно определить по формуле:

$$R = \rho \frac{4h}{\pi 0l^2} = \frac{4h}{\chi \pi 0l^2}, \quad (1)$$

где R – сопротивление шлаковой ванны, Ом;
 χ – электропроводность шлака, Ом⁻¹*см⁻¹;
 ρ – удельное сопротивление шлака.

Источником тепла в процессе ЭШП выступает шлаковая ванна. Когда электрического ток проходит через шлаковую ванну в ней вырабатывается тепло, достаточное для осуществления процесса ЭШП. Количество электрического тока определяется по формуле (2):

$$Q = 0,24I * 2R_T * t, \text{ кал/с}, \quad (2)$$

где I – сила тока;
 R_T – сопротивление шлаковой ванны;
 t – время процесса.

В общем виде тепловой баланс шлаковой ванны может быть представлен следующим уравнением:

$$P = P_{\Sigma} + P_{из} + P_{ст} + P_{сл} + P_{ис} + P_{нэ}, \quad (3)$$

где P_{Σ} – мощность, передаваемая от шлака, расходуемая на появление электрода;

$P_{из}$ – мощность потери излучением с неэкранированной электродом поверхности шлаковой ванны;

$P_{ст}$ – мощность, отводимая от тепловой поверхности шлаковой ванны на стенку кристаллизатора;

$P_{сл}$ – мощность, передаваемая на ванну жидкого металла;

$P_{ис}$ – мощность, теряемая при испарении шлака;

$P_{нэ}$ – мощность, теряемая излучением с поверхности электрода.

Значения коэффициента удельного снижения температуры плавления для различных элементов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента удельного снижения температуры плавления.

Элемент, i	K, град/%
C	71
Si	19,7
Mn	4,9
Cr	1,6
Ni	3,9
W	0,9
V	2,0
Mo	1,8
Al	2,7

Удельный расход электроэнергии обуславливается самим шлаком, а именно электрическому сопротивлению, которое он вырабатывает. Чем выше сопротивление шлаковой ванны, тем выше темп переплава электродов. Вырабатываемое тепло тратится на электрод и жидкое состояние массы металла и шлака в ванной. Примерно 30-40 % тепла охлаждаются водой, которая необходима для уменьшения температуры кристаллизатора. Около 10-20 % изливается зеркалом шлаковой ванны, и оставшиеся 30-50 % употребляется на расплавление расходоуемого электрода.

Теплоту, необходимую для осуществления ЭШП, получают, пропуская электрический ток через расплавленный шлак. Полагают, что шлаковая ванна представляет собой чисто активное сопротивление в цепи источника питания и теплота выделяется в ней в соответствии с законом Джоуля — Ленца (3):

$$\bar{Q} = I^2 R_i \tau = IU \tau = U^2 \tau / R_i \quad (3)$$

где I – сила тока, А; R – сопротивление шлака, Ом; U – напряжение; t – время.

При электрошлаковом переплаве резко возрастает длительность процесса, а следовательно, к флюсам предъявляются более жесткие требования по стабильности химического состава, достаточной рафинировочной емкости, физическим свойствам.

В работе [5] представлено уравнение зависимости вязкости флюсов от температуры и выражается в виде экспоненциального закона [6] по формуле (4);

$$\eta = A * e^{-\frac{E\eta}{RT}}, \quad (4)$$

где η – вязкость расплавленного флюса;

A – константа, зависящая от природы расплавленного флюса;

$E\eta$ – энергия активации вязкого течения, Дж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(мольК);

T – температура, К.

Предложенная математическая модель на основе уравнения (4) в работе [5, 6] позволяет определить вязкость расплавленных флюсов для электрошлакового переплава при различных температурах без проведения экспериментов.

В виду множества экспериментов процесса ЭШП, выявлены химические составы сталей и сплавов. Поэтому при составлении математических моделей можно использовать данные переплава металлов. А именно температура плавления металлов отражена в работе [7], в которой подчеркнуты механические возможности флюсов. Среди которых подтверждено исключение одновременного применения флюсов в стационарном и подвижном кристаллизаторах.

Математическое моделирование поверхностного натяжения шлаков ЭШП детально рассмотрено в работе [8] и выглядит следующим образом (5):

$$\sigma = 0,485 + 2,33 \cdot 10^{-3} \cdot \%CaO - 1,29 \cdot 10^{-4} \cdot t \quad (5)$$

где σ – поверхностное натяжение шлака, Н/м;

$\%CaO$ – содержание в шлаке CaO, %;

t – температура шлака, °С.

Представленная математическая модель рассмотрена на примере систем $CaF_2 - CaO$, $CaF_2 - MgO$, $CaF_2 - CaO - Al_2 O_3$, $CaF_2 - CaO - SiO_2 - Al_2 O_3 - MgO$ и системы $CaO - SiO_2 - Al_2 O_3$.

Расчитанные математические модели зависимости поверхностного натяжения шлаков ЭШП от их состава и температуры показали высокую эффективность (степени достоверности аппроксимации для различных математических

моделей лежат в пределах от 0,81 до 0,96), что позволяет применять их в инженерных расчётах, а также в компьютерных программах, способных максимально точно и быстро определять параметры шлаков по их составу и температуре или подбирать состав по заданным параметрам.

Таким образом, для электрошлакового переплава сталей наиболее приемлемыми являются флюсы на основе фторсодержащих соединений CaF_2 с введением в них Al_2O_3 , CaO , MgO и т.д., что обеспечивает при ЭШП необходимую производительность и получение высококачественного литого электрошлакового металла.

Тепловые потоки в ЭШП

По окончании процесса электрошлакового переплава, получаем готовый слиток, который вытягиваем из кристаллизатора. Чтобы не повредить слиток при вытягивании, по завершению процесса важно обработать металл тепловыми потоками. В данной задаче за основу возьмем пространственную задачу Стефана.

В работе [3] приведена формула температуры металла в виде функции $u(x, y)$. Твердый слиток, находящийся в кристаллизаторе предварительно обогривают с помощью трех электронных лучей W_1, W_2, W_3 . Мощность этих лучей равномерно распределена, один по центру $\{-1 \leq x \leq 1, y = 0\}$, и два других луча по краям $x = \pm 1$. Обозначим критическую температуру T , при которой слиток отделяется от стенок кристаллизатора. Температуру слитка определяем с помощью функционала по формуле:

$$I(v) = \int_H^0 (u(1, y) - T)^2 dy. \quad (6)$$

При расчетах введем ограничение на мощность потока в пределах от 2500 до 5000 МВт/м². Также используем число Пекле $\omega = 2,66$, и число Нуссельта $\omega = 3,05$. Находим минимум функционала I по формуле:

$$I(v_0) = v_0^2 \frac{\sin 2\lambda_0(1 - e^{-2\mu_0 H})}{2\lambda_0^2 \mu_0^3 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})^2} - (T)^2 H - 2Tv_0 \frac{\sin 2\lambda_0(1 - e^{-\mu_0 H})}{\lambda_0 \mu_0^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})},$$

где
$$v_0 = 4T \frac{\mu_0 \lambda_0 (1 + \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})}{\sin 2\lambda_0}.$$

Находим второе приближение для минимума функционала I по формуле:

$$I(v_1) = v_1^2 \frac{\sin 2\lambda_0(1 - e^{-2\mu_0 H})}{2\mu_0^3 \lambda_0^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})^2} + v_0^2 \frac{\sin 2\lambda_1(1 - e^{-2\mu_1 H})}{2\mu_1^3 \lambda_1^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_1}{\lambda_1^2})^2} + 2v_1^2 \frac{\sin 2\lambda_0 \sin 2\lambda_1(1 - e^{-\mu_0 H})(1 - e^{-\mu_1 H})}{\mu_1 \lambda_1 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_1}{\lambda_1^2}) \mu_0 \lambda_0 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})} - 2Tv_1 \left[\frac{\sin 2\lambda_0(1 - e^{-\mu_0 H})}{\lambda_0 \mu_0^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})} + \frac{\sin 2\lambda_1(1 - e^{-\mu_1 H})}{\lambda_1 \mu_1^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_1}{\lambda_1^2})} \right] - H(T)^2,$$

где

$$v_1 = 2T^* \left[\frac{\sin 2\lambda_0(1 - e^{-\mu_0 H})}{\lambda_0 \mu_0^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})} + \frac{\sin 2\lambda_2(1 - e^{-\mu_2 H})}{\lambda_2 \mu_2^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_2}{\lambda_2^2})} \right] A,$$

$$A = \frac{\sin^2 \lambda_0(1 - e^{-\mu_0 H})}{\lambda_0 \mu_0^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2})^2} + \frac{\sin^2 2\lambda_1(1 - e^{-2\mu_1 H})}{2\mu_1^2 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_1}{\lambda_1^2})^2} + 2 \frac{\sin 2\lambda_0 \sin 2\lambda_1 (1 - e^{-\mu_0 H})(1 - e^{-\mu_1 H})}{\mu_0 \lambda_0 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_0}{\lambda_0^2}) \mu_1 \lambda_1 (1 + \omega \frac{\cos^2 \lambda_1}{\lambda_1^2})}.$$

Результаты расчетов тепловых потоков при значения параметров $\omega_0 = 0,3$; $\lambda_0 = 1,1925$; $\lambda_0 = 3,8083$ приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Значения тепловых потоков

T	H	v_0	v_1	$I(v_0)$	$I(v_1)$
0,9	-3,0	3,352	6,506	7,281	45,840
0,9	-4,0	3,352	8,415	6,014	17,010
0,9	-6,0	3,352	11,75	3,378	157,183
0,95	-3,0	3,539	6,878	8,112	51,175
0,95	-4,0	3,539	8,871	6,690	96,936
0,95	-6,0	3,539	11,34	3,764	175,133
0,9	-3,0	4,5	4,5	20,167	18,431
0,9	-4,0	4,5	4,5	19,345	19,255
0,9	-6,0	4,5	4,5	16,548	21,267
0,95	-3,0	4,5	4,5	19,360	17,873
0,95	-4,0	4,5	4,5	17,914	18,668
0,95	-6,0	4,5	4,5	14,927	19,748
0,9	-3,0	11,1	11,1	188,97	154,728
0,9	-4,0	11,1	11,1	194,69	162,962
0,9	-6,0	11,1	11,1	194,77	160,964

Заклучение

В заключении следует отметить, что изучению процесса электрошлакового переплава посвящено множество работ, обзор теоретических основ по данной тематике достаточно подробно приведен в литературных источниках [9-12].

Также необходимо указать, что данный процесс предусматривает различные методы решения задачи по получению металла с заранее заданными свойствами. Однако, проблема получения качественного металла и подборка методов его производства по-прежнему остается актуальной.

В данной статье приведены математические модели по основным параметрам шлака, таким как плотность шлака, теплоемкость, электропроводность, вязкость и поверхностное натяжение шлака, которые оказывают наиболее существенное влияние для получения слитка с заданными свойствами металла.

В качестве направлений дальнейших исследований следует отметить следующие:

1. Используя последние данные с результатами экспериментов можно смоделировать процесс электрошлакового переплава.

2. Зная исходные данные можно спрогнозировать качество изготавливаемого изделия, что в свою очередь может быть использовано в процессе производства.

3. Это позволит в дальнейшем применить уравнение теплопроводности и условие Стефана для получения приближенного анализа процесса кристаллизации подобно исследованиям, описанным в источниках [13-15].

Литература

1. Клюев, М. М. Электрошлаковый переплав / М. М. Клюев, С.Е. Волков.— М. : Металлургия, 1984.— 208 с.
2. Миненко, А.С. Исследование конвективной задачи Стефана на плоскости / А.С. Миненко, А.В. Левкина // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк, 2018. – № 3. – С. 74-83.
3. Патон, Б.Е. Избранные труды / Б.Е. Патон. – Киев : Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, 2008. – 893 с.
4. Павлов, В. А. Спецэлектрометал-лургия сталей и сплавов : учебное пособие / В. А. Павлов, Е. Ю. Лозовая, А. А. Бабенко.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018.— 168 с.
5. Лопав, Б.Е. Расчёт вязкости флюсов для электрошлакового переплава на основе способа равных сумм / Б. Е. Лопав, И. И. Кагарманов // Машиностроение и машиноведение, 2016. – № 1. – С. 18–21.
6. Есин, О. А. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч 2. / О. А. Есин, П. В. Гельд – 2-е изд. – М: Металлургия, 1996. – 703 с.
7. Жеребцов, С. Н. Особенности физико-химических и технологических свойств флюсов, используемых в технологиях электрошлакового переплава / С. Н. Жеребцов, М. В. Романовский // Литье и металлургия. – 2007. – № 1 (41). – С. 118 – 122.
8. Шевченко, А.И. Моделирование одного класса сложных систем с нечетким управлением / А. И. Шевченко, А. С. Миненко, И. А. Сыпко // Доп. НАН України. – 2013. – № 8. – С. 52-54.
9. Меджибожский, М. Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов / Меджибожский М. Я. – Киев-Донецк : Вища школа, 1986. – 280 с.
10. Миненко, А. С. Вариационные задачи со свободной границей / А. С. Миненко. – Киев : Наукова думка, 2005. – 354 с.
11. Миненко, А. С. Исследование осесимметричного течения со свободной границей / А. С. Миненко // Нелинейные граничные задачи. – 1993. – 65–71 с.
12. Миненко, А. С. Исследование одной конвективной задачи Стефана методом Ритца / А. С. Миненко // Укр. мат. Журнал, 2007. – №11. – С. 1546-1556.
13. Миненко, А.С. Математическое моделирование процесса кристаллизации металла при электрошлаковом переплаве / А. С. Миненко, А. В. Левкина // Информатика и кибернетика. – Донецк, 2018. – № 13. – С. 33-36.
14. Миненко, А.С. Исследование конвективной задачи Стефана на плоскости / А.С. Миненко, А. В. Левкина // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк, 2018. – № 3. – С. 74-83.
15. Миненко, А. С. Математическое моделирование и экономическое обоснование процесса кристаллизации металла при электрошлаковом переплаве / А. С. Миненко, А. В. Левкина, Е. В. Радевич // Сборник материалов IV международной научно-практической конференции «Бизнес-инжиниринг сложных систем: модели, технологии, инновации» (ВЕСС-2019) (г. Донецк - Екатеринбург, 14-16 ноября 2019 г.). – С. 292-295.

Павлыш В. Н., Левкина А. В. Математическое моделирование физических параметров металла при электрошлаковом переплаве. Исследуется задача моделирования физических параметров металла (электропроводность, плотность, теплоемкость, вязкость и поверхностное натяжение шлака) при электрошлаковом переплаве. Рассмотрены математические модели взаимосвязи состава шлака от температуры и других факторов, влияющих на качество производимого изделия. Исследована математическая модель определения вязкости расплавленных флюсов при различных температурах, без экспериментов. Приведены расчеты тепловых потоков при электрошлаковом переплаве. Намечены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав, шлак, теплопроводность, моделирование, флюсы, электропроводность.

Pavlysh V. N., Levkina A. V. Mathematical modeling of physical parameters of metal during electroslag remelting. The problem of modeling the physical parameters of metal (electrical conductivity, density, heat capacity, viscosity and surface tension of slag) during electroslag remelting is investigated. Mathematical models of the relationship of slag composition to temperature and other factors affecting the quality of the manufactured product are considered. A mathematical model for determining the viscosity of molten fluxes at various temperatures, without experiments, is investigated. Calculations of heat fluxes during electroslag remelting are given. The future directions are determined.

Keywords: electroslag remelting, slag, thermal conductivity, modeling, fluxes, electrical conductivity.

Статья поступила в редакцию 09.11.2021
Рекомендована к публикации профессором Зори С. А.

УДК 004.52

Разработка системы мониторинга тепловой электростанции

Т. В. Завадская, К. В. Легкоступ, Р. В. Мальчева
Донецкий национальный технический университет,
gilzey@mail.ru

Аннотация

В статье представлен краткий обзор современных проблем автоматизации технологических процессов и пояснена необходимость модернизации систем мониторинга теплоэлектростанции. Дан краткий обзор языков программирования, сформулированы требования к проекту и обоснован выбор платформы для реализации системы. Приведены примеры работы системы. Ожидаемым эффектом от внедрения системы мониторинга тепловой электростанции является минимизация ущерба при эксплуатации ТЭС, связанного, в том числе, с человеческим фактором.

Введение

Цифровизация всех сфер деятельности, включая технологические отрасли промышленности, стала одной из основных приоритетных задач в России. Новые информационные технологии и реализованные на их основе информационные системы являются мощным инструментом для организационных изменений, которые "вынуждают" предприятия перепроектировать свою структуру, область деятельности, коммуникации, ресурсы, т. е. провести полный реинжиниринг бизнес-процессов для достижения новых стратегических целей [1, 2]. Большинство компаний понимают, что в настоящее время и, тем более, в будущем добиться успеха можно только используя безопасные современные цифровые решения. Работы в этом направлении ведутся во многих отраслях народного хозяйства, в научных организациях, в компаниях, предоставляющих услуги, связанные с разработкой и внедрением информационных технологий [3].

Энергетика, как консервативная отрасль, только начинает изучать методологию создания и подходы к реализации таких проектов. В настоящее время существует острая необходимость в автоматизации отображения состояния и управления сложными процессами в тепловой электростанции.

Постановка задачи

Сложность задач автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на тепловых электростанциях (ТЭС) вынуждает для удобства выполнения операций по управлению и исключения ошибочных действий персонала разделять оборудование энергоблоков ТЭС и их

вспомогательных участков на группы по функциональному признаку. Для каждой группы создается свой модуль мониторинга текущего состояния.

Для снижения аварийности и повышения бесперебойности обеспечения потребителей теплом и электроэнергией необходимо:

- постоянно обновлять оборудование путем внедрения более эффективного и надежного;
- внедрять интеллектуальные системы автоматического управления с возможностью создания архивов информации, т.е. накапливать большие данные (big data);
- иметь доступ к архивным данным с целью отображения трендов основных процессов;
- практически мгновенно получать актуальные сводки о текущем состоянии энергообъекта и оперативно реагировать на любые изменения [4].

На решение этих задач и направлена модернизация системы мониторинга ТЭС.

Требования к системе

Система мониторинга ТЭС должна обладать определенными критериями:

- простота и понятность рабочего интерфейса;
- фиксированный контроль и защищенность от изменений важных технологических параметров;
- отчетность о возникновении каких-либо сбоев и о вероятности возникновения непредвиденных ситуаций;
- наличие системы аварийного противодействия внеплановым происшествиям;
- удаленный контроль важных аспектов производства;

- техническая поддержка, возможность внесения изменений как в интерфейс системы, так и в её функционал.

В рамках реализации проекта стоит также учесть:

- имеющиеся к текущему времени функциональные возможности системы автоматизации;
- возможность повышения производительности отдельных ее модулей;
- средства для обеспечения непрерывного учета технико-экономических показателей.

Особенности объекта мониторинга

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) – разновидность тепловой электростанции (ТЭС), которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения [5] в виде пара и горячей воды, в том числе для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов (рис. 1).

При строительстве ТЭЦ необходимо учитывать близость потребителей тепла в виде горячей воды и пара, т. к. передача тепла на

большие расстояния экономически нецелесообразна.

По типу соединения котлов и турбин теплоэлектроцентрали могут быть блочные и неблочные (с поперечными связями).

На блочных ТЭЦ котлы и турбины соединены попарно (иногда применяется дубли-блочная схема: 2 котла на 1 турбину). Такие блоки имеют, как правило, большую электрическую мощность: 100-300 МВт.

Схема с поперечными связями позволяет перебросить пар от любого котла на любую турбину, что повышает гибкость управления станцией. Однако для этого необходимо установить крупные паропроводы вдоль главного корпуса станции.

Кроме того, все котлы и все турбины, объединённые в схему, должны иметь одинаковые номинальные параметры пара (давление, температуру). Если в разные годы на ТЭЦ устанавливалось основное оборудование разных параметров, должно быть несколько схем с поперечными связями.

Для принудительного изменения параметров пара может быть использовано редукционно-охладительное устройство (РОУ).

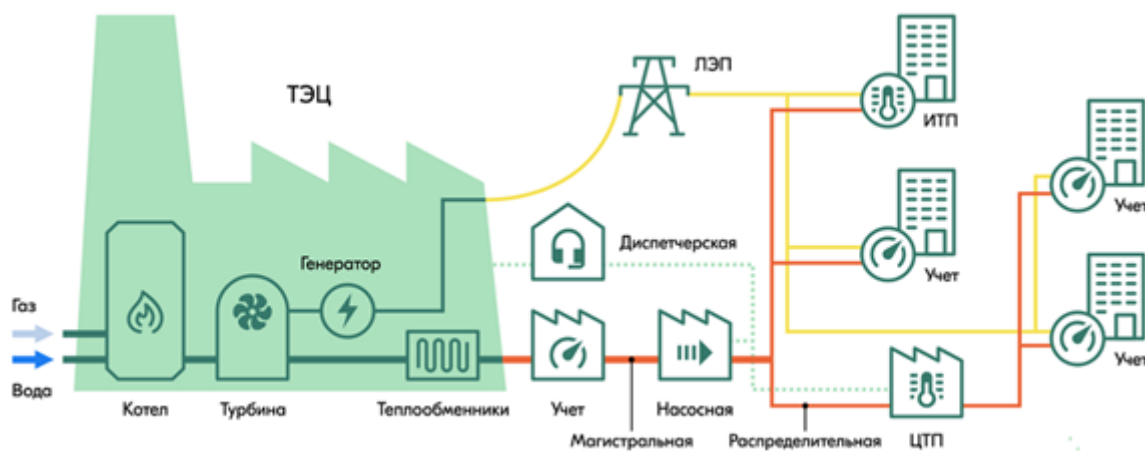


Рисунок 1 – Принцип работы ТЭЦ

По типу паропроизводящих установок ТЭЦ могут быть:

- с паровыми котлами;
- с парогазовыми установками;
- с ядерными реакторами (атомная ТЭЦ).

Могут быть также ТЭЦ без паропроизводящих установок – с газотурбинными установками.

Поскольку ТЭЦ часто строятся, расширяются и реконструируются в течение десятков лет (что связано с постепенным ростом

тепловых нагрузок), то на многих станциях имеются установки разных типов.

Паровые котлы ТЭЦ различаются также по типу топлива: уголь, мазут или газ.

По типу выдачи тепловой мощности различают турбины:

- с регулируемыми теплофикационными отборами пара (в обозначении турбин, выпускаемых в России, присутствует буква «Т», например, Т-110/120-130);
- с регулируемыми производственными отборами пара («П»);
- с противодавлением («Р»).

Обычно имеется 1-2 регулируемых отбора каждого вида. При этом количество нерегулируемых отборов, используемых для регенерации тепла внутри тепловой схемы турбины, может быть любым (как правило, не более 9, как для турбины Т-250/300-240).

Давление в производственных отборах (номинальное значение примерно 1-2 МПа) обычно выше, чем в теплофикационных (примерно 0,05-0,3 МПа).

Термин «противодавление» означает, что турбина не имеет конденсатора, а весь отработанный пар уходит на производственные нужды обслуживаемых предприятий.

Такая турбина не может работать, если нет потребителя пара противодавления.

В похожем режиме могут работать теплофикационные турбины (типа "Т") при полной тепловой нагрузке: в таком случае весь пар уходит в отопительный отбор, однако давление в конденсаторе поддерживается немного больше номинального (обычно не более 12-17 кПа).

Для некоторых турбин возможна работа на «ухудшенном вакууме» - до 20 кПа и более.

Кроме того, выпускаются паровые турбины со смешанным типом отборов:

- с регулируемыми теплофикационными и производственными отборами («ПТ»);
- с регулируемыми отборами и противодавлением («ПР») и др.

На ТЭЦ могут одновременно работать турбины различных типов в зависимости от требуемого сочетания тепловых нагрузок.

Особенности организации систем мониторинга первичного оборудования

Подход к организации систем мониторинга первичного оборудования на крупных предприятиях, таких как ТЭС, состоит существенным образом продлить регламентные сроки службы первичного оборудования, снизить расходы на организацию плановых ремонтных работ, а также путем централизации данных на верхнем уровне управления (SCADA) сформировать объективную модель энергорайона с выводом информации о проблемных точках (конкретном первичном оборудовании с указанием его дефекта) энергосистемы, которые являются угрозой бесперебойной поставке электроэнергии от мест её генерации до конечного потребителя [6].

Из этого вытекает, что каждую конфигурацию системы мониторинга можно реализовать индивидуально под каждое предприятие с учетом его текущей конфигурации и всех имеющихся особенностей технического комплекса.

Современные АСУ ТП АЭС и ТЭС являются, как правило, 2-уровневыми, в которых

вычислительный комплекс выполняет следующие функции:

- контроль хода технологического процесса;
- расчет косвенно-определяемых показателей (технико-экономических показатели, расчет энерговыделения в реакторе и др.);
- диагностика оборудования;
- регистрация предаварийных и аварийных ситуаций;
- оптимизация режима работы;
- ведение документации;
- оперативная связь с верхним уровнем управления (АСУ АЭС).

На 1-м уровне управления выполняются следующие функции:

- автоматическая стабилизация параметров;
- дистанционное управление объектом с помощью оператора;
- управление функциональными группами в нормальных режимах, в режимах пуска и останова энергоблока;
- автоматические защиты, блокировки и включение резерва;
- автоматический пуск и останов энергоблока.

Поскольку функции АСУ ТП разнообразны, а также с учетом того, что с энергоблока поступает огромное количество информации, в комплекс технических средств (КТС) АСУ ТП входят информационный (ИК) и вычислительный (ВК) комплексы [7-8].

Удобная архитектура разработки позволяет обеспечить [8]:

- эффективный оперативный контроль за рациональным использованием теплоресурсов за счет сокращения времени сбора и обработки данных автоматизированного учета по всей структурной иерархии предприятия с доведением этого контроля до каждого заинтересованного подразделения, службы и руководства предприятия;
- минимизацию производственных и непроизводственных затрат, а также снижение технологических и коммерческих потерь;
- уменьшение размеров разбалансирования теплоресурсов по основным направлениям использования за счет повышения точности учёта;
- упорядочивание и оперативность взаимных финансовых расчетов отпуска/потребления теплоносителя за счет ведения объективного автоматизированного коммерческого учета на основании действующих норм и правил.

Все эти особенности учтены при реализации текущей версии системы мониторинга ТЭС.

Выбор технологии реализации

Учитывая опыт реализации систем мониторинга [9], текущая версия реализована в виде сайта на языке PHP с использованием платформы PhpStorm. Данная технология представляет собой богатый и интеллектуальный редактор кода для PHP с расширенной конфигурацией форматирования кода, проверкой на наличие ошибок в текущем времени, а также умным авто дополнением.

PHPstorm предлагает новую модель программирования и инфраструктуру, которые позволяют разрабатывать защищенные и масштабируемые решения.

В системе мониторинга для хранения информации используется единая база данных, которая управляется при помощи СУБД Microsoft SQL Server.

Microsoft SQL Server — система управления реляционными базами данных, разработанная корпорацией Microsoft. MS SQL Server является одной из наиболее популярных и

устойчивых систем управления базами данных (СУБД) в мире [10].

Данная СУБД подходит для самых различных проектов: от небольших приложений до больших высоконагруженных проектов. СУБД MS SQL Server является предпочтительной для работы с приложениями, написанными на языке PHP. Исходя из этого данная СУБД была выбрана при реализации.

Так же следует учитывать возможность интерпретации Web SCADA системы с её последующей реализацией.

Реализация текущей версии системы

По состоянию на текущий момент реализован мониторинг отдельных производственных процессов предприятия. На рис. 2 показан пример отображения схемы теплоснабжения. В ней еще видны некоторые не вполне удачные цветовые решения, которые планируется устранить.

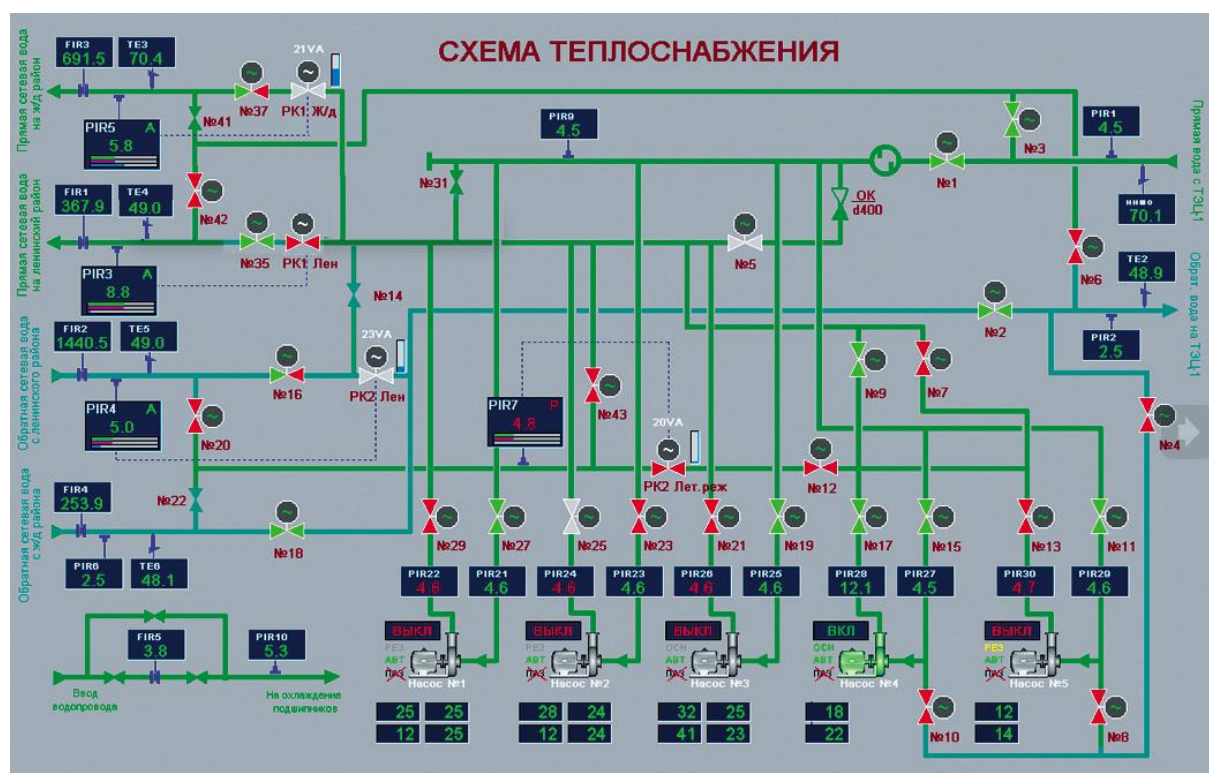


Рисунок 2 – Отображение схемы теплоснабжения

На рис. 3 приведен пример мониторинга центрального теплового пункта. При этом выполняются следующие функции:

- измерение мгновенных и расчет усредненных за интервалы времени значений температуры, давления и расхода (массы или объема) теплоносителя;
- определение по результатам измерений температуры и давления теплофизических

параметров теплоносителя: плотности, динамической вязкости, энтальпии и других параметров;

- расчет количественных параметров теплоносителя и тепловой энергии: массового (объемного) расхода, тепловой мощности, массы (объема) и тепловой энергии теплоносителя за отчетные интервалы времени;

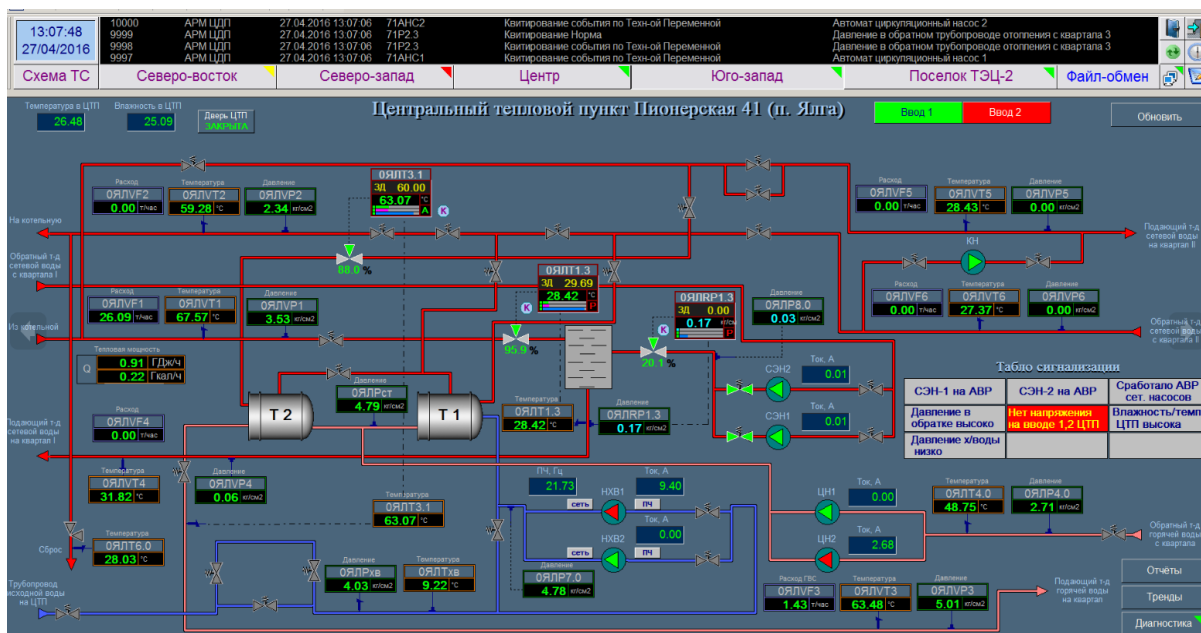


Рисунок 3 – Пример мониторинга центрального теплового пункта

- расчет балансов выработки и потребления теплоносителя и тепловой энергии, определение нормативных и фактических тепловых потерь по каждой тепломагистральной;
- автоматическое формирование ведомостей учета теплоносителя и тепловой энергии за отчетные интервалы времени по каждому направлению их использования;
- управление отпуском/потреблением теплоносителя и теплофикационной арматурой (опционально).

Выводы

В современных системах мониторинга для крупных аварийно-опасных объектов стоит учитывать, что системы наблюдения в настоящее время требуют развития и адаптации, т.к. не отвечает современным тенденциям в следствие чего снижается эффективность эксплуатации.

В ходе реализации и комплексной оценки ТС позволяет выявлять «слабое звено» в цепи технологического транзита от производителя электроэнергии до конечного потребителя, направлять соответствующие материальные и технические ресурсы на оптимизацию системы, поддерживая при этом уровень надежности электроснабжения на высоком уровне при невысоких затратах.

Современные программные комплексы совместно с системами мониторинга позволяют решать такую технико-экономическую задачу, как управление производственными активами электросетевых компаний.

В настоящее время система мониторинга реализована частично и проходит апробацию на

реальной ТЭС в ДНР. Планируется продолжение работ в этом направлении.

Литература

1. Мальчева, Р. В. Компьютерные технологии – основа цифровой экономики / Р. В. Мальчева // Бизнес-инжиниринг сложных систем: модели, технологии, инновации. Сборник материалов III международной научно-практической конференции. Донецк: ДОННТУ, 2018. - С. 102-105.
2. Развитие информационных технологий [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: ИНТУИТ. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/curriculum/16336/courses/1230/lecture/24057>
3. Мальчева, Р. В. Автоматизация проектирования буровзрывных работ на карьерах / Р. В. Мальчева, А. Н. Шкуматов // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. - Т. 5., № 1 (4). - С. 103-108.
4. «Умные электростанции» цифровое будущее энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energypolicy.ru/umnye-elektrostantsii%E2%80%AF-cifrovoe-budushhee-energetiki/energoperehod/2021/17/13/>
5. Теплоэлектроцентраль «ТЭЦ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/elektrostantsii/142466-teploelektrotsentral-tets/?msclid=e4dfca3c56f11ec9788d201c20ea8e0>
6. Системы мониторинга высоковольтного энергетического оборудования [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <https://energybase.ru/news/articles/monitoring-systems-for-high-voltage-power-equipment-2020-03-16>

7. Функции АСУ ТП на ТЭС и АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tesiaes.ru/?p=13024>

8. Автоматизированная система комплексного учета теплоресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.krug2000.ru/decisions/solutions_comac/c/ackyt.html?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=

9. Кобыляцкий, А. И. Выбор аппаратно-программных средств для реализации мониторинга инфраструктуры «Умный дом» / А. И. Кобыляцкий, Р. В. Мальчева, Л. П. Володько // Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (СИТОНИ-2021). Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Донецк: ДОННТУ, 2021. - С. 175-179.

10. Павленко, А. Microsoft SQL Server — особенности и установка СУБД MS SQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://otus.ru/nest/post/1566/>

Legkostup K. V., Zavadskaya T. V., Malcheva R. V. Разработка системы мониторинга тепловой электростанции. В статье представлен краткий обзор современных проблем автоматизации технологических процессов и пояснена необходимость модернизации систем мониторинга теплоэлектростанции. Дан краткий обзор языков программирования, сформулированы требования к проекту и обоснован выбор платформы для реализации системы. Приведены примеры работы системы. Ожидаемым эффектом от внедрения системы мониторинга тепловой электростанции является минимизация ущерба при эксплуатации ТЭС, связанного, в том числе, с человеческим фактором.

Ключевые слова: электростанция, тепло, разработка, Php, PhpStorm, SQL, СУБД, мониторинг.

Legkostup K. V., Zavadskaya T. V., Malcheva R. V. Development of a monitoring system of a thermal power plant. The article presents a brief overview of current problems and the need to modernize the monitoring systems of a thermal power plant. The choice of a platform for the implementation of the system. A brief overview of programming languages and the requirements for the designed language are formed. The prospects for the introduction of a distributed monitoring system for a thermal power plant is to minimize damage during the operation of a thermal power plant, to minimize the human factor.

Keywords: power plant, heat, development, Php, PhpStorm, SQL, DBMS, monitoring, research.

Статья поступила в редакцию 20.05.2022
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 621.3.078.4+519.876.5

Анализ чувствительности системы модального управления механизмом перемещения грузовой тележки мостового крана к неточному определению параметров объекта управления

В. Н. Павлыш, Д.В. Бажутин

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
dv.bazhutin@yandex.ru

Аннотация

В работе представлен анализ устойчивости системы модального управления механизмом перемещения грузовой тележки мостового крана, синтезированной из условий демпфирования колебаний груза, при неточном определении параметров объекта регулирования. Методами компьютерного моделирования проведена оценка изменения показателей качества регулирования при отклонении измеренных значений длины подвеса и массы груза от истинных. Показано, что в пределах точности работы современных средств измерений варьируемых параметров объекта синтезированная система сохраняет устойчивость и обеспечивает приемлемое качество переходных процессов.

Введение

Возникающие при перемещении грузов мостовыми кранами колебательные движения негативно сказываются на производительности крановых установок, поскольку приводят к увеличению времени транспортировки. Для устранения этих колебаний применяют различные подходы, например, используют заранее рассчитанные диаграммы разгона [1], искусственные нейронные сети системы нечеткой логики [2], импульсное управление по методике input shaping [3], системы с отрицательной обратной связью по вектору состояния системы [4] и т.д. Последние из перечисленных систем выделяются за счет относительной простоты реализации, а также возможности непосредственного синтеза формы переходной функции. В [5, 6] рассмотрены вопросы разработки систем вертикальной стабилизации перемещаемых мостовыми кранами грузов с использованием модального управления при известных постоянных параметрах объекта управления, а в [7] приводится методика адаптации подобной системы к известному закону изменения длины подвеса.

Общей проблемой систем модального управления является чувствительность к точности определения параметров объекта управления. Следовательно, при разработке подобных систем необходимо проводить анализ влияния данного показателя на качество переходных процессов. В [8, 9] подобные исследования проводятся путем анализа изменения формы переходных функций замкнутой системы и расположения корней ее характеристического полинома на комплексной плоскости.

Целью работы является анализ влияния погрешностей определения параметров модели на форму переходных процессов в системе демпфирования колебаний груза, а также оценка необходимой точности их измерения для обеспечения удовлетворительного качества демпфирования.

Модель объекта исследований

В качестве объекта исследований примем тележку мостового крана с подвешенным грузом, схематическое изображение которой приведено на рисунке 1. На этом рисунке обозначены: M – масса тележки, m – масса груза, L – длина подвеса, φ – угол отклонения груза от вертикали, ω – угловая скорость колебаний груза, F_y – тяговое усилие электропривода тележки, v_y – линейная скорость тележки, F_z – тяговое усилие электропривода подъема груза, v_z – скорость подъема груза.

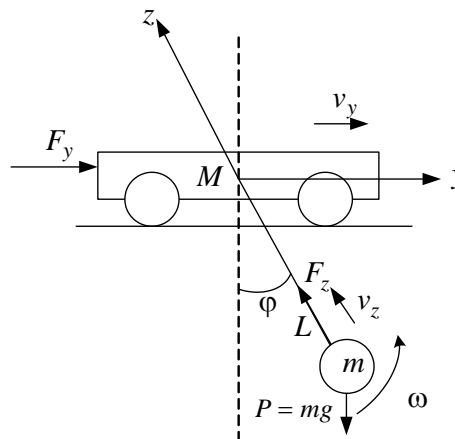


Рисунок 1 – Схематическое изображение тележки с подвешенным грузом

Математическое описание движения такой системы может быть получено с помощью уравнения Лагранжа 2-го рода в виде:

$$\begin{cases} \frac{dv_y(t)}{dt} = \frac{1}{M+m} \left[F_y(t) + mL(t) \left(\frac{d\omega(t)}{dt} \cos \varphi(t) - L(t)\omega^2(t) \sin \varphi(t) + \frac{dv_z(t)}{dt} \sin \varphi(t) + 2v_z(t)\omega(t) \cos \varphi(t) \right) \right], \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{L(t)} \left[\frac{dv_y(t)}{dt} \cos \varphi(t) + g \sin \varphi(t) + 2v_z(t)\omega(t) \right], \\ \frac{dv_z(t)}{dt} = \frac{F_z(t)}{m} + \frac{dv_y(t)}{dt} \sin \varphi(t) + L(t)\omega^2(t) + g \cos \varphi(t), \\ \frac{ds_y(t)}{dt} = v_y(t), \quad \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega(t), \quad \frac{dL(t)}{dt} = -v_z(t). \end{cases} \quad (1)$$

Для синтеза системы демпфирования колебаний груза необходимо линеаризовать полученные уравнения, приняв длину подвеса постоянной, а также считая значения угла отклонения груза от вертикали достаточно малыми, благодаря чему можно принять $\sin \varphi \approx \varphi$, $\cos \varphi \approx 1$, $\omega^2 \approx 0$. После необходимых преобразований получим модель объекта исследования в следующем виде:

$$\begin{cases} M \frac{dv_y(t)}{dt} = F_y(t) + mg\varphi(t), \\ \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega(t) \\ L(t) \frac{d\omega(t)}{dt} = -\frac{1}{M} F_y(t) - \frac{g(M+m)}{M} \varphi(t). \end{cases} \quad (2)$$

Синтез системы модального управления

Для синтеза системы модального управления необходимо преобразовать математическую модель объекта управления (2) в матричную форму пространства состояний. Приняв вектор состояния в виде:

$$\mathbf{X} = [v_y \quad \varphi \quad \omega]^T,$$

для входного воздействия $u = F_y$ после всех необходимых преобразований получим матрицы состояния в следующем виде:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{(M+m)g}{ML(t)} & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{M} \\ 0 \\ -\frac{1}{ML(t)} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Для этих матриц в [7] получены формулы для коэффициентов модального регулятора, обеспечивающего эффективное демпфирование колебаний груза:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \frac{\Omega_0^3 ML}{g} \\ g(M+m) - \Omega_0^2 \gamma_1 LM \\ \frac{-M \Omega_0 L (\gamma_2 g - \Omega_0^2 L)}{g} \end{bmatrix}^T, \quad (4)$$

где Ω_0 – среднегеометрический корень желаемого характеристического полинома замкнутой системы, а γ_1 и γ_2 – коэффициенты его нормированного вида:

$$G_*(p) = p^3 + \Omega_0 \gamma_2 p^2 + \Omega_0^2 \gamma_1 p + \Omega_0^3.$$

Структурная схема системы модального управления, синтезированной из условия обеспечения демпфирования колебаний груза в соответствии с [7], приведена на рис. 2.

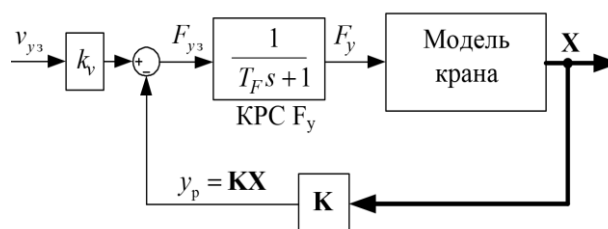


Рисунок 2 – Структурная схема исследуемой системы модального управления

В данной модели дополнительно учтено наличие и оптимизированного контура регулирования тягового усилия (КРС F_y) в виде аperiodического звена с постоянной времени $T_F = 0,002$ с.

В объекте управления содержатся три параметра:

- 1) масса тележки M , которая в процессе работы не изменяется, поэтому принимается постоянной;
- 2) масса груза m , которая в процессе работы может изменяться в широком диапазоне (от массы пустого крюка до максимальной грузоподъемности крана);
- 3) длина подвеса L , которая постоянно изменяется во время работы от максимального значения (высота установки крана) до минимально допустимого по условиям эксплуатации.

Таким образом, необходимо оценить влияние неточного определения двух параметров объекта регулирования на качество переходных процессов.

С целью упрощения вычислений проводить расчеты будем по каждому из них отдельно.

Оценка чувствительности системы к неточному определению длины подвеса

Пусть L_0 – оцениваемое значение длины подвеса, используемое при расчете коэффициентов модального регулятора. Тогда для объекта регулирования, заданного матрицами состояния (3), передаточная функция замкнутой системы модального управления с коэффициентами обратных связей по вектору состояний, полученными из (5) путем замены истинного значения длины подвеса L на оцениваемое L_0 :

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \frac{\Omega_0^3 M L_0}{g} \\ g(M+m) - \Omega_0^2 \gamma_1 L_0 M \\ \frac{-M \Omega_0 L_0 (\gamma_2 g - \Omega_0^2 L_0)}{g} \end{bmatrix}^T, \quad (5)$$

запишется в виде:

$$K(p) = \frac{v_y(p)}{F_y(p)} = \frac{L/g p^2 + 1}{L_0 \Omega_0^3 p^3 + b_2 p^2 + \frac{\gamma_1}{\Omega_0} p + 1}, \quad (6)$$

где

$$b_2 = \frac{\gamma_2}{\Omega_0^2} + \frac{L - L_0}{g}.$$

В [7] отмечено, что быстродействие разработанной системы демпфирования колебаний необходимо адаптировать к изменению длины подвеса L путем изменения величины среднегеометрического корня Ω_0 в функции этого значения. При этом показано, что удовлетворительное качество переходных процессов можно получить, изменяя значение Ω_0 пропорционально изменению частоты собственных колебаний груза Ω_c :

$$\Omega_c = \sqrt{\frac{g}{L}}.$$

Соответственно, выраженная в метрах абсолютная погрешность измерения длины каната будет иметь различное влияние на качество переходных процессов в разработанной системе. В связи с этим возникает необходимость проведения исследований при нескольких значениях оцениваемой длины подвеса L_0 и сравнения полученных результатов.

В рамках данного исследования ограничимся тремя значениями данного параметра: 5 м, 12 м и 20 м. В качестве критерия анализа будем использовать величину перерегулирования и длительности переходного процесса. Выбор этих показателей обусловлен наличием ограничения максимального значения

линейной скорости тележки и общими требованиями к быстродействию систем автоматического управления.

Все исследования будем проводить методами компьютерного моделирования, используя структурную схему, показанную на рисунке 2.

При моделировании приняты следующие значения параметров модели: $M = 2000$ кг, $m = 4000$ кг. В качестве желаемого характеристического полинома использован полином Бесселя.

На рисунке 3 приведены семейства переходных функций замкнутой системы при изменении длины подвеса в диапазоне $\pm 40\%$ от настроенного значения.

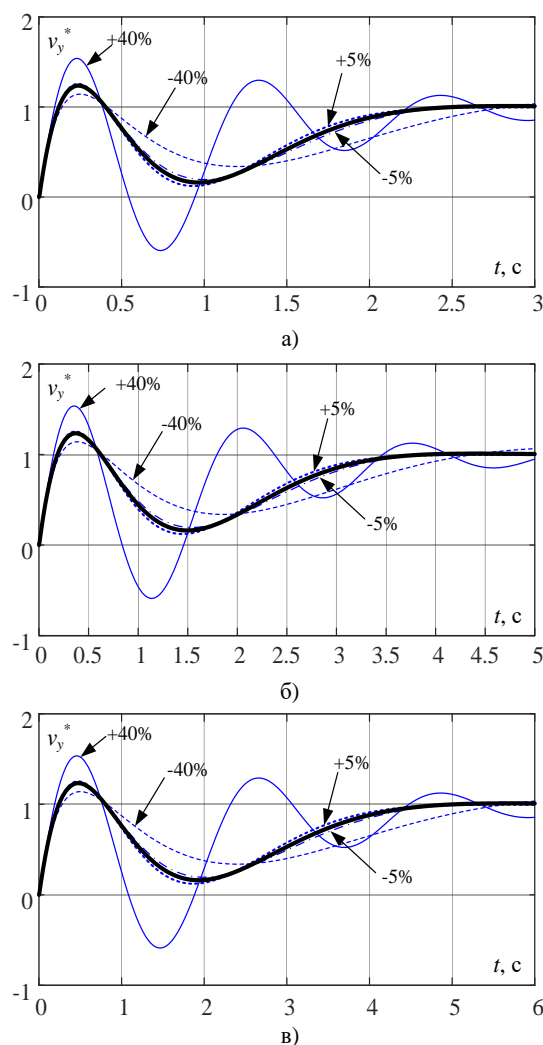


Рисунок 3 – Семейство переходных характеристик исследуемой системы при отклонении длины подвеса от настроенного значения: а) $L_0=5$ м; б) $L_0=12$ м; в) $L_0=20$ м

Анализ изменения указанных параметров для всех рассматриваемых случаев приведен в табл.1. Соответствующие диаграммы приведены на рис.4.

Таблица 1 – Показатели качества переходных процессов при неточном определении длины подвеса

Длина подвеса	L_0 , м	5	12	20
Опорные значения	σ , %	23	23	23
	$t_{пп}$, с	2,45	3,62	4,42
Худшие значения	σ , %	54	54	54
	Ухудшение, %	135	135	135
	$t_{пп}$, с	4,24	6,58	8,45
	Ухудшение, %	73	82	92

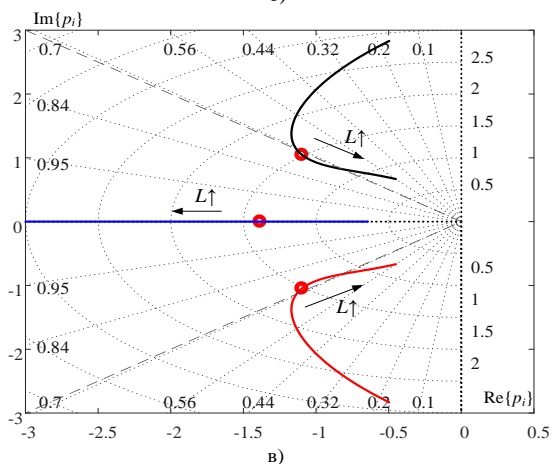
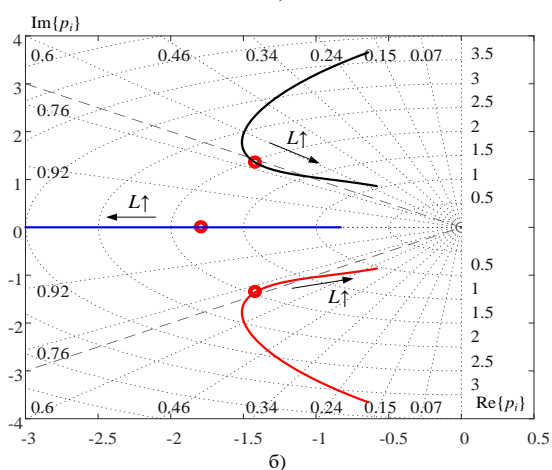
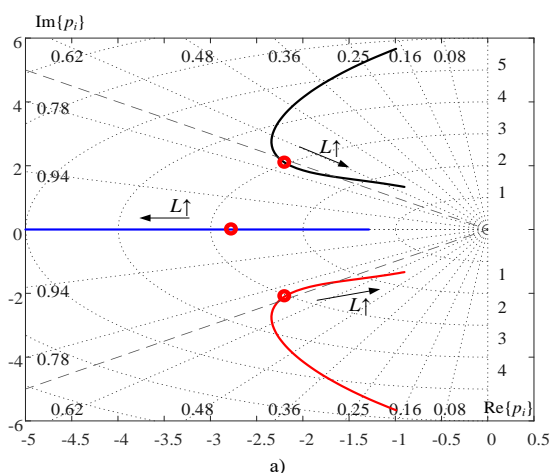


Рисунок 4 – Изменение положения корней характеристического полинома замкнутой системы при изменении длины подвеса:
а) $L_0=5$ м; б) $L_0=12$ м; в) $L_0=20$ м

Все временные диаграммы построены в долях заданного значения скорости.

Во всех трех случаях наблюдается существенное повышение колебательности и перерегулирования при $L < L_0$ и значительное увеличение длительности переходных процессов при $L > L_0$, при чем с увеличением оцениваемого значения длины подвеса L_0 степень ухудшения показателей качества переходных процессов увеличивается.

Для оценки устойчивости исследуемой системы проанализируем изменение расположения корней ее характеристического полинома при неточном определении длины подвеса. На этих графика дополнительно выделена точка, в которой выполняется условие $L = L_0$. Также нанесены линии, соответствующие оптимальному режиму затухания колебаний.

Анализ полученных диаграмм показал, что при $L > L_0$ несмотря на уменьшение перерегулирование запас устойчивости системы снижается, т.к. два комплексно-сопряженных корня смещаются в направлении границы зоны устойчивой работы.

Таким образом можно сделать вывод, что погрешность определения подвеса $\pm 40\%$ приводит к ухудшению качества переходных процессов в разработанной системе модального управления, однако эта система остается устойчивой. С учетом точности современных методов определения длины подвеса $\pm 5\%$ [10], можно сделать вывод, что система сохраняет удовлетворительное качество переходных процессов при неточном определении длины подвеса.

Оценка чувствительности системы к неточному определению массы груза

Для оценки чувствительности исследуемой системы к неточному определению массы груза воспользуемся аналогичной методикой. Введем в формулы (3) ожидаемое значение массы груза m_0 , выведем соответствующие выражения для расчета коэффициентов модального регулятора:

$$K = \begin{bmatrix} \frac{\Omega_0^3 ML}{g} \\ g(M + m_0) - \Omega_0^2 \gamma_1 LM \\ \frac{-M \Omega_0 L (\gamma_2 g - \Omega_0^2 L)}{g} \end{bmatrix}^T, \quad (7)$$

в результате чего получим передаточную функцию замкнутой системы в виде:

$$K(p) = \frac{v_y(p)}{F_y(p)} = \frac{L/g p^2 + 1}{\frac{1}{\Omega_0^3} p^3 + \frac{\gamma_2}{\Omega_0^2} p^2 + b_1 p + 1}, \quad (8)$$

где

$$b_1 = \frac{\gamma_1}{\Omega_0} + \frac{g(m - m_0)}{LM\Omega_0^3}.$$

Влияние погрешности определения длины подвеса на форму переходных процессов будем определять методами компьютерного моделирования.

Оценку чувствительности будем проводить по двум предельным случаям:

1) система настроена на перемещение пустого крюка, а перемещается максимальная масса груза;

2) система настроена на перемещение максимальной массы груза, а перемещается пустой крюк.

Результаты моделирования при массе груза $m_{\max} = 5000$ кг и массе крюка $m_k = 150$ кг приведены на рис. 5. Данные параметры взяты для мостового крана грузоподъемностью 5 т.

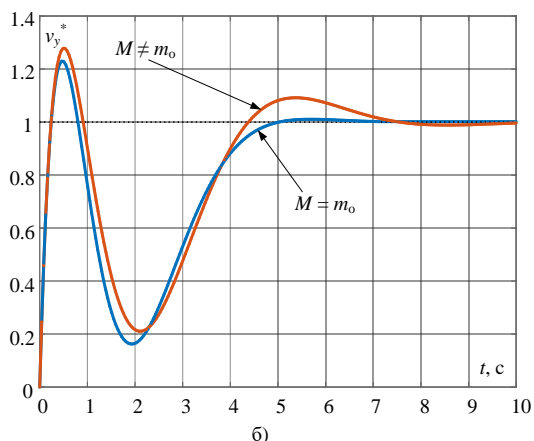
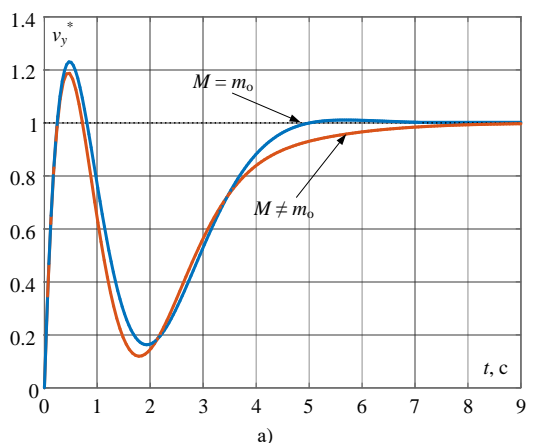


Рисунок 5 – Переходные процессы в исследуемой системе при неточном определении массы груза:
 а) $m_0 = m_{\max}$; б) $m_0 = m_k$

В случае перемещения пустого крюка наблюдается уменьшение перегуливания с 23% до 19%, время переходных процессов увеличивается с 4.68 с до 6.71 с, а при перемещении полной массы груза – увеличение

перегуливания до 28%, а времени переходных процессов – до 7 с.

Графики приведены для длины подвеса $L=20$ м. Дополнительные исследования показали, что при других значениях этого параметра соотношение показателей качества переходных процессов изменяется незначительно. Таким образом можно сделать вывод, что исследуемая система является малочувствительной к неточному определению массы перемещаемого груза.

Выводы

Синтезированная система модального управления механизмом перемещения тележки мостового крана обеспечивает эффективное демпфирование колебательных перемещений груза, при этом сохраняя устойчивость при неточном определении параметров объекта регулирования в достаточно широком диапазоне.

Наиболее значительное влияние на качество регулирования для подобной системы оказывает неточное определение длины подвеса, при котором наблюдается существенное повышение колебательности переходных процессов и их длительности. Однако точность наиболее распространенных методов определения длины подвеса позволяет нивелировать данный недостаток, позволяя разработанной системе сохранять устойчивость и высокое качество переходных процессов. Также анализ результатов моделирования показал, что рассматриваемая система малочувствительна к неточному определению массы груза.

Следовательно, неточное определение параметров объекта регулирования не приводит к существенному ухудшению качества переходных процессов в разработанной системе демпфирования колебаний груза.

Литература

1. Buch, A. Optimale Bewegungssteuerung von schwingungsfähigen mechatronischen Systemen mit zwei Freiheitsgraden am Beispiel eines Krans mit Pendelnder Last und elastischer Mechanik // Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 1999. – 250 p.
2. Trabia, M.B. Generalized design of an anti-swing fuzzy logic controller for an overhead crane with hoist / M.B. Trabia, J.M. Renno and K.A. F.Moustafa. // Journal of Vibration and Control, Vol. 14, 2008. – P. 319-346.
3. Chang, C.Y. The switching algorithm for the control of overhead crane // Neural Computing & Applications vol. 15, 2006. – P. 350-358.
4. Bartolini, G. Output-feedback control of container cranes: a comparative analysis / G. Bartolini, A. Pisano and E. Usai // Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, 2002, vol.3. – P. 3237-3242.

5. Helma, V. Active anti-sway crane control using partial state feedback from inertial sensor / V. Helma, M. Goubaj // 23rd International Conference on Process Control (PC), 2021. – P. 137-142.
6. Gaiceanu, M. Motion control of a single-beam gantry crane trolley / M. Gaiceanu, F. Stan // 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), 2010. – P. 149-152.
7. Tolochko, O. Anti-Sway Full Order State-Feedback Control of the Overhead Crane with Variable Rope Length Using Luenberger Observer / O. Tolochko, D. Bazhutin // 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018 – Novochoerkassk, 2018. – P. 159-163. – DOI 10.1109/ICEPDS.2018.8571596.
8. Roldan-Perez, J. Comprehensive Design and Analysis of a State-Feedback Controller for a Dynamic Voltage Restorer / J. Roldan-Perez, A. Garcia-Cerrada, A. Rodriguez-Cabero, J.L. Zamora-Macho // Energies, 11 (8), 2018. – p. 1972-1997.
9. Montagner, V.F. Design and robustness analysis of a state feedback controller applied to a bidirectional boost converter / V.F. Montagner, A.A. Ferreira // 2009 Brazilian Power Electronics Conference, 2009. – P. 385-388.
10. Raubar, E. Anti-Sway System for Ship-to-Shore Cranes / E. Raubar, D. Vrancic // Journal of Mechanical Engineering. –2012. – Vol. 58, Issue 5. – P. 338–344.

Павлыш В. Н., Бажутин Д. В. Анализ чувствительности системы модального управления механизмом перемещения грузовой тележки мостового крана к неточному определению параметров объекта управления. В работе представлен анализ устойчивости системы модального управления механизмом перемещения грузовой тележки мостового крана, синтезированной из условий демпфирования колебаний груза, при неточном определении параметров объекта регулирования. Методами компьютерного моделирования проведена оценка изменения показателей качества регулирования при отклонении измеренных значений длины подвеса и массы груза от истинных. Показано, что в пределах точности работы современных средств измерений варьируемых параметров объекта синтезированная система сохраняет устойчивость и обеспечивает приемлемое качество переходных процессов.

Ключевые слова: мостовой кран, система модального управления, ошибка определения параметров, устойчивость.

Pavlysh V., Bazhutin D. Sensitivity analysis of a state-feedback control system for a gantry crane payload hoisting trolley motion mechanism to inaccurate plant parameter estimation. The article presents the stability analysis of a state-feedback control system for a gantry crane payload hoisting trolley motion mechanism, designed to suppress payload swing, in terms of inaccurate plant parameter estimation. By means of computer simulation a control quality variation estimate under conditions of deviation of measured values of cable length and payload mass from the actual ones was carried out. It was shown, that within the modern measurement systems accuracy range for the specified varied plant parameters the designed systems maintains stability and ensures acceptable transient quality.

Keywords: gantry crane, state-feedback control, parameter estimation inaccuracy, stability.

Статья поступила в редакцию 15.02.2022
Рекомендована к публикации профессором Аноприенко А.Я.

Об авторах

Бажутин Денис Владимирович - старший преподаватель кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок факультета интеллектуальной электроэнергетики и робототехники ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Бельков Дмитрий Валерьевич - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Дяченко Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Достлев Юрий Сергеевич – старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Едемская Евгения Николаевна – старший преподаватель кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Завадская Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Зинченко Татьяна Анатольевна – старший преподаватель кафедры прикладной математики факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Зинченко Юрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования Донецкого национального технического университета

Зори Сергей Анатольевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Иваница Сергей Васильевич - кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Легкоступ Кирилл Витальевич – магистрант кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Левкина Анастасия Викторовна - ассистент кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Мальчева Раиса Викторовна - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Мишустин Виктор Андреевич – магистрант кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Павлыш Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры и заведующий кафедрой прикладной математики и искусственного интеллекта факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», председатель Совета Д 01.024.04 по защите докторских и кандидатских диссертаций, член Совета Д 01.008.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Чередникова Ольга Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Щербов Игорь Леонидович - старший преподаватель кафедры радиотехники и защиты информации факультета компьютерных информационных технологий и автоматики, проректор ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Ягнина Ольга Андреевна - студентка бакалавриата кафедры радиотехники и защиты информации факультета компьютерных информационных технологий и автоматики ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Якушина Анна Евгеньевна - старший преподаватель кафедры радиотехники и защиты информации факультета компьютерных информационных технологий и автоматики ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

**Требования к статьям,
направляемым в редакцию научного журнала
«Информатика и кибернетика»**

Редколлегией принимаются к рассмотрению статьи, в которых рассматриваются важные вопросы в области информатики и кибернетики. Научный журнал издаётся с 2015 года, периодичность издания – 4 раза в год.

В журнале предусмотрены следующие рубрики:

- информатика и вычислительная техника;
- компьютерные и информационные науки;
- инженерное образование.

В соответствии с номенклатурой специальностей научных работников МОН ДНР первые две рубрики соответствуют следующим укрупненным группам специальностей научных работников:

- 05.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика»,
- 05.13 – «Информатика, вычислительная техника и управление».

С 01.02.2019 Научный журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (приказ МОН ДНР № 135) по группам специальностей 05.01.00 и 05.13.00.

Рубрика «Инженерное образование» предназначена опубликования сотрудниками научно-методических статей.

Журнал также включён в базу данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (лицензионный договор № 425-07/2016 от 14.07.2016).

Статьи, представляемые в данный сборник, должны отвечать следующим требованиям. **Содержание статьи** должно быть посвящено актуальным научным проблемам и включать следующие необходимые элементы:

- постановку проблемы в общем виде, её связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ последних исследований и публикаций, в которых решается данная задача и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья;
- формулировка цели статьи и постановка задач, решаемых в ней;
- изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы и перспективы последующих исследований в данном направлении.

Каждый элемент должен быть выделен соответствующим названием раздела, например, «введение», «постановка задачи», «цель и задачи работы», «цель статьи», «цель исследования», «цель разработки», «анализ ... », «сравнительная оценка ... », «разработка ... », «проектирование ... », «программная реализация», «тестирование ... », «полученные результаты», «выводы», «литература». Разделы «введение», «выводы», «литература» являются **обязательными**. Включать в названия разделов нумерацию не разрешается.

В основном тексте статьи формулируются и обосновываются полученные авторами утверждения и результаты. Выводы должны полностью соответствовать содержанию основного текста. Языки публикаций: русский, английский.

Объём статьи, формат страницы

Для оформления статьи следует использовать листы формата А4 (210x297 мм) с полями по 2,5 см со всех сторон. Нумерацию страниц выполнять не нужно.

Рекомендуемый объём статьи – 6-12 страниц. Рукописи меньшего объёма могут быть рекомендованы к публикации в качестве коротких сообщений.

Последняя страница текста статьи должна быть заполнена не менее чем на две трети, но содержать не менее трёх пустых строк в конце.

Форматирование текста

Подготовка статьи осуществляется в текстовом редакторе Microsoft Office Word.

Весь текст статьи оформляется шрифтом Times New Roman 10 пт с одинарным междустрочным интервалом, если ниже в требованиях не сказано иного. Абзацный интервал «перед» – 0 пт, «после» – 0 пт.

На первой строке с выравниванием по левому краю располагается УДК.

Заголовок (название) статьи оформляется шрифтом Times New Roman 14 пт, полужирное начертание, с выравниванием по центру (без абзацных отступов). Заголовок статьи следует печатать с прописной буквы без точки в конце, переносы слов не допускаются. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

После названия статьи следует информация об авторах, которая выравнивается по центру (без абзацных отступов). На одной строке указываются инициалы и фамилии всех авторов через запятую. Между двумя инициалами ставится пробел. С новой строки указывается название вуза (организации) и город (для каждого автора, если не совпадают). На следующей строке указываются адреса электронной почты (один адрес либо каждого автора – по желанию). Адрес электронной почты оформляется в виде гиперссылки.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Заголовок «Аннотация» выделяется полужирным начертанием. Объём аннотации – 450-550 символов (без пробелов). Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

Основной текст статьи разбивается на две колонки шириной по 7,5 см (промежуток между столбцами – 0,99 см), выравнивается по ширине. Абзацный отступ первой строки – 1 см. Автоматический перенос слов не применяется.

Заголовки разделов выполняются шрифтом Arial 10 пт, полужирное курсивное начертание. Абзацный отступ отсутствует, интервал перед абзацем – 12 пт, после абзаца – 6 пт. Для заголовка «Введение» установить интервал «перед» – 0 пт, «после» – 6 пт.

Таблицы в тексте статьи

Название следует помещать над таблицей с абзацного отступа (1 см) в формате: слово «Таблица», пробел, номер таблицы, пробел, тире, пробел, название таблицы. Название таблицы записывают с прописной буквы без точки в конце строки и выравнивают по ширине. В ячейках таблицы устанавливается выравнивание текста по центру по вертикали. По горизонтали текст выравнивается по центру либо по левому краю. Границы ячеек таблицы должны быть только чёрного цвета, толщина линии – 1 пт. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте статьи, при ссылке следует писать слово «табл.» с указанием её номера, например, «... данные приведены в табл. 5». Таблицы нумеруются в пределах статьи. Таблица располагается сразу после ссылки на неё, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же таблица не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью таблицы, ширина которой превышает ширину колонки. В этом случае таблица и её название размещаются по центру страницы. Таблица не должна выступать за границы полей страницы. Таблица и её название отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после.

Рисунки в статье

Ссылки на иллюстрации по тексту статьи обязательны и оформляются в виде «... на рис. 2» и т. п. Рисунок и его подпись выравниваются по центру колонки (без абзацных отступов), положение рисунка – «в тексте». Размещается рисунок после его первого упоминания в тексте, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же иллюстрация не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью рисунка, ширина которого превышает ширину колонки. В этом случае рисунок и его подпись выравниваются по центру страницы. Иллюстрация не должна выступать за границы полей страницы. Подпись рисунка оформляется в формате: слово «Рисунок», пробел, номер иллюстрации, пробел, тире, пробел, название рисунка. Название рисунка записывают с прописной буквы без точки в конце строки. Для подписи иллюстрации применяют курсивное

начертание. Иллюстрация и её подпись отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после. Не допускается выполнять рисунки с помощью встроенного графического редактора Microsoft Office Word. Если на иллюстрации имеется текст, размер шрифта должен быть не менее чем аналогичный текст, набранный шрифтом Times New Roman 10-го размера. Иллюстрация не должна содержать много незаполненного пространства.

Формулы

Формулы и уравнения рекомендуется набирать с использованием MathType (предпочтительно) или MS Equation. Формулы и математические символы не должны существенно отличаться по размеру от основного текста. Обязательной является нумерация формул, на которые имеется ссылка в тексте статьи. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, «... согласно формуле (2)». Формулы размещаются по центру колонки, а их номера – по правому краю. Как для строки с формулой, так и для первой строки пояснений (при наличии), абзацный отступ убирается. Первая строка пояснения начинается со слова «где», после которого следует поставить табуляцию на 1 см, затем само пояснение в формате: символ, подлежащий объяснению, пробел, тире, пробел, поясняющий текст, запятая, обозначение единицы измерения физической величины. Пояснения перечисляются через точку с запятой, выравниваются по ширине. Вторая и последующие строки пояснений начинаются с абзацного отступа (1 см). Весь блок текста, связанный с формулой (только формула, несколько формул подряд или формула с пояснениями), отделяется от основного текста одной пустой строкой до и после. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×». Формулы и математические уравнения могут быть записаны в тексте документа, если их высота не превышает высоту строки. При этом следует учитывать, что знаки математических операций отделяются от чисел или символов пробелами с обеих сторон. Например, «Если учесть, что $y < 0$ и $2x + y = 1$, то из формулы (3) можно выразить $x...$ ». К символам, которые приведены в формуле, при дальнейшем их употреблении (в том числе в пояснениях к формуле) должно применяться курсивное начертание. При этом к любым числам (верхние и нижние индексы, содержащие цифры и т.п.), а также к математическим знакам курсивное начертание не применяется. Не допускается вставлять формулы, выполненные в виде рисунков.

Перечисления: оформление списков

Основной текст статьи может содержать перечисления, оформленные в виде маркированного списка. В качестве маркера элемента списка разрешается использовать только короткое тире «–». Каждый элемент перечисления записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После символа короткого тире текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов. Нумерованные и многоуровневые списки включать в статью не разрешается.

Литература

В тексте статьи обязательны ссылки на все литературные источники, номер источника указывается в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Рекомендуемое количество источников, на которые ссылается автор, не менее 10. Перечень источников приводится в порядке их упоминания в статье. Библиографическое описание каждого литературного источника оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018. Перечень литературных источников оформляется в виде нумерованного списка. В качестве маркеров элементов списка используют порядковые арабские цифры с точкой. Каждый источник представляет собой отдельный элемент перечисления, записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После порядкового номера с точкой текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов.

В конце статьи обязательно приводятся аннотации на русском и английском языках, каждая заканчивается перечнем 5-6 ключевых слов.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Слово «Аннотация» опускается. Текст аннотации начинается с ФИО авторов и названия статьи, выделяемых полужирным начертанием. Аннотация на русском языке совпадает с аннотацией, приведенной в начале статьи. В тексте аннотации на английском языке после фамилии автора указывается только первая буква имени с точкой. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт. Ключевые слова оформляются с новой строки аналогично тексту аннотации. Заголовок «Ключевые слова:» (англ. «Keywords:») выделяется полужирным начертанием. Ключевые слова перечисляются через запятую.

Порядок представления статьи и сопроводительные документы

В редакцию необходимо представить:

- файл с текстом статьи;
- файл, содержащий фамилию, имя и отчество авторов полностью; ученую степень, ученое звание; место работы с полным указанием должности, подразделения и наименования организации, города (страны); номера телефонов и e-mail для связи;
- экспертное заключение о возможности публикации статьи, подписанное руководителем и заверенное печатью организации, в которой работает автор статьи;
- выписка из заседания кафедры или письмо организации с просьбой об опубликовании и указанием, что изложенные в статье результаты ранее не публиковались.

Статьи и сопроводительные документы следует высылать на электронный адрес infcyb.donntu@yandex.ru.

К сведению авторов

Если статья оформлена с нарушением указанных выше требований и правил, редакция после предварительного рассмотрения может отклонить статью.

На рецензирование статьи направляются членам редакционной коллегии журнала. Все статьи публикуются при наличии положительной рецензии.

В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи и качество перевода аннотаций несут авторы.

Публикация статей в научном журнале «Информатика и кибернетика» осуществляется на некоммерческой основе.

Все номера Научного журнала размещаются на сайте <http://infcyb.donntu.ru/>.

CONTENT

Informatics and computer engineering

Computer system organization for 3D pseudo stereo visualization of graphic and video contents <i>Zori S. A.</i>	5
Comparative analysis of methods of shortened cyclic codes hardware implementation <i>Dyachenko O. N., Zinchenko Y. E., Zinchenko T. A.</i>	10
Modeling the history of civilizations based on self-organized criticality <i>Belkov D., Edemsкая E.</i>	17
Synchronization method of text and audio information using speech recognition technology <i>Mishustin V., Ivanitsa S.</i>	25
Decision-making on the organization of information protection at informatization objects <i>Yagnina O., Scherbov I., Yakushina A.</i>	31
Investigation of transient processes in the control system of ventilation of coal mines in mining areas of the non-minimum-phase type <i>Cherednikova O. Yu., Dostlev Yu. S.</i>	36
Mathematical modeling of physical parameters of metal during electroslag remelting <i>Pavlysh V. N., Levkina A. V.</i>	43
Development of a monitoring system of a thermal power plant <i>Legkostup K. V., Zavadskaya T. V., Malcheva R. V.</i>	49
Sensitivity analysis of a state-feedback control system for a gantry crane payload hoisting trolley motion mechanism to inaccurate plant parameter estimation <i>Pavlysh V. N., Bazhutin D.V.</i>	55
<u>About Authors</u>	61
<u>Requirements to articles which are sent to the editors office of the scientific journal “Informatics and Cybernetics”</u>	63

Электронное периодическое издание

Научный журнал

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

(на русском, английском языках)

№ 1 (27) - 2022

Ответственный за выпуск Р. В. Мальчева

Технический редактор Р. В. Мальчева

Компьютерная верстка Р. В. Мальчева

Подписано к выпуску 05.09.2022. Усл. печ. лист. 7,9. Уч.-изд. лист.4,6.
Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.
Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11
E-mail: infcyb.donntu@yandex.ru, URL: <http://infcyb.donntu.ru>