

**Министерство образования Республики Беларусь**  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

**57-я научная конференция  
аспирантов, магистрантов и студентов**

Сборник статей

19–23 апреля 2021 года  
Минск, БГУИР

УДК 004.021+004.2+004.4+004.6+004.7+004.9

ББК 32.97+32.81

57-я конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 19-23 апреля 2021 г., БГУИР, Минск, Беларусь: сборник статей. – Мн. – 2021. – 85с.; ил.

В сборнике опубликованы статьи по материалам 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. Материалы одобрены оргкомитетом и публикуются в авторской редакции.

Для научных и инженерно-технических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов вузов.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ «ВСТРАИВАЕМЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»</b>	<b>5</b>
1. СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПАТОЛОГИИ ГОЛОСОВЫХ СКЛАДК НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГОЛОСОВОГО СИГНАЛА И МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ .....	6
2. СИСТЕМА ПОВЫШЕНИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЛУХОВОГО ВОСПРИЯТИЯ И КОМПРЕССИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА СИГНАЛА.....	11
3. РЕАЛИЗАЦИЯ GFSK МОДЕМА В СРЕДЕ MATLAB .....	15
<b>СЕКЦИЯ «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»</b> .....	<b>20</b>
4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЛОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ .....	21
5. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПА МУЗЫКАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ .....	25
6. ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ АВТОРА ТЕКСТА .....	28
<b>СЕКЦИЯ «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА»</b> .....	<b>31</b>
7. ДОМИНИРУЮЩИЕ И ОКРЕСТНОСТНЫЕ МНОЖЕСТВА, ВЕРШИННЫЕ ПОКРЫТИЯ В ГРАФАХ .....	32
<b>СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ»</b> .....	<b>39</b>
8. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ .....	40
9. ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА .....	43
<b>СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»</b> .....	<b>46</b>
10. СОЗДАНИЕ ПРИВОДОВ КОЛЁСНО-ШАГАЮЩИХ ДВИЖИТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	47
11. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ НА ГИБРИДНОМ ПРИВОДЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ.....	48
12. ВЕРСИОНИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ .....	51
<b>СЕКЦИЯ «ФИЛОСОФИЯ, ЛОГИКА И ЖИЗНЬ»</b> .....	<b>54</b>
13. СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА ЧЕРНОБЫЛЯ: РЕТРОСПЕКТИВА	55
14. ШАХМАТЫ КАК ЛОГИКО-ФИЛОСОФСКИЙ ФЕНОМЕН .....	57

15. ЭВОЛЮЦИЯ ОТНОШЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА К СМЕРТИ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ФИЛОСОФИИ .....	59
16. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА .....	62
17. ГЕНЕЗИС КОНЦЕПЦИИ ПОСТГУМАНИЗМА .....	64
18. ПРОБЛЕМА СОЦИАЛЬНОЙ НЕСПРАВЕДЛИВОСТИ В СОЦИАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ ДЖ.А. КОЭНА .....	66
<b>СЕКЦИЯ «ФИЗИКА» .....</b>	<b>68</b>
19. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ В УСЛОВИЯХ ПРОЕКТА «ЭВРИСТИКА В ФИЗИКЕ» НА ФАКУЛЬТЕТЕ КСИС В БГУИР .....	69
20. ЛУЧШАЯ РАБОТА 6-ГО СЕЗОНА «ЭВРИСТИКА В ФИЗИКЕ»: САМОДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОГИТАРА .....	71
<b>СЕКЦИЯ «ИНФОРМАТИКА» .....</b>	<b>74</b>
21. ПОСТРОЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ КЛОНИРОВАНИЯ ГОЛОСА .....	75
22. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ ТИПА АРБИТР НА FPGA ARTIX-7 .....	78
23. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ КОНСТАНТ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ПРОЕКТНЫЕ ОПИСАНИЯ .....	81

**СЕКЦИЯ «ВСТРАИВАЕМЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»**

## СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПАТОЛОГИИ ГОЛОСОВЫХ СКЛАДКОВ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГОЛОСОВОГО СИГНАЛА И МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ

Коледа Е.О., студент гр.750701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Вашкевич М.И. – канд. тех. наук, доцент

**Аннотация.** В работе рассмотрена задача классификации патологии голосовых складок на основе акустического анализа голосового сигнала и метода опорных векторов с целью выявления патологии голосовых складок. В качестве признаков использовались мел частотные кепстральные коэффициенты, которые рассчитывались в ходе анализа и обработки голосового сигнала. Для тестирования метода использовалась база голосов, содержащая записи пациентов с дисфонией, парезами и людей с нормальным состоянием голосовых складок. В результате достигнута правильность около 94 процента.

**Ключевые слова.** Метод опорных векторов, патологии голоса, парезы, дисфония, мел частотные кепстральные коэффициенты, один против всех, акустический сигнал, голосовые складки.

**Введение.** В ходе работы ставилась задача построить систему, которая будет диагностировать патологии голосовых складок. Работа системы основывается на акустическом анализе сигнала и методе опорных векторов. Данная задача актуальна, так как современные системы диагностирования этих патологий не совершенны. Задача усложняется тем, что нам необходимо провести не просто бинарную классификацию определив есть ли во входном сигнале патологии или он подходит под критерии нормального, а создать систему, которая будет относить голос к одному из классов: «норма», «дисфония» или «парез».

**Метод опорный векторов.** В системе используется метод опорных векторов (МОВ) (англ. SVM, support vector machine) — алгоритм обучения с учителем, который часто используется для задач классификации и регрессионного анализа. Так, например, в работе [1], его использовали для классификации неврологических, функциональных и ЛОР патологий. Разработчики в статье описали извлечение различных признаков из записей голосов пациентов на разных языках. Далее полученные признаки использовались для классификации на основе МОВ. В результате использования данного подхода получена высокая правильность классификации. Одни из самых лучших результатов дало использование МЧКК и характеристик шума в качестве входных признаков для классификатора.

МОВ принадлежит к семейству линейных классификаторов. Особым свойством МОВ является непрерывное уменьшение эмпирической ошибки классификации и увеличение зазора, расстояния между опорными векторами двух классов, поэтому метод также известен как метод классификатора с максимальным зазором [2]. Целевая функция МОВ имеет следующий вид:

$$\mathbf{w}^*, t^*, \xi_i^* = \operatorname{argmin}_{\mathbf{w}, t, \xi_i} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i, \quad (1)$$

где  $\mathbf{w}$  – вектор, описывающий нормаль к границе решения;  $\xi_i$  – ослабляющие переменные, благодаря которым некоторые примеры могут оказаться внутри зазора или даже с неправильной стороны от решающей границы,  $C$  – регуляризирующий параметр, определяющий компромисс между максимизацией зазора и минимизацией ослабляющей переменной. Если мы допускаем больше ошибок зазора, то понадобится меньше опорных векторов, поэтому параметр  $C$  в некотором смысле управляет «сложностью» МОВ [3].

Основной задачей алгоритма является найти наиболее правильную линию, или гиперплоскость, разделяющую данные на два класса в пространстве признаков [4]. График функции представлен на рисунке 1.

МОВ использует математическую функцию ядра, чтобы преобразовывать входные признаки в требуемую форму. Различные варианты МОВ используют различные типы функций ядра. Например, линейная, полиномиальная, радиальная базисная функция, сигмоидная и проч. В данной работе использовалась радиальная базисная функция:

$$K(x, y) = e^{-\gamma \|x-y\|^2}, \quad (2)$$

где  $x, y$  – характеристические вектора из обучающей выборки,  $\gamma$  – настроечный параметр.

Для создания классификатора использовалась библиотека Scikit-learn[5] для Python. Для получения мультиклассового классификатора применялась стратегия «Один против всех». Согласно данному подходу необходимо обучить  $N$  классификаторов, где  $N$  – количество классов. Классификатор с самым высоким значением функции выхода присваивает новый объект к определенному классу. Для того, чтобы использовать данную стратегию в нашем классификаторе, необходимо задать параметру `decision_function_shape` значение `ovr(one vs rest)`. Изменяя параметры

$\gamma$  и  $C$  для классификатора, мы влияем на результат работы классификатора. Эти коэффициенты были подобраны с помощью метода «Поиск по сетке» (англ. grid search) и равны  $\gamma = 0.001$ ,  $C = 10$ .

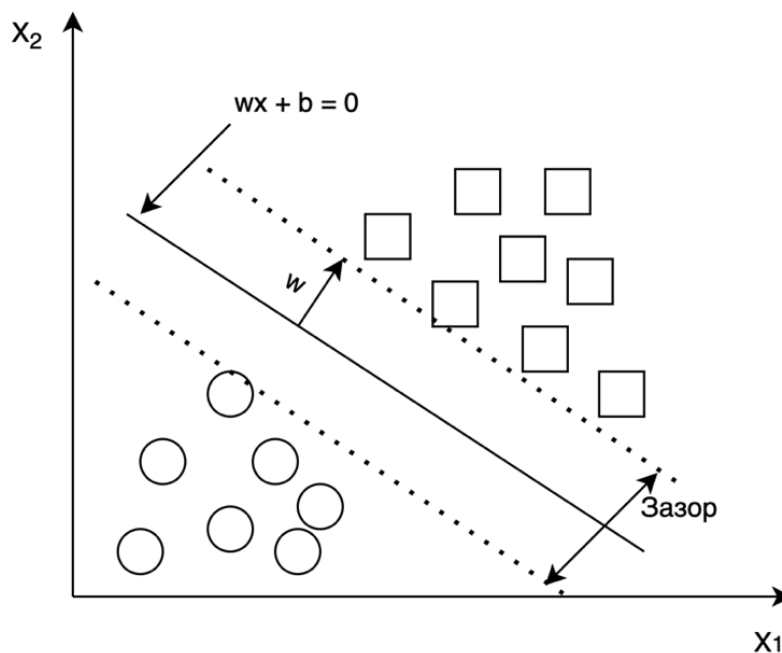


Рисунок 1 – Демонстрация алгоритма SVM для линейного случая, бинарная классификация.

**МЧКК.** В качестве признаков для данного классификатора были выбраны мел частотные кепстральные коэффициенты (МЧКК)[6]. Алгоритм нахождения признаков из входного сигнала:

1. Разбиение сигнала на отрезки длиной 800мс с перекрытием 400мс, отрезки меньшей длительности мы будем пропускать. Процесс разбиения изображен на рисунке 2.
2. Вычисление МЧКК для каждого 20 мс фрейма.
3. Нахождение среднего арифметического значения коэффициентов.
4. Запись коэффициентов в бинарный файл для дальнейшего обучения классификатора.

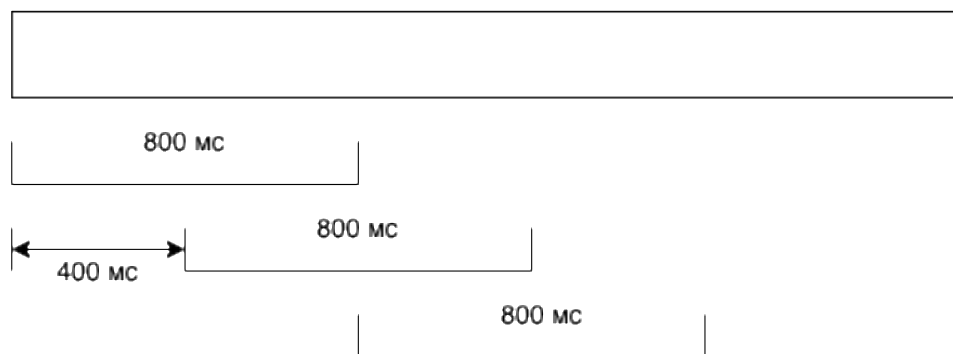


Рисунок 2 – Разбиение сигнала на отрезки по 800мс.

Для вычисления МЧКК была использована библиотека librosa[7] для python. Данная библиотека содержит множество методов. Все эти методы принимают различные параметры для настройки работы, но мы изменим лишь некоторые, так как остальные стандартные параметры соответствуют нашей системе.

Измененные параметры:

1. Частота дискретизации, стандартная величина 22500, но мы будем использовать 44100 Гц.
2. Window, стандартно библиотека использует окно Ханна, но мы изменим его на окно Хэмминга.

3.  $n\_fft$  – зададим этот параметр равный 882, а  $hop\_length = \frac{n\_fft}{2}$

В качестве результата мы получим матрицу изображенную на рисунке 3. Количество МЧКК будет равно  $(79 + 2) \times 20$  для каждого отрезка длительностью 800мс.

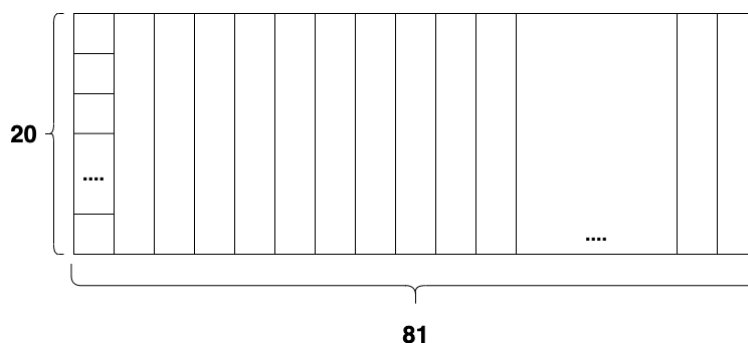


Рисунок 3 – Блок МЧКК, полученный для сегмента длительностью 800 мс

Схема системы диагностирования патологии голосовых складок по звуковому сигналу представлена на рисунке 4.

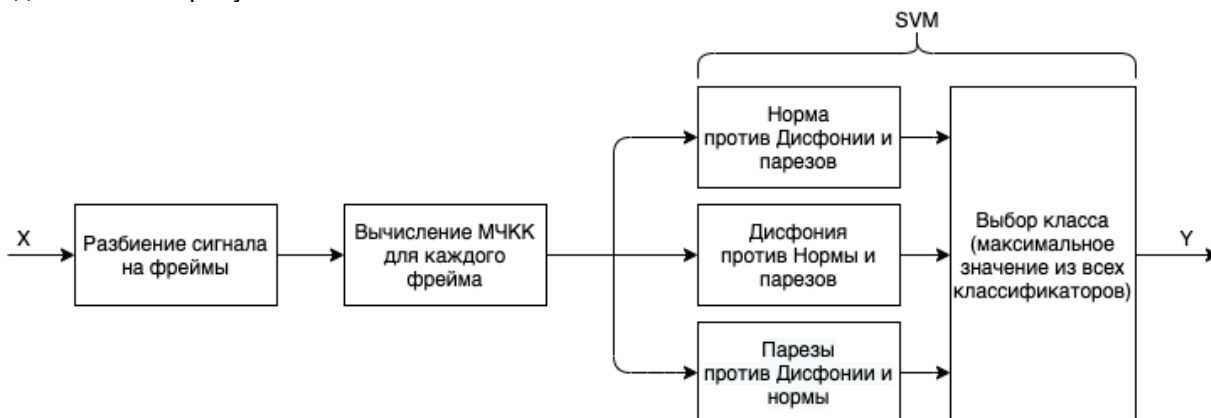


Рисунок 4 – Блок-схема системы диагностирования патологии голосовых складок

**Описание базы голосов.** В качестве входных данных для обучения нашего классификатора у нас были записи протяжного звука «А» людей с нормальными голосовыми складками, парезами и дисфонией.

Дисфония – расстройство голосообразования, при котором нарушается качество голоса (высота, сила, тембр), вследствие чего он становится неполноценным - слабым, маломодулированным, охриплым и так далее. [8]

Парез гортани (временное, до 12 месяцев, нарушение подвижности одной или обеих половин гортани) — расстройство двигательной функции в виде полного отсутствия произвольных движений вследствие нарушения иннервации соответствующих мышц.[9]

На рисунках 5, 6, 7 представлены графики голосовых сигналов при дисфонии, парезах и отсутствии патологий соответственно.

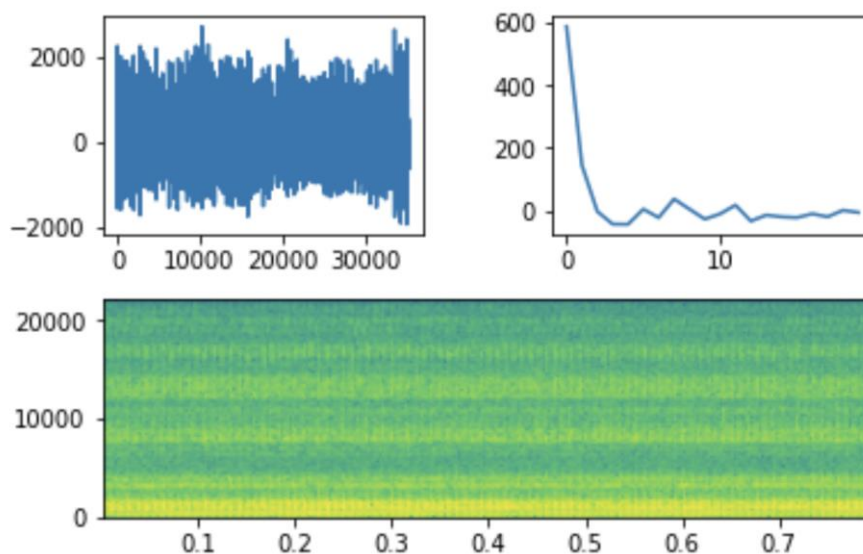


Рисунок 5 – Графики сигнала для дисфонии.



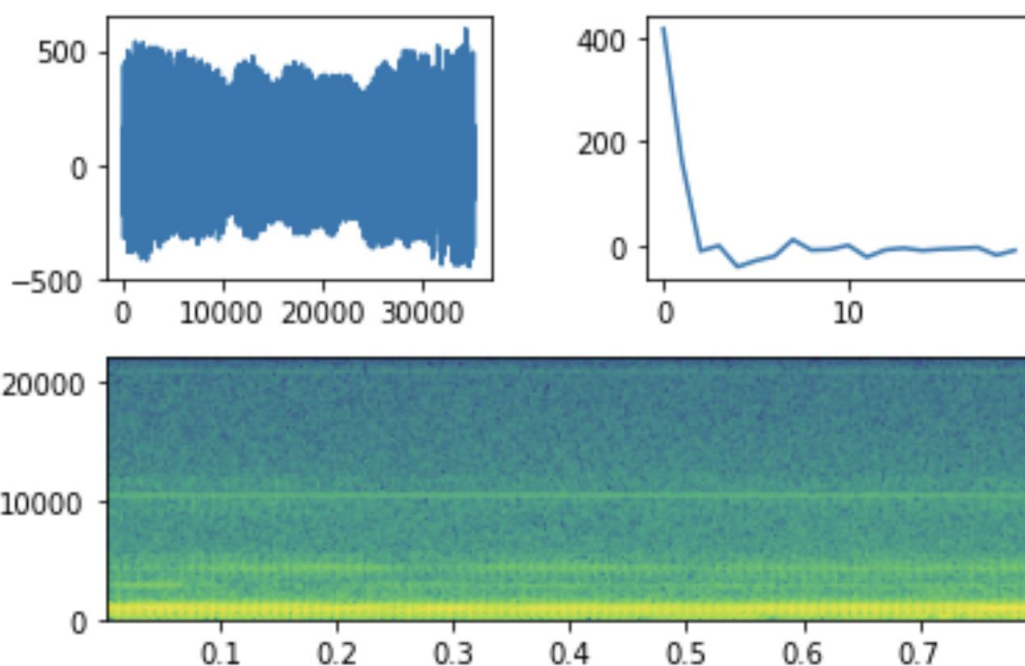


Рисунок 6 – Графики сигнала при парезах.

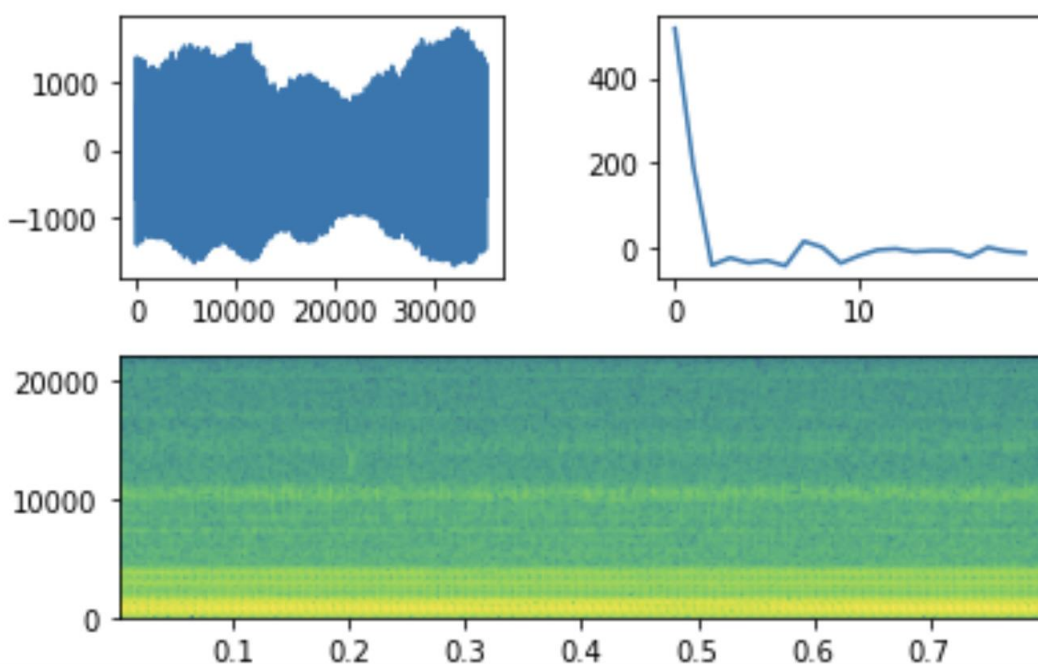


Рисунок 7 – Графики сигнала при отсутствии патологий.

Верхний левый график – это вид входного сигнала во временной области, верхний правый – рассчитанные значения МЧКК этого сигнала, а нижний график – это спектрограмма входного сигнала. Проанализировав данные графики можно заметить, что в случае дисфонии и парезов наблюдаются отличия в области кепстральных коэффициентов и частотной. Также огибающая сигнала во временной области имеет рваную форму в отличие от сигнала без патологий, где огибающая более плавная. Также можно заметить, что при парезах у пациента наблюдается более тихий голос и в следствии этого менее насыщенная спектрограмма. С уверенностью можно сказать, что эти замечания являются отличительными особенностями для данных классов, потому что база голосов записывалась на профессиональном оборудовании, соблюдая правила записи голоса, расстояние до микрофона, громкость записи и так далее.

**Описание эксперимента.** Результаты проведения эксперимента отображены в таблице 1.

В ходе проведения эксперимента сформирована обучающая выборка, состоящая из 401 примера. Для такого малого количества данных использование наиболее популярной схемы разбиения 80/20, где 80 процентов – это тренировочная выборка, а 20 – это тестирующая, не целесообразно. По этой причине было принято решение воспользоваться методом перекрестной проверки. При оценке модели имеющиеся в наличии данные разбиваются на  $k$  частей. Затем на  $k-1$

частях данных производится обучение модели, а оставшаяся часть данных используется для тестирования. Процедура повторяется  $k$  раз. В итоге полученные результаты усредняются, и мы получаем правильность нашей модели. В нашем случае мы взяли  $k$  равное 10. Для сравнения результатов на каждой итерации мы получали матрицу спутывания. Далее объединили все матрицы в одну и посчитали итоговую правильность, как сумму главной диагонали деленную на количество элементов в обучающей выборке. В итоге правильность классификации (англ. accuracy) составила 94%.

Таблица 1 - результаты проведения эксперимента.

Предсказанный \ Правильный класс	Парезы	Дисфония	Норма
Парезы	146	9	3
Дисфония	8	148	4
Норма	1	0	82

Анализируя таблицу 1 можно сказать, что классификатор достаточно точно детектирует голос в норме. Наибольшие ошибки происходят при классификации голоса при патологии. В 9 случаях вместо патологии «парезы» была определена патология «дисфония». В 8 случаях вместо патологии «дисфония» была определена патология «парезы». Таким образом, можно сделать вывод, что требуется дальнейшая доработка системы классификации.

Заключение. В рамках данной работы была получена система, которая разработана с помощью метода опорных векторов и мел-частотных кепстральных коэффициентов. В итоге была получена система диагностирования, имеющая правильность классификации около 94 процентов, что является хорошим результатом, который, однако, требует дальнейшего улучшения.

#### Список использованных источников:

1. Orozco-Arroyave J. R. et al. Characterization methods for the detection of multiple voice disorders: neurological, functional, and laryngeal diseases //IEEE journal of biomedical and health informatics. – 2015. – Т. 19. – №. 6. – С. 1820-1828.
2. Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа: 12.04.2021.
3. Петер Флах Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. Учебник / Петер Флах. - М.: ДМК Пресс, 2015. – С. 228-229.
4. Habr [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com>. – Дата доступа: 12.04.2021.
5. Документация Scikit-learn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.org> – Дата доступа: 12.04.2021.
6. Habr [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com> – Дата доступа: 12.04.2021.
7. Документация Librosa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://librosa.org> – Дата доступа: 12.04.2021.
8. Сайт городской клинической больницы имени С.С.Юдина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gkbyudina.ru/articles/> – Дата доступа: 12.04.2021.
9. Сайт ГБУЗ НИКИО имени Л. И. Свержевского [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nikio.ru/> – Дата доступа: 12.04.2021.

UDC 616-71 + 612.78

## DIAGNOSTIC SYSTEM OF PATHOLOGIES OF VOCAL FOLDS BASED ON THE ACOUSTIC ANALYSIS OF THE VOICE SIGNAL AND SUPPORT VECTOR MACHINE

Koleda E.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vashkevich M.I. – PhD in Physics and Mathematics

**Annotation.** The paper considers the problem of classification of the pathology of the vocal folds based on the acoustic analysis of the voice signal and support vector machine in order to identify the pathology of the vocal folds. The mel-frequency cepstral coefficients, which were calculated during the analysis and processing of the voice signal, were used as features. To test the method, we used a voice database containing recordings of patients with dysphonia, paresis, and people with normal vocal folds. In the result we have accuracy about 94 percents.

**Keywords.** Support vector machine, voice pathologies, paresis, dysphonia, mel-frequency cepstral coefficients, one versus rest, acoustic signal, vocal folds.

УДК 534.773

## СИСТЕМА ПОВЫШЕНИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЛУХОВОГО ВОСПРИЯТИЯ И КОМПРЕССИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА СИГНАЛА

Семенюк Н.А., студент гр.750701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Порхун М.И. – магистр техн. наук

**Аннотация.** В работе рассмотрена система повышения разборчивости речи на основе модели слухового восприятия и компрессии динамического диапазона сигнала. Функционирование системы сводится к субполосной обработке звукового сигнала, согласованной с механизмом работы слуховой системы человека. Банк гамматон-фильтров используется для разложения звукового сигнала на компоненты (субполосы). Каждая субполоса проходит через свой компрессор динамического диапазона, задача которого – автоматический выбор коэффициента усиления для текущей субполосы. Усиленные субполосы синтезируются в выходной сигнал путём суммирования. Настройка системы выполняется по аудиограмме тугоухого человека. Для проверки работоспособности системы проведено MATLAB-моделирование.

**Ключевые слова.** Повышение разборчивости речи, гамматон-фильтр, компрессор динамического диапазона, аудиограмма.

По состоянию на 2021 год более 5% населения мира (430 миллионов человек), нуждаются в реабилитации для решения проблемы потери слуха. По прогнозам, к 2050 г. по меньшей мере 700 миллионов человек будут нуждаться в реабилитационных услугах в связи с потерей слуха и около 2,5 миллиарда человек в той или иной степени будут страдать от проблем со слухом [1]. В связи с этим весьма актуальна задача оперативной коррекции слуховых патологий.

В данной работе рассмотрена система повышения разборчивости речи на основе модели слухового восприятия и компрессии динамического диапазона сигнала. Структура системы представлена на рисунке 1.

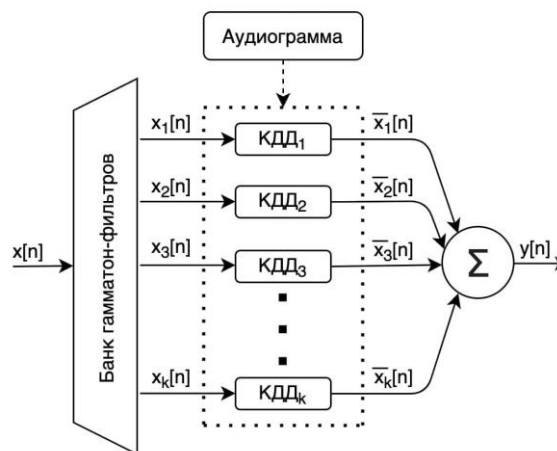


Рисунок 1 – Структура системы повышения разборчивости речи

Входной сигнал  $x[n]$  разделяется на субполосы при помощи 20-канального банка гамматон-фильтров [2]. Каждый субполосный сигнал проходит через отдельный компрессор динамического диапазона (КДД). Основная задача компрессоров – расчёт коэффициентов субполосного усиления сигнала. Система настраивается по аудиограмме слабослышащего человека. Выходной звуковой сигнал  $y[n]$  синтезируется при помощи суммирования обработанных субполос.

В качестве модуля, разделяющего сигнал на субполосы, используется банк гамматон-фильтров, имитирующий механизм частотной декомпозиции звука в улитке [2]. Импульсная характеристика банка гамматон-фильтров описывается следующим выражением:

$$g(t) = t^{l-1} e^{-2\pi b ERB(f_c)t} \cos(2\pi f_c t + \phi), \text{ при } t \geq 0 \quad (1)$$

где  $l$  – порядок фильтра,  $ERB$  – эквивалентная прямоугольная полоса пропускания,  $b$  – параметр, определяющий ширину полосы фильтра,  $f_c$  – центральная частота,  $\phi$  – фаза [2].

При умеренных уровнях мощности сигнала  $ERB(f_c)$  описывается следующей формулой [3]:

$$ERB(f_c) = 24.7 + 0.108 f_c \quad (2)$$

В данной работе порядок фильтров  $l$  выбран равным 4 ( $l = 4$ ), фаза  $\phi$  равна нулю ( $\phi = 0$ ), параметр  $b$  равен 1.019 ( $b = 1.019$ ) [3,4]. Центральные частоты банка фильтров ( $f_c$ ) выбираются в соответствии с психоакустической шкалой Барков [5].

АЧХ 20-канального банка гамматон-фильтров приведена на рисунке 2.

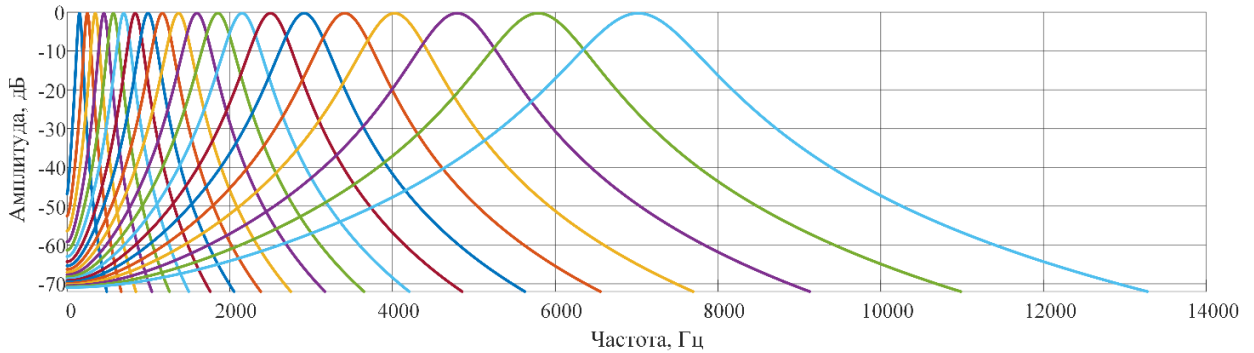


Рисунок 2 – АЧХ банка гамматон-фильтров

Рисунок 2 демонстрирует нелинейность восприятия звука человеческим ухом.

Потеря слуха характеризуется сужением слышимого динамического диапазона, снижением порогов слышимости, ухудшением частотного разрешения уха. Следствие этого – разборчивость речи у тугоухого человека падает. Для её повышения необходимо решить задачу отображения широкого динамического диапазона нормально слышащего человека в остаточный диапазон тугоухого человека, т.е. выполнить компрессию динамического диапазона. Помимо того, необходимо выполнить частотно-зависимое усиление сигнала. Основная цель КДД в разработанной системе – автоматический выбор коэффициентов усиления субполос в зависимости от уровня мощности сигнала. Для выполнения задачи частотно-зависимого усиления сигнала для каждой субполосе строится отдельный компрессор, настраиваемый согласно характеристикам слуха (аудиограмме) тугоухого человека. Использование такого механизма настройки системы позволяет ослаблять субполосы с высокой мощностью, а с малой – усиливать. Благодаря этому, тихие звуки становятся слышимыми, а громкие звуки не вызывают дискомфортных ощущений [6].

Порог компрессии – параметр КДД, определяющий точку изгиба характеристики вход/выход компрессора, после которой алгоритм компрессии становится активным. Если уровень входного сигнала ниже порога компрессии, то выходной сигнал усиливается линейно, а если выше – коэффициент усиления уменьшается [5]. Пример характеристики вход/выход КДД для частоты 153 Гц, построенный по аудиограмме из рисунка 4, приведён на рисунке 3.

Настройка системы под характеристики слуха конкретного тугоухого человека осуществляется на центральных частотах банка фильтров ( $f_c$ ) с использованием аудиограммы. Аудиограмма представляет собой таблицу минимальных уровней восприятия тональных сигналов на фиксированном наборе частот и формируется в результате аудиометрии. Проведя анализ аудиограммы можно диагностировать нарушения и тип патологий слуха. На бланке аудиограммы отображаются две оси: горизонтальная – частота в Герцах и вертикальная – минимальные уровни звукового давления сигнала, при которых человек слышит звук (порог слышимости) [5]. Пример аудиограммы для потери слуха второй степени приведён на рисунке 4.

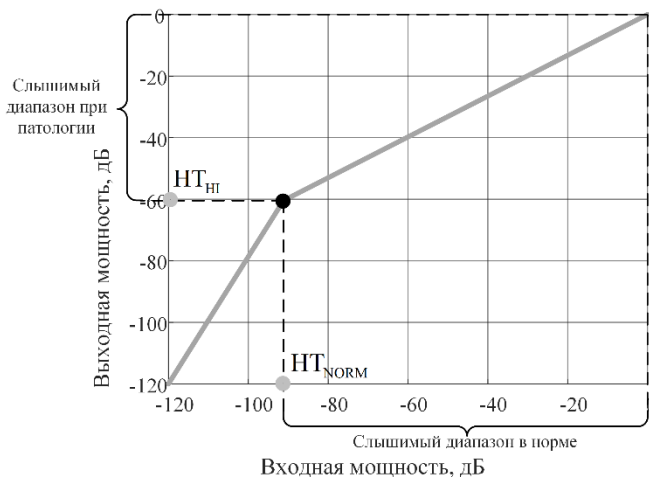


Рисунок 3 – Пример характеристики вход/выход КДД

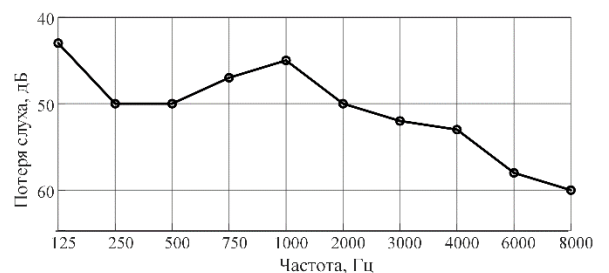


Рисунок 4 – Пример аудиограммы

Помимо характеристики вход/выход КДД, рисунок 3 демонстрирует изменение слышимого диапазона при наличии потери слуха. Так, например, слышимый диапазон для слуха в норме на рисунке 3 составляет 0...-90 дБ, а для тугоухого человека: 0...-60 дБ, что соответствует эффекту уменьшения слышимого динамического диапазона при ухудшении слуха.

Для настройки системы необходимо знать пороги слышимости в норме и при тугоухости на частотах  $f_c$ . Аудиограмма используется для задания характеристики вход/выход: из неё извлекается порог слышимости тугоухого человека ( $HT_{HI}$ ). Порог слышимости нормально слышащего человека ( $HT_{NORM}$ ) определяется исходя из стандарта ISO226, описывающего кривые равной громкости. Таким образом, зная пороги слышимости в норме и при наличии патологии можно найти точку перегиба характеристики вход/выход КДД (рисунок 5). Для этого, на первом этапе выполняется интерполяция порогов слышимости (в норме и с патологией) на сетку центральных частот банка фильтров. Далее, необходимо выполнить перевод значений порогов слышимости из УЗД (уровень звукового давления) в «цифровые» дБ. Следующим этапом определяется точка перегиба характеристики вход/выход КДД, где в качестве входного используется значение порога слышимости в норме ( $HT_{NORM}$ ), а выходного – значение порога слышимости тугоухого человека ( $HT_{HI}$ ). [6, 7].



Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма настройки КДД

Для реализации КДД в каждой субполосе на выходе банка фильтров, на частотах  $f_c$  производится оценка мощности сигнала:

$$P_k^{in}[n] = \begin{cases} P_k[n-1]\alpha + x_k^2[n](1-\alpha), & \text{если } x_k^2[n] > P_k[n-1] \\ P_k[n-1]\beta + x_k^2[n](1-\beta), & \text{если } x_k^2[n] \leq P_k[n-1] \end{cases}, k = 1, 2 \dots K, \quad (3)$$

где  $P_k[n]$  – мощность сигнала на выходе  $k$ -го канала банка фильтров,  $K$  – число каналов банка фильтров,  $x_k[n]$  – сигнал на выходе  $k$ -го канала банка фильтров,  $\alpha$  – коэффициент атаки,  $\beta$  – коэффициент восстановления, которые вычисляются по следующим формулам [6]:

$$\alpha = 1 - \exp\left(\frac{-2.2T_s}{t_a/1000}\right) \quad (4)$$

$$\beta = 1 - \exp\left(\frac{-2.2T_s}{t_r/1000}\right) \quad (5)$$

где  $T_s$  – период дискретизации,  $t_a$  – время атаки в секундах,  $t_r$  – время восстановления в секундах [6].

В данной работе параметры  $\alpha$  и  $\beta$  приняты равными 0.99 и 0.9992 ( $\alpha = 0.99, \beta = 0.9992$ ).

Далее, рассчитываются субполосные коэффициенты усиления  $g_k$ :

1) полученный уровень мощности  $P_k^{in}$  переводится в дБ:

$$P_{k,dB}^{in} = 10 \log_{10} P_k^{in} \quad (4)$$



- 2) с использованием линейной интерполяции рассчитывается выходная мощность  $P_{k,dB}^{out}$  исходя из характеристики вход/выход КДД;
- 3) вычисляются коэффициенты усиления в каждой субполосе (в дБ):

$$G_{k,dB} = P_{k,dB}^{out} - P_{k,dB}^{in} \quad (5)$$

- 4) коэффициенты  $G_{k,dB}$  переводятся из дБ в линейный масштаб:

$$g_k = 10^{G_{k,dB} / 20} \quad (6)$$

После нахождения коэффициентов  $g_k$  они умножаются на соответствующие субполосы  $x_k[n]$  [8]:

$$y_k[n] = x_k[n]g_k[n] \quad (7)$$

Выходной сигнал синтезируется путём суммирования субполосных компонент сигнала.

Для проверки работоспособности системы выполнено её MATLAB-моделирование. В качестве входного сигнала использовался речевой сигнал, временное представление и спектрограмма которого представлены на рисунке 6. Настройка системы выполнена согласно аудиограмме, показанной на рисунке 5. Спектрограмма выходного сигнала и его временное представление приведены на рисунке 7.

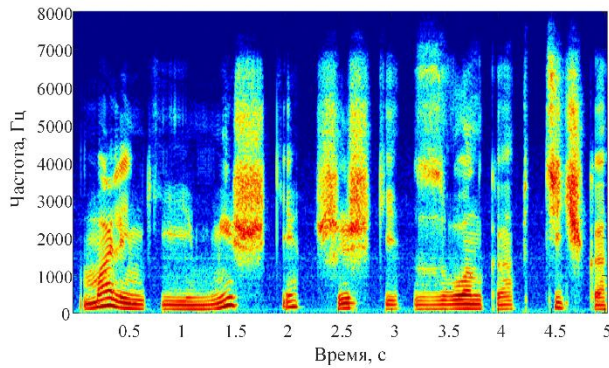


Рисунок 6 – Спектрограмма и временное представление входного сигнала

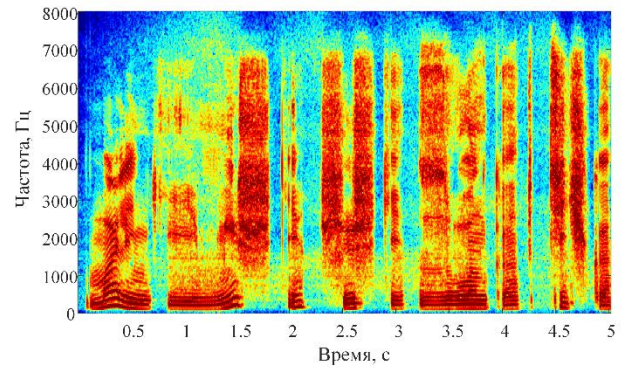


Рисунок 7 – Спектрограмма и временное представление выходного сигнала

Из полученных спектрограмм видно, что используемые в системе КДД выполняют частотно-зависимое усиление, что, в свою очередь, приводит к увеличению уровня исходного звукового сигнала и положительно влияет на разборчивость речи. Искажения, появляющиеся в результате обработки не влияют на общий уровень разборчивости речи и возможность идентифицировать говорящего человека.

Таким образом, в работе рассмотрена система повышения разборчивости речи на основе модели слухового восприятия и компрессии динамического диапазона сигнала. Важной особенностью системы является применение в ней банка гамматон-фильтров, имитирующего механизм частотной декомпозиции звука в ухе. Другой особенностью системы является её автоматическая настройка по аудиограмме слабослышащего человека. Работоспособность системы показана путём MATLAB-моделирования.

**Список использованных источников:**

1. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс] / Глухота и потеря слуха. - Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>. - Дата доступа: 08.04.2021.
2. R. D. Patterson, I. Nimmo-Smith, J. Holdsworth, P. Rice An efficient auditory filterbank based on the gammatone function / A meeting of the IOC Speech Group on Auditory Modelling at RSRE. 2 (7) – 1987.
3. E. Ambikairajah, J. Epps, L. Lin Wideband speech and audio coding using gammatone filter banks / School of Electrical Engineering and Telecommunications, – 2021.
4. Y. Jiang, Y. Zu, L. Liu, Q. Wang, P. Ren and H. Zhou Gammatone filterbank based energy masking algorithm for active hearing protection system / 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2012), Chongqing, China, – 2012. – P. 537–540.
5. U. Zolzer Digital audio signal processing / John Wiley & Sons Software, – 2008. – 334 p.
6. М.И. Вашкевич, И.С. Азаров, А.А. Петровский, Косинусно-модулированные банки фильтров с фазовым преобразованием: реализация и применение в слуховых аппаратах // Вашкевич М.И., Азаров И.С., Петровский А.А. – Москва: Горячая линия «Телеком», 2014 – 219 с.: ил.
7. Вашкевич, М. И. Биосинтезированный и психоакустически мотивированный анализ звуковых сигналов / Вашкевич М. И., Азаров И. С. // Информационные технологии и системы 2020 (ИТС 2020) = Information Technologies and Systems 2020 (ITS 2020) : материалы международной научной конференции, Минск, 18 ноября 2020 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2020. – С. 9–12.
8. М. И. Вашкевич, А. А. Петровский Компрессор речевых сигналов для слуховых аппаратов на основе банка кохлеарных фильтров / Цифровая обработка сигналов и ее применение: труды 14-й междунар. конф., Россия, Москва. – 2012. – Т. 1. – С. 87–91.

UDC 534.773

## SYSTEM FOR IMPROVING SPEECH INTELLIGIBILITY BASED ON AN AUDITORY PERCEPTION MODEL AND DYNAMIC SIGNAL RANGE COMPRESSION

Semenuk N.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Porhun M.I. – Master of Engineering Science

**Annotation.** The paper considers a system for improving speech intelligibility based on an auditory perception model and dynamic signal range compression. The functioning of the system is reduced to sub-band processing of the audio signal coordinated with human auditory system mechanism. A bank of gammaton-filters is used to decompose an audio signal into components (sub-bands). Each subband passes through its own dynamic range compressor whose task is to automatically select the gain for the current subband. The amplified sub-bands are synthesized into the output signal by summation. The system configuration is based on the audiogram of a deaf person. A MATLAB simulation was performed to check the system's performance.

**Keywords.** Speech intelligibility enhancement, gammaton-filter, dynamic range compressor, audiogram.

УДК 621.376+621.396

## РЕАЛИЗАЦИЯ GFSK МОДЕМА В СРЕДЕ MATLAB

Кайкы М.Н.<sup>1</sup>, студент гр.950701, Тишко А.П., студент гр. 950701  
Гапоненко А. А, студент гр. 850701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь

Порхун М.И. – магистр техн. наук

**Аннотация.** В данной работе рассматривается реализация GFSK модема в среде MATLAB. Приведена структура модема, а также описаны его составные блоки. Приводятся основные параметры и характеристики ЧМ, FSK, MSK, GFSK модуляторов. Проанализированы параметры различных вариантов реализации связки демодулятор-детектор, а также выполнено MATLAB-моделирование системы.

**Ключевые слова.** GFSK, модуляция, демодуляция, модем.

Цифровая обработка сигналов никогда раньше не была так широко распространена, и никогда раньше не существовало столько возможностей для её реализации [1]. В нынешнем состоянии технического прогресса человечества особую роль занимает теория передачи и кодирования дискретных сообщений. Большое количество информации и ограниченное количество каналов связи породили проблему корректной, эффективной и высокоскоростной передачи данных на любые расстояния. Модем – устройство, применяющееся в системах связи для сопряжения информационного сигнала со средой его распространения, где он не может существовать без адаптации. Основными функциональными блоками модема являются модулятор и демодулятор. Модулятор осуществляет модуляцию, то есть изменяет характеристики сигнала в соответствии с изменениями входного информационного сигнала, а демодулятор – осуществляет обратный процесс при приёме данных из канала связи [2].

В данной работе рассматривается реализация модема на основе усовершенствованного вида двоичной FSK-модуляции – GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying). Структура реализуемого модема состоит из ряда модулей (рисунок 1):

- 1) энкодер;
- 2) модулятор;
- 3) демодулятор;
- 4) декодер;
- 5) детектор ошибок.

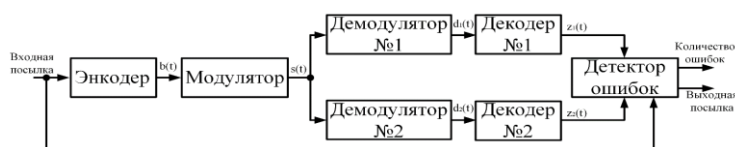


Рисунок 1 – Структура модема

Входная посылка поступает на блок энкодера, задача которого – преобразование входного информационного сигнала к виду, наиболее удобному для передачи и декодирования. На данном этапе к посылке добавляются системные биты, предназначенные для синхронизации приёмника (демодулятора) и передатчика (модулятора), а также для увеличения надёжности передачи данных. Далее сигнал поступает на блок модуляции, обеспечивающий преобразование сигнала в соответствии с принципами GFSK-модуляции. Модулированный сигнал проходит через два демодулятора, выполняющих одну и ту же функцию – выделение полезной информационной составляющей из модулированного сигнала. После этапа демодуляции сигнал поступает на два декодера, которые его расшифровывают, а затем передают информацию на детектор ошибок. Использование двух демодуляторов и двух декодеров обусловлено целью дальнейшего сравнения их работоспособности. На выходе декодеров располагается детектор ошибок демодуляции-декодирования, который сравнивает исходную информационную посылку с пришедшими на него декодированными сообщениями, и в случае обнаружения разности, указывает индексы и количество битов, переданных с ошибкой. В данной работе длина входной посылки выбрана равной 16 бит. В блоке энкодера к информационному сообщению добавляются системные биты – «стартовые» и «стоповые». В связи с тем, что передача данных модемом осуществляется асинхронно, существует необходимость предусмотреть возможность синхронизации приемника и передатчика. С этой целью к передаваемому информационному сообщению добавляются биты синхронизации: «стоповый» и «стартовый». «Стартовым» битом в данной работе выступает бит «нуля», а «стоповым» – бит «единицы». Формат передаваемой посылки приведён на рисунке 2.



Рисунок 2 – Формат посылки

Для синхронизации модулятора и демодулятора каждая посылка содержит в начале два «стоповых» бита (имитация отсутствия передачи данных) и один «стартовый» (начало передаваемой посылки), а затем 16 битную информационную часть (передаваемое слово). В конце посылки передаются два «стоповых» бита (окончание передачи).

После перекодирования (добавления системных бит) к исходной посылке она поступает на блок модулятора. В данной работе в качестве способа модуляции используется подвид частотной манипуляции – GFSK.

Частотная модуляция (ЧМ) получила большое распространение, так как слабо подвержена помехам, возникающим в линиях связи и среде передачи. В связи с высоким темпом перехода на цифровой вид хранения и передачи информации, возник новый вид модуляции – частотная



манипуляция (Frequency Shift Keying – FSK). В основе FSK лежит принцип частотной модуляции, а сами информационные сообщения представляются в виде различных частот несущего сигнала. В случае, когда алфавит состоит из двух символов, манипуляция называется двоичной [2].

Рассмотрим принцип работы простейшего двоичного FSK-модулятора. На его вход поступает  $n$ -бит, которые являются словами входного алфавита. Значение входной информационной посылки управляет ключом  $K$ , который в свою очередь переключает выходной контакт между двумя генераторами с различными несущими частотами. В результате работы такого модулятора на выходе схемы образуется синусоидальный сигнал, частота которого зависит от внутренних параметров генератора и значения передаваемой посылки. Данная реализация имеет ряд серьезных недостатков:

- 1) такой подход сложно реализовать для применения в реальных системах, поскольку требуется быстродействующий ключ с маленьким временем протекания переходного процесса;
- 2) в выходном сигнале модулятора могут образовываться разрывы сигнала в виде резких скачков, что может значительно повлиять на демодуляцию сигнала, и тем самым внести ошибку в демодулированную последовательность бит [3].

Учитывая недостатки такой реализации, на практике применяют FSK-модуляторы с непрерывной фазой, построенные на базе универсального квадратурного модулятора с формированием огибающей сигнала (рисунок 3), который и используется в данной работе.

GFSK – вид частотной манипуляции, при которой используется фильтр Гаусса для сглаживания перестроек при изменении значений входной информационной посылки. Данный подход реализуется за счёт генерации сигнала с минимальным сдвигом по частоте – Minimum-Shift Keying (MSK) [4]. Синтез такого сигнала основывается на понятии ортогональности функций синуса и косинуса. Считается, что  $m = 0.5$  – минимальный индекс, при котором демодуляция образует цифровую информацию без ошибок. Однако, при  $m < 0.5$  всё ещё можно получить цифровую информацию, но в таком виде будут присутствовать ошибки демодуляции, связанные с неортогональностью функций синуса и косинуса. Уменьшение индекса манипуляции приводит к усложнению структур демодуляторов, но при этом всё же используется на практике, например, DECT (англ. digital enhanced cordless telecommunication), Bluetooth [5]. Причина, по которой двоичная MSK получила столь большое распространение – наименьшая среди других видов двоичных манипуляций ширина главного лепестка спектра сигнала, что позволяет уменьшить ширину частот, занимаемых сигналом в эфире. В результате работ по практическому применению MSK-манипуляции инженеры стали применять фильтры, что привело к появлению GFSK – модуляции [6]. Фильтр Гаусса позволяет снизить полосу занимаемых сигналом частот в эфире при помощи фильтрации низкочастотного информационного сигнала на входе модулятора [5]. Ширину спектра сигнала, полученного такой модуляцией, принято связывать с длительностью передаваемого символа и полосой пропускания фильтра. Импульсная характеристика фильтра Гаусса имеет следующий вид [3]:

$$h(t) = B \sqrt{\frac{2\pi}{\ln(2)}} e^{-\frac{2(B \cdot t \cdot \pi)^2}{\ln(2)}} \quad (1)$$

где  $B$  — полоса пропускания фильтра по уровню -3 дБ,  $t$  – время в секундах.

Полоса занимаемых частот радиосигнала напрямую зависит от частоты пропускания фильтра Гаусса: чем уже полоса пропускания фильтра – тем меньше полоса частот в эфире. Стоит отметить, что с уменьшением полосы пропускания фильтра, увеличиваются межсимвольные искажения, что приводит к увеличению ошибки в модулированном сигнале. Ещё одна особенность – межсимвольные искажения также зависят от предыдущих передаваемых символов. Подобные проблемы обычно устраняют эквалайзером либо сверточным декодером Витерби, но в данной работе эти аспекты рассматриваться не будут. Также, следует отметить, что при GFSK-модуляции может использоваться не только квадратурный модулятор, а и генератор сигнала, управляемый по частоте [4].

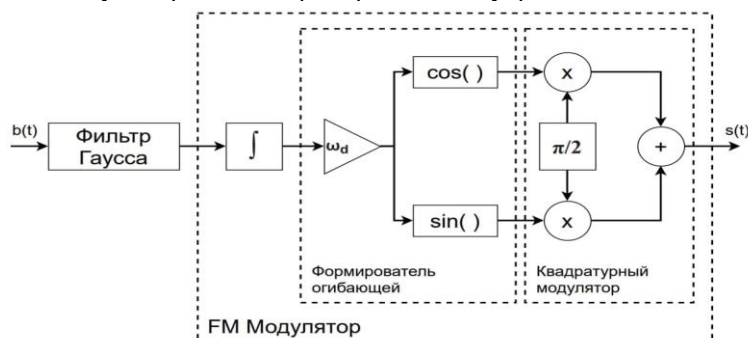


Рисунок 3 – Структура модулятора

Сигнал с выхода энкодера  $b(t)$  проходит через фильтр Гаусса, а затем интегрируется и

усиливается в  $\omega_d$  – раз, где  $\omega_d$  – частота девиации сигнала. Смысл использования блока интегратора заключается в получении мгновенной фазы FSK сигнала. Если имеется модулирующий сигнал, из которого сформированы синфазная и квадратурная компоненты комплексной огибающей сигнала, то можно перенести её на любую частоту при помощи схемы универсального квадратурного преобразователя. Способ формирования комплексной огибающей в зависимости от модулирующего сигнала определяет вид модуляции. Любое комплексное число можно представить в виде точки на комплексной плоскости, а комплексный сигнал можно интерпретировать как комплексную функцию времени, такая интерпретация носит название – комплексной огибающей.

В ходе работы синтезированы два демодулятора и два декодера GFSK сигнала. Первый демодулятор основан на двух полосовых фильтрах и детекторах огибающей (рисунок 4), второй демодулятор (рисунок 5) основан на умножении двух сигналов, исходного и его же, но сдвинутого по фазе. К преимуществам первого демодулятора можно отнести высокую помехозащищённость, второго – простоту исполнения. К недостаткам: первый демодулятор требует большего количества аппаратных ресурсов на реализацию, второй – более подвержен паразитным составляющим в сигнале [8]. Декодер № 1 работает по принципу анализа амплитуды и знака сигнала на середине интервала приёма бита из информационного сообщения. Второй декодер основан на вычислении суммы положительных и отрицательных значений сигнала при приёме бита данных.

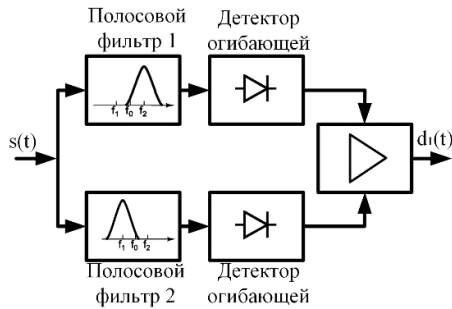


Рисунок 4 – Структура демодулятора №1

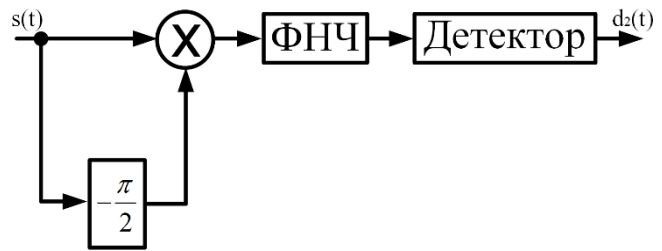
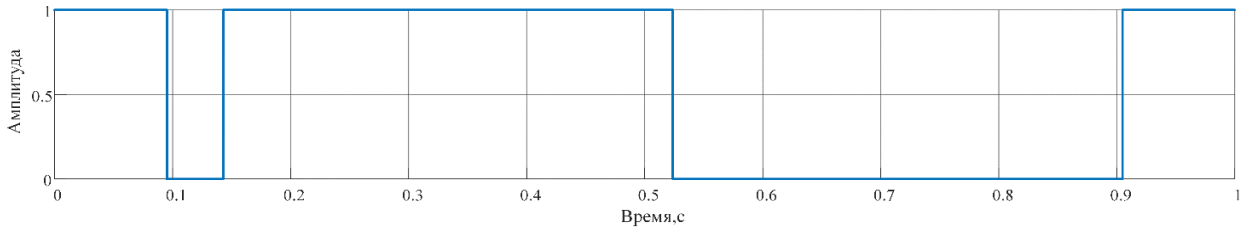
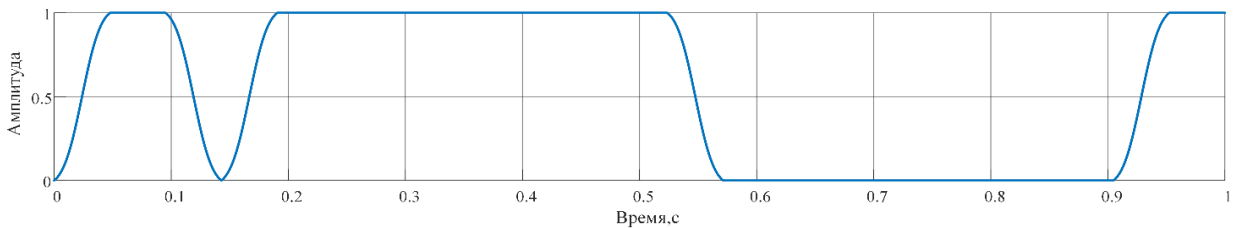


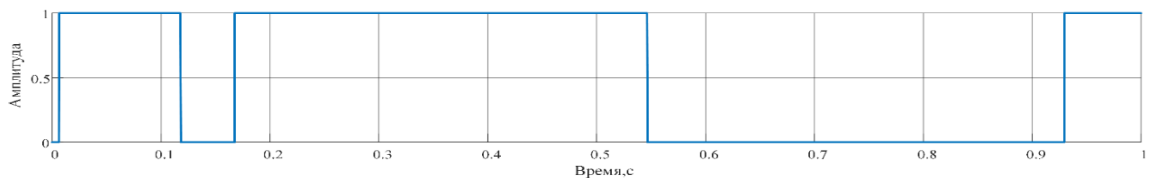
Рисунок 5 – Структура демодулятора №2



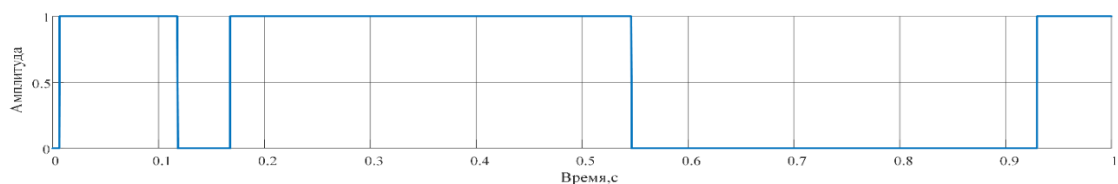
а)



б)



в)



г)

Рисунок 6 – Сигналы в GFSK-модеме: а – входная информационная последовательность; б – сигнал со входа FM-модулятора (после фильтра Гаусса); в – сигнал с выхода детектора №1; г – сигнал с выхода детектора №2;

Из рисунков 6б-в видно, что выходные сигналы смещены по времени относительно исходного информационного сообщения в следствии применения фильтра Гаусса. Сигналы с выходов детекторов (рисунок 6в-г) практически не отличаются друг от друга и совпадают с исходной посылкой, что свидетельствует о корректности работы системы. Помимо MATLAB-моделирования работы модема, также проводилось тестирование на количество ошибок процесса демодуляции-декодирования. Так, разные демодуляторы в связке с разными декодерами дали различные результаты точности и помехозащищённости. На основании тестирования был сделан вывод о том, что в отдельной практической реализации GFSK-модема требуется учитывать исключительно индивидуальные особенности зашумлённости эфира и качества выходного сигнала, в нашем же случае, при моделировании работы системы лучше всего себя показал демодулятор №1 (на основе полосовых фильтров) в связке со декодером №2 (сумма амплитуд отсчётов). Таким образом, в работе рассмотрена реализация GFSK-модема в среде MATLAB. Приведены особенности реализации различных связок демодулятор-детектор, а также проанализирована корректность их работы. Работоспособность модема показана путём MATLAB-моделирования.

**Список использованных источников:**

1. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. Второе издание. Пер. с англ./ Р. Лайонс // М. : ООО «Бином-Пресс», 2006.
2. Модем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Модем>. - Дата доступа: 08.04.2021.
3. FSK модуляция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.dsplib.org/content/signal\\_fsk/signal\\_fsk.html](https://ru.dsplib.org/content/signal_fsk/signal_fsk.html). - Дата доступа: 10.04.2021.
4. Модуляция GMSK в современных системах радиосвязи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chipinfo.ru/literature/chipnews/200108/3.html>. - Дата доступа: 15.04.2021.
5. Давыдов А.В. Цифровая обработка сигналов: Тематические лекции / А.В. Давыдов // Екатеринбург : Фонд электронных документов, 2005. – 185 с.
6. Schiphorst R., Hoeksema F.W., Slump, C. Bluetooth demodulation algorithms and their performance / R. Schiphorst, F.W. Hoeksema, C. Slump // Proceedings of the Second Karlsruhe Workshop on Software Radios, Karlsruhe : Universitat Karlsruhe Institut fur Nachrichtentechnik, 2002. – P. 99-106.
7. FSK, GFSK, MSK, GMSK и некоторые другие режимы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.radioscanner.ru/info/article345/>. - Дата доступа: 16.04.2021.
8. FSK: Сигналы и их демодуляция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.leoniv.diod.club/articles/pdf/fskdemod.pdf>. - Дата доступа: 16.04.2021.

UDC 621.376+621.396

## IMPLEMENTING GFSK MODEM IN MATLAB ENVIRONMENT

*Kaiky M., Tishko A.P. Haponenko A.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Porhun M.I. – Master of Engineering Science*

**Annotation.** This article deals with the implementation of the GFSK modem in the MATLAB environment. The structure of the modem is given, as well as its constituent blocks are described. The main parameters and characteristics of FM, FSK, MSK, GFSK modulators are given. The parameters of various options for implementing the demodulator-detector coupling are analyzed, and MATLAB-simulation of the system is performed.

**Keywords.** GFSK, modem, modulation, demodulation.

**СЕКЦИЯ «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

УДК 004.032.26+004.421.5

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЛОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

*Рафеев П. Ю., студент гр.951008, Болтак С. В., ассистент*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Болтак С.В. – ассистент*

**Аннотация.** В работе исследуется возможность создания генератора псевдослучайных числовых последовательностей (ПЧП) для потоковых криптосистем на базе симметричной нейронной сети. Описываются необходимые параметры нейронной сети, производится сравнение с другими генераторами ПЧП и делаются выводы о преимуществах и недостатках такого генератора.

**Ключевые слова.** Симметричная нейронная сеть, потоковое шифрование, потоковая криптосистема, генератор ключа, псевдослучайная числовая последовательность.

В современной криптографии большой популярностью пользуются т. н. «потоковые криптосистемы». Основная их идея заключается в шифровании исходного текста  $M$  с помощью побитовой операции XOR с криптографическим ключом  $K$ , длина которого равняется длине текста. Однако, поскольку обмен ключами большого размера зачастую невозможен, на практике для формирования ключевого потока используют генераторы псевдослучайной последовательности (LFSR, A5, MUGI, RC4 и др.) [1, с. 96—114]. Каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками, что обуславливает их применимость лишь в ограниченных рамках. Так, генераторы LFSR и A5 легко реализуются аппаратно и не требуют больших затрат памяти, но из-за побитовой линейной генерации работают медленнее, обладают меньшим периодом и более предсказуемы, чем RC4 (работающий на основе подстановочной таблицы  $S$ ) или MUGI (реализующий смешанную схему). Проблемой же использования подстановочной таблицы  $S$  является необходимость её предварительного заполнения и постоянного хранения в памяти, что значительно усложняет аппаратную реализацию.

Для решения описанных проблем различных генераторов в данной работе предлагается использование симметричной нейронной сети. Симметричность необходима для возможности подачи значений выходных нейронов на вход при дальнейшей генерации псевдослучайной числовой последовательности, а также распараллеливания вычислений. За один цикл работы нейросеть генерирует  $k$  чисел размерностью  $n$  бит (где  $k$  — количество входных/выходных нейронов). Чем больше  $n$  и  $k$ , тем больше длина генерируемой за один цикл последовательности и максимальный её период. Однако также большими станут время вычисления цикла и обучения нейросети. При использовании же нейросети без предварительного обучения (со случайными весами нейронных связей) период последовательности может оказаться меньше максимального (равного  $2^{n*k}$ ).

В созданной для данной работы нейронной сети  $n = 32$  (значения типа int) и  $k = 4$ , что достаточно для генерации надёжного ключа размером до  $2^{85}$  ТБ. Взлом же такого генератора, даже при известных  $2*n*k$  бит ключа, остаётся вычислительно трудной задачей. Количество промежуточных слоёв = 1 для снижения времени вычисления цикла. В качестве функции активации нейронов используется выгнутая тождественная функция [2, с.136], представленная формулой (1):

$$f(x) = \left( \frac{\sqrt{x^2+1}-1}{2} + x \right) \bmod 2^n, \quad (1)$$

где  $x = \sum_{i=1}^k v_i \cdot f_i$  — сумма произведений выходных значений нейронов предыдущего слоя и весов их связей с активируемым нейроном (входное значение активируемого нейрона).

Такая функция активации обеспечивает нелинейность генерируемой выходной последовательности (поскольку сама функция не линейна), равномерное распределение значений в максимально широком диапазоне (благодаря своей непрерывности и положительной производной на всей области определения), более высокую скорость обучения нейросети (по причине монотонности производной, гарантирующей выпуклость поверхности ошибок), а также возможность аппаратной реализации нейронов (из-за существования радиоэлементов с такой же ВАХ).

Для обучения нейронной сети использовался генетический алгоритм, функцией приспособленности в котором выступал максимальный период выходной последовательности, генерируемой сетью с выбранными весами нейронных связей. Иные алгоритмы обучения, такие как градиентный спуск или обратное распространение ошибки в данной задаче плохо применимы, поскольку каждое вычисление функции ошибки требует выполнять генерацию выходной

последовательности до достижения повторения.

В данном алгоритме весовые коэффициенты всех нейросетей первого поколения выбирались случайно, а в последующих поколениях вычислялись на основании двух нейросетей с наибольшими периодами в предыдущем поколении по формуле (2):

$$v_{i+1} = (v_{\max})_i + ((v_{\text{pred}})_i - (v_{\max})_i) \cdot \text{rand}, \quad (2)$$

где  $v$  — вес связи, индексы  $i, i+1$  — номера поколений, индексы  $\max$  и  $\text{pred}$  означают нейросети с максимальным и предмаксимальным периодами соответственно, а  $\text{rand}$  — случайное значение в диапазоне от 0 до 1.

Кроме того, в одну нейросеть следующего поколения значения весов связей переносились из нейросети с максимальным периодом без изменений во избежание возможного регресса при обучении.

В каждом поколении параллельно вычислялся период повторения для 50 нейросетей (число выбрано оптимальным для компьютера автора). Условием окончания обучения являлось равенство периодов всех нейросетей в поколении, поскольку при его достижении формула (2) даёт  $v_{i+1} = v_i$ . В данной работе до достижения условия окончания обучения прошло 38 поколений, информация о которых представлена в таблице 1.

Таблица 1 — Время достижения и наибольшие периоды каждого поколения нейросетей.

Поколение нейросетей	Время (мин)	Период ( $10^{21}$ бит)	
		максимальный	предмаксимальный
1	9,914547619	1,205762172	0,998113197
2	15,46908333	25,94993964	1,205762172
3	23,89047619	25,94993964	8,210723091
4	33,44666667	25,94993964	5,737463848
5	42,6445	27,46440986	25,94993964
6	57,57604762	31,54231382	27,46440986
7	68,56566667	31,54231382	29,86093363
8	74,47855952	60,5082547	31,54231382
9	82,36241667	60,5082547	25,94993964
10	87,02105952	60,5082547	37,99330663
11	91,50052381	77,42654066	60,5082547
12	96,57725	77,42654066	63,35434483
13	99,86219048	77,42654066	41,0412532
14	103,4457619	77,42654066	44,2690102
15	106,7307024	77,42654066	38,99020063
16	110,2545476	77,42654066	37,99330663
17	113,8978452	77,42654066	53,80979485
18	117,2425119	77,42654066	74,11562262
19	120,2885476	82,60307038	77,42654066
20	123,3943095	82,60307038	79,12418529
21	126,4403452	82,60307038	79,12418529
22	129,486381	86,19288672	82,60307038
23	144,0595714	88,03234242	86,19288672
24	154,6908333	88,03234242	72,49944514
25	159,7078333	88,03234242	79,12418529
26	163,4705833	88,03234242	84,3824096
27	167,7111429	101,7402099	88,03234242
28	171,4141667	101,7402099	93,72495476
29	174,6991071	101,7402099	91,79675321
30	177,7451429	101,7402099	99,68928814
31	181,1495357	112,4672973	101,7402099
32	184,2552976	112,4672973	108,0801462
33	187,7791429	126,4394341	112,4672973
34	191,601619	126,4394341	124,0244369
35	196,7977976	133,8928274	126,4394341
36	208,6235833	141,6709874	133,8928274
37	222,300881	141,6709874	141,6709874
38	237,9491429	141,6709874	141,6709874

По данным таблицы 1 построены графики зависимости максимального и предмаксимального периодов в каждом поколении от времени достижения поколения (кривые обучения), изображённые на рисунке 1:

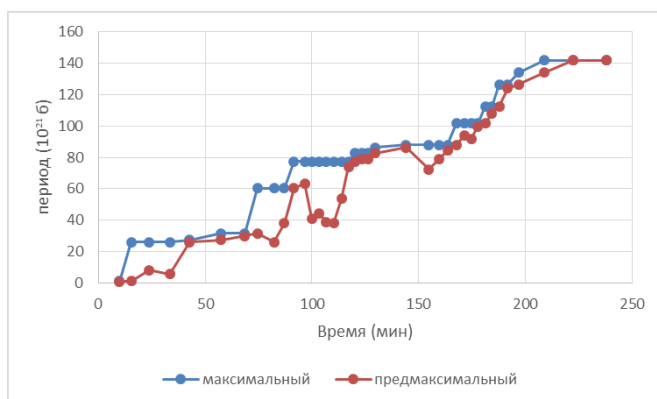


Рисунок 1 – Графики зависимости двух лучших периодов в поколении от времени обучения по данным таблицы 1

Из кривых обучения видно, что копирование весовых коэффициентов лучшей нейронной сети предыдущего поколения в одну из нейронных сетей следующего поколения действительно необходимо и позволяет избежать регресса при обучении, вызванного негладкостью поверхности ошибок (которая отражается на графике зависимости предмаксимального периода от времени как ряд локальных минимумов). Также графики и таблица показывают преимущество обученной нейросети над необученной в максимальном периоде выходной последовательности (120-кратное преимущество), в большинстве ситуаций оправдывающее необходимость тратить несколько часов на предварительное обучение.

Весовые коэффициенты, полученные после 38-ми поколений генетического алгоритма и используемые в нейросети, представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Используемые в нейронной сети весовые коэффициенты.

Внутренний слой					Выходной слой				
№ <sub>вх.</sub> /№ <sub>вых.</sub>	1	2	3	4	№ <sub>вх.</sub> /№ <sub>вых.</sub>	1	2	3	4
1	478.9	9823.1	10056.4	3609.4	1	7896.5	7583.4	3794.1	749.4
2	2274.0	5824.8	6673.5	10598.3	2	3713.6	5732.4	5374.5	3563.0
3	358.1	4962.3	5829.1	10037.1	3	4782.9	3210.6	6473.7	9683.6
4	4891.4	708.3	5032.5	9028.5	4	146.0	8334.1	7824.7	208.7

После завершения создания и обучения нейросети необходимо было проверить, является ли распределение цифр в генерируемой выходной последовательности равномерным, для чего была сгенерирована выходная последовательность из 48 миллионов цифр, подсчитано количество цифр каждого вида в ней и вычислены их относительные частоты появления. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Количества и относительные частоты цифр в выходной последовательности.

Цифра	0	1	2	3	4	-
Кол-во	4 799 825	4 800 594	4 800 338	4 799 796	4 801 443	-
Частота, %	10,000	10,001	10,001	10,000	10,003	-
Цифра	5	6	7	8	9	В сумме
Кол-во	4 799 882	4 798 103	4 797 842	4 799 595	4 802 582	48 000 000
Частота, %	10,000	9,996	9,996	9,999	10,005	100,000

Для оценки близости распределения к равномерному был вычислен критерий согласия Пирсона [3, с. 138—140] по формуле (3):

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'} \quad (3)$$

где  $n_i$  и  $n_i'$  — экспериментальные и теоретические частоты соответственно.

Полученное значение критерия  $\chi^2 = 7,69 \cdot 10^{-8}$  при числе степеней свободы  $k = S - 2 = 8$  (где  $S$  — количество видов цифр) означает, что вероятность не равномерного распределения цифр порядка  $10^{-30}$  %, и свидетельствует о равномерном распределении цифр в генерируемой ПЧП — необходимым для большинства псевдослучайных генераторов качестве.

Далее было проведено сравнение нейросети по скорости генерации псевдослучайной числовой последовательности с генераторами LFSR и RC4. Результаты приведены в таблице 4 (последняя строка таблицы представляет собой сравнение теоретических сложностей).

Таблица 4 — Сравнение времени (в секундах) генерации ПЧП различными генераторами.

Длина, МБ/Генератор	Нейросеть	LFSR	RC4
8	0,79	5,29	0,76
16	1,38	10,41	1,40
32	2,48	20,71	2,47
64	4,74	42,45	4,48
128	8,66	76,39	8,35
192	13,13	116,09	12,45
256	17,21	153,4	16,51
$N$	$O(2^k * N/n)$	$O(2^*N)$	$O(7^*N/n)$

По данным таблицы 4 для большей наглядности сравнения построены графики зависимости времени генерации от длины ПЧП, изображённые на рисунке 2:

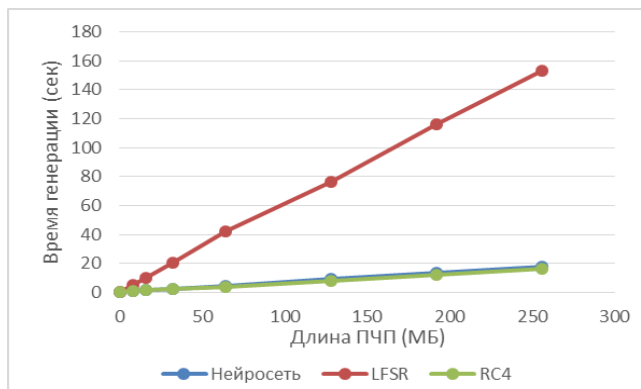


Рисунок 2 – Графики зависимости времени генерации от длины ПЧП по данным таблицы 2

Как видно из результатов сравнения, нейросеть смогла достичь такой же скорости, как и генератор RC4, при этом требуя гораздо меньших затрат памяти ( $2^k$  против 256), обладая большой гибкостью (за счёт возможности переобучить её, не меняя исходный код) и возможностью аппаратной реализации на базе современных нейронных процессоров с использованием радиодеталей, ВАХ которых аппроксимируется функцией активации [4]. Основным её недостатком можно считать необходимость длительного предварительного обучения, что, однако, можно решить путём переноса весовых коэффициентов уже обученной нейросети в новую. Таким образом, применение симметричных нейронных сетей может послужить универсальным решением для генерации ПЧП, обеспечивая быстрое, ресурсоёмкое и криптографически стойкое потоковое шифрование.

#### Список использованных источников:

1. Ярмолик, В. Н. Элементы теории информации: Конспект лекций по одноименной дисциплине для студентов направления специальности "Программное обеспечение информационных технологий" дневной и заочной формы обучения / В. Н. Ярмолик — Минск : БГУИР, 2015. — 141с.
2. Чару Аггарвал. Нейронные сети и глубокое обучение. Учебный курс. Пер. с англ. А. Г. Гузикович / Чару Аггарвал. — М. : Вильямс, 2020. — 752 с.
3. Аксенчик, А. В. Теория вероятностей и математическая статистика : учебно - метод. пособие / А. В. Аксенчик. — Минск : БГУИР, 2011. — 184 с.
4. Гриняев С. / Нейронные процессоры Intel [Электронный ресурс] // Компьютерра. 2001. — № 38. — Режим доступа: <https://old.computerra.ru/198014/>— Дата доступа: 03.04.2021.

UDC 004.032.26+004.421.5

## SYMMETRIC NEURAL NETWORK AS PSEUDORANDOM NUMERICAL SEQUENCES GENERATOR

Rafeyev P. Y, Boltak S. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Boltak S. V. – assistant

**Annotation.** This article researches the possibility of creating a pseudorandom number sequence generator (PNSG) for stream cryptosystems based on a symmetric neural network. The necessary parameters of the neural network are described, compared with other PNSG generators, and the conclusions about the advantages and disadvantages of such a generator are made.

**Keywords.** Symmetric neural network, stream encryption, stream cryptosystem, key generator, pseudorandom numeric sequence.



УДК 004.4'277

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПА МУЗЫКАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Курьян А.В., Деменковец Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Парамонов А.И. – канд. тех. наук

**Аннотация.** Рассматривается метод определения значения BPM музыкальных композиций с использованием алгоритма дискретного преобразования Фурье и анализа корреляции полученного частотного спектра со спектром реальных нот, воспроизводимых на музыкальных инструментах.

**Ключевые слова.** BPM, дискретное преобразование Фурье, частотно-временной анализ.

Удары в минуту (*Beats per minute, BPM*) в музыке – это показатель, определяющий скорость исполнения или воспроизведения композиции [1]. Для большинства произведений он лежит в диапазоне от 30 до 240. Существует соответствие между диапазонами значений данного показателя и традиционными обозначениями темпа, используемыми музыкантами, такими как граве, лярго, анданте, модерато и т. д.

Большинство имеющихся на данный момент методов определения BPM используют анализ графика зависимости энергии сигнала от времени для нахождения тем или иным способом пиков энергии, принимаемых за единичные биты. Однако потенциально существует возможность добиться большей точности, если принимать во внимание понятие BPM с точки зрения нотной записи.

Как известно, в музыке ноты классифицируются по их относительной длительности на целые, половинные, четвертные и т.д. Значение BPM есть ни что иное как количество четвертных долей нот в одной минуте. Таким образом, для точного аналитического нахождения параметра достаточно иметь нотное представление композиции и соответствие хотя бы одной относительной длительности ее абсолютной длительности в секундах.

В частотном спектре каждой ноте соответствует одна основная или фундаментальная частота, а также несколько обертонов, количество, амплитуда и смещение которых по частоте во многом зависят от музыкального инструмента. Однако в общем случае частоты всех обертонов примерно кратны частоте основного тона [2], что позволяет с некоторой точностью смоделировать частотный спектр для любой из 12 нот в выбранной октаве. После чего поточечное произведение каждого из смоделированных спектров со спектром, полученным в результате разбора композиции, позволит оценить вероятность наличия тех или иных нот в анализируемом интервале времени.

Для разложения исходного сигнала на спектр частот используется алгоритм оконного дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Данный алгоритм позволяет представить сигнал на заданном интервале в виде суммы синусоидальных составляющих вида (1).

$$f(x) = A * \cos(2\pi f_0 x + \varphi_0), \quad (1)$$

где  $A$  - амплитуда;  $f_0$  - частота;  $\varphi_0$  - начальная фаза.

В отличие от обычного дискретного преобразования Фурье, оконное ДПФ вычисляется из произведения исходного сигнала на ограниченном интервале и некоторой оконной функции, предназначенной для уменьшения эффекта растекания ДПФ [9]. В зависимости от конкретной задачи могут использоваться разные виды оконных функций, улучшающие значения одних параметров и ухудшающие значения других, менее существенных в данной задаче.

Однако главной проблемой ДПФ является принцип неопределенности Гейзенберга, в основе которого лежит тот факт, что невозможно точно определить, какая частота присутствует в сигнале в данный момент времени (можно говорить только про диапазон частот), и невозможно определить, в какой точно момент времени частота присутствует в сигнале (можно говорить лишь про период времени) [3]. В связи с этим возникает проблема разрешающей способности.

Поскольку для определения BPM необходимо как высокое разрешение по частоте (для определения наличия тех или иных нот), так и высокое разрешение по времени (для определения абсолютной длительности нот), то в данном методе используется разложение сигнала на частотном спектре в 2 этапа.

На первом этапе осуществляется оконное преобразование Фурье с широким окном, обеспечивающим высокое разрешение по частоте, но низкое по времени. На втором этапе производится ДПФ с узким окном, обеспечивающим высокое разрешение по времени, но низкое по частоте. После чего спектр, полученный преобразованием с окном меньшего размера, состоящий из меньшего количества отсчетов, аппроксимируется многочленом Лагранжа до размерности спектра, полученного ДПФ с окном большего размера. В конце вычисляется поточечное произведение двух

спектров с целью получения максимальных значений в тех точках, где максимальную амплитуду имеют как спектр с большим разрешением по частоте, так и спектр с большим разрешением по времени. Результат вычисления произведения принимается за итоговый спектр, который затем анализируется на возможность наличия тех или иных нот.

В качестве результата предыдущих двух этапов имеется некоторое приближение нотной записи в виде расположения нот разных частот на временной шкале. Однако имея только абсолютную длительность нот, невозможно однозначно определить их относительную длительность, т. к. одной и той же длительности в секундах при разных значениях BPM могут соответствовать несколько относительных длительностей. К счастью, имеются исследования [4], в которых делается попытка вывести среднее процентное соотношение относительных длительностей нот в музыкальных композициях.

Имея это соотношение, можно последовательно сопоставлять абсолютные длительности нот, полученные в результате предыдущих этапов метода, к относительным длительностям, для которых имеются процентные соотношения. На каждом шаге минимальной имеющейся относительной длительности сопоставляется очередное в порядке возрастания абсолютное значение в секундах. Абсолютные длительности, соответствующие последующим относительным длительностям, получаются путем умножения минимальной абсолютной длительности на степень числа 2. При этом ноты с абсолютными длительностями, значения которых оказались в интервале между двумя полученными эталонными значениями, включаются в число нот с относительной длительностью, соответствующей ближайшему абсолютному значению. Затем рассчитываются процентные соотношения количества нот всех имеющихся относительных длительностей к общему количеству нот и оцениваются отклонения полученных значений от средних значений, имеющих в исследовании [4]. Значение абсолютной длительности четвертной ноты на том шаге, где было получено минимальное отклонение, принимается за итоговое, после чего искомое значение BPM вычисляется по формуле:

$$\frac{60 * \text{sampleRate}}{\text{duration} * \text{windowSize}} \quad (2)$$

где *duration* - длительность четвертной ноты, выраженная в окнах дискретного преобразования Фурье; *windowSize* - размер окна ДПФ в отсчетах сигнала; *sampleRate* - частота дискретизации исходного сигнала.

Для тестирования эффективности метода были созданы две выборки, соответствующие двум видам композиций: исполняемым полностью на фортепиано и сгенерированным синтезатором нескольких музыкальных инструментов. В обоих случаях выборка была получена путем выделения звуковой дорожки из видеозаписей, размещенных в открытом доступе на видеохостинге YouTube. Для получения эталонных значений BPM каждая видеозапись была вручную проанализирована с целью точного измерения длительностей четвертных долей нот. С этой целью видеозаписи специально были подобраны таким образом, чтобы начало и конец каждой ноты можно было визуально определить либо по клавиатуре фортепиано, либо по отрезкам, соответствующим нотам в графическом окне синтезатора.

В качестве ближайших аналогов для сравнения были выбраны онлайн-сервисы GetSongbpm [5], Tunebat [6] и Vocalremover [7], а также подключаемая библиотека для языка программирования Scala - scala-audio-file [8]. Результаты сравнительного анализа данных аналогов с рассматриваемым методом представлены на рисунках 1 и 2.

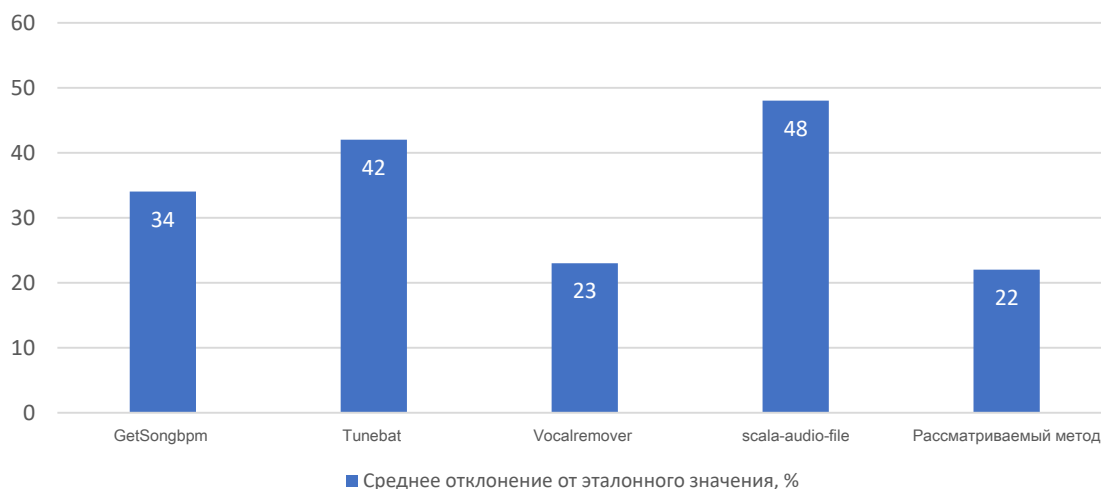


Рисунок 1 – Сравнительные результаты, полученные в результате тестирования рассматриваемого метода и аналогов на выборке из 10 композиций, исполняемых на фортепиано

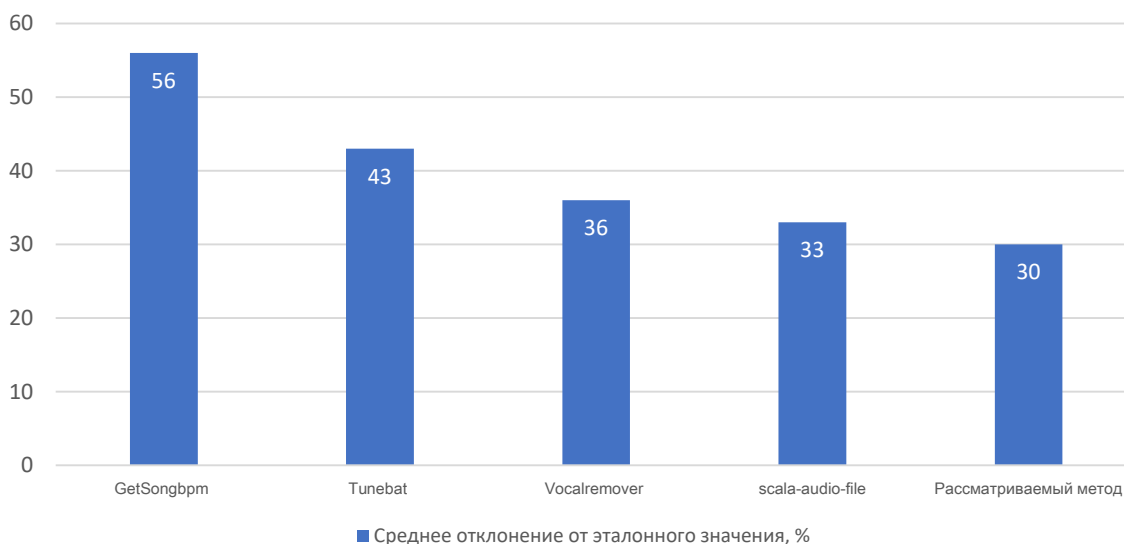


Рисунок 2 – Сравнительные результаты, полученные в результате тестирования рассматриваемого метода и аналогов на выборке из 10 композиций, сгенерированных синтезатором нескольких музыкальных инструментов

На основе полученного сравнения можно сделать вывод, что рассматриваемый метод обеспечивает большую по сравнению с аналогами точность для композиций, включающих партию фортепиано или полностью состоящих из таковой, и сравнимую с аналогами точность для других композиций.

**Список использованных источников:**

1. *Beats per minute, The Free Dictionary by Farlex [Электронные данные]* - Режим доступа: <https://www.thefreedictionary.com/beats+per+minute>. - Дата доступа: 01.04.2021..
2. *Цифровые Синтезаторы Музыкальных Звуков, Audio Electronics [Электронные данные]* - Режим доступа: [https://astersart.net/desktop/synthesators/syntz\\_ms.htm](https://astersart.net/desktop/synthesators/syntz_ms.htm). - Дата доступа: 01.04.2021.
3. *Непрерывное wavelet преобразование, Хабр [Электронные данные]* - Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/103899/>. - Дата доступа: 01.04.2021.
4. *Computer Generation and Perception Evaluation of Music-Emotion Associations, ResearchGate [Электронные данные]* - Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/342081971\\_Computer\\_Generation\\_and\\_Perception\\_Evaluation\\_of\\_Music-Emotion\\_Associations](https://www.researchgate.net/publication/342081971_Computer_Generation_and_Perception_Evaluation_of_Music-Emotion_Associations). - Дата доступа: 01.04.2021.
5. *GetSongbpm [Электронный ресурс]* - Режим доступа: <https://getsongbpm.com/tools/audio>. - Дата доступа: 05.04.2021.
6. *Tunebat [Электронный ресурс]* - Режим доступа: <https://tunebat.com/Analyzer>. - Дата доступа: 05.04.2021.
7. *Vocalremover [Электронный ресурс]* - Режим доступа: <https://vocalremover.org/bpm-finder>. - Дата доступа: 05.04.2021.
8. *mziccard/scala-audio-file, Github [Электронный ресурс]* - Режим доступа: <https://github.com/mziccard/scala-audio-file>. Дата доступа: 05.04.2021.
9. *Функции оконного сглаживания, DSPLIB [Электронные данные]* - Режим доступа: <https://ru.dsplib.org/content/windows/windows.html>. - Дата доступа: 05.04.2021.

UDC 004.4'277

## METHOD FOR DETERMINING THE TEMPO OF A MUSICAL COMPOSITION

*Kuryan A.V., Demenkovets D.V.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Paramonov A.I. – PhD of Computer Science*

**Annotation.** A method for determining the BPM value of musical compositions using the discrete Fourier transform algorithm and analyzing the correlation of the obtained frequency spectrum with the spectrum of real notes played on musical instruments is considered.

**Keywords.** BPM, discrete Fourier transform, time-frequency analysis.

УДК 004.02

## ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ АВТОРА ТЕКСТА

*Труханович И.А., Парамонов А.И.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Парамонов А.И. – кандидат технических наук*

**Аннотация.** В работе приводится описание проблемы идентификации автора текста. Рассматриваются основные задачи, которые возникают в процессе исследования текста, и указаны существующие подходы к их решению. Сформулирована задача дальнейшая задача исследования вопроса определения авторства.

**Ключевые слова.** Идентификация автора текста, классификация текстов, авторский инвариант.

Идентификация автора текста заключается в подтверждении уверенности, что исследуемый текст составлен конкретным автором. Этот процесс основан на изучении других произведений этого автора и сопоставлении его «почерка». Решение задачи определения авторства может быть полезно для выявления наиболее вероятных авторов, а также поиска доказательств в поддержку предположений об авторстве. Его можно применять во многих задачах, таких как определение авторского права, обнаружение плагиата, анализ киберпреступлений и классификация сообщений (отнесение их к заданной категории, например, к спаму) [1]. Проблему идентификации автора текста можно считать междисциплинарной, поскольку для ее решения используются методы и модели когнитивной психологии, лингвистики, искусственного интеллекта и др. Ключевыми вопросами в ней можно обозначить поиск информации и обработку естественно-языковых текстов.

В цифровом пространстве известны нарушения авторских и смежных прав текста, которые выражены в использовании текста другого автора для материальной выгоды или наоборот – попыткой выдать авторство созданного текста за авторство другого человека. Эффективность защиты интеллектуальной собственности в цифровом пространстве определяется способностью противостоять таким нарушениям и угрозам их возникновения. Методы определения авторства позволяют пресечь такие нарушения и установить личность создателя текста [2].

За последние десятилетия мы наблюдаем постоянно растущий объем научных результатов. Такие области исследований, как библиометрия, а также наукометрия, нацелены на измерение и количественную оценку научных результатов. Этот постоянный рост объема научных публикаций создает серьезные проблемы, ведущие к включению идей из области идентификации авторов, для улучшения процессов измерения и анализа. Существуют предложения добавить понятие авторской атрибуции в предварительную обработку анализа научных публикаций, а также работы по отнесению сегментов статей к отдельным авторам. Таким образом, существует дискуссия о неявном определении научного авторства. Например, во многих областях науки предполагается, что первый автор выполнил большую часть (написания) работы, а последний автор внес свои идеи, будучи главой исследовательской группы. Таким образом, эффективность классификации представляет собой количественную оценку информации, содержащейся в стилометрии научной статьи, о числе авторов, участвовавших в ее написании [3].

Сегодня общение по электронной почте или с помощью мессенджеров стало повседневной нормой. Преступники злоупотребляют этими каналами текстовой информации для различных незаконных целей, таких как спам, незаконный оборот наркотиков, фишинг, клевета, травля и др. Некоторые киберпреступления, такие как кражи личных данных, интернет-мошенничество предусматривают раскрытие истинную личность автора, чтобы виновные могли быть наказаны в суде путем сбора убедительных доказательств против них. Криминалистический анализ может сыграть здесь решающую роль, позволяя судебному следователю собирать доказательства путем изучения подозрительных учетных записей электронной почты и социальных сетей. В этом контексте автоматическая идентификация авторства может помочь судебному следователю в расследовании киберпреступлений с использованием маркеров стиля, особенностей структуры и содержания.

В качестве «почерка» автора принято использовать авторский инвариант. Это количественная характеристика литературных текстов или некий параметр, который однозначно характеризует своим поведением произведения одного автора или небольшого числа "близких авторов", и принимает существенно разные значения для произведений разных групп авторов [4].

Решение данной проблемы можно разбить на следующие задачи:

1. Выбор модели представления текстов.
2. Выбор признаков для формирования авторского инварианта.
3. Выбор метода классификации с подходящими настройками.
4. Определение автора текста из множества предполагаемых авторов.

Каждая из задач на сегодня имеет уже ряд предполагаемых решений, которые используют различные подходы и имеют определенные результаты.

Для представления текстов в информационной системе можно использовать модель “мешок слов”, N-граммную и сглаживающую модели. Модель “мешок слов” представляется как неупорядоченная коллекция всех слов (или признаков слов), из которых состоит текст. В N-граммной модели текст понимается как последовательность цепочек из n элементов. Сглаживающие модели помогают справиться с проблемной разреженных данных в N-граммном представлении с помощью специальных техник сглаживания. На практике для модели “мешок слов” используются экспертные словари ограниченного объема. В отличие N-грамм, данная модель не учитывает порядок компонентов текста. Кроме того, несмотря на некоторую относительную примитивность использования N-грамм для отображения авторского стиля и текста, на практике они являются эффективной описательной моделью, применимой ко многим языкам, а также в других областях. В частности, N-граммы очень хорошо показывают себя при решении задач криминалистики. Из недостатков можно отметить, что такое представление не может использоваться для описания разнесенных структур.

В качестве признаков, использующиеся для формирования авторского варианта, используются лексические, морфологические, синтаксические, структурные, контентно-специфические и другие.

К лексическим признакам относятся характеристики символов и слов, лексикон автора, маркеры стилей, распределение длин слов и др. Лексические признаки являются достаточно часто используемыми, поскольку одним из самых несложных методов засвидетельствовать или опровергнуть авторство текста представляется применение признаков отличительных особенностей словаря автора. Очевидно, что применение конкретных лексических единиц автором может быть весомым признаком его индивидуальности. Человек, обладающий состоятельным лексическим запасом, высказывает свои мысли, в большинстве случаев, больше емкими словами и фразами, преимущественно релевантными описываемой ситуации, его речь более определена и ярка. Люди с незначительным лексиконом вынуждены довольствоваться использованием одних и тех же слов, поэтому их речь является более примитивной. Применение лексических признаков сталкивается с такими трудностями, как то, что характерные особенности у текста и автора могут отсутствовать. Кроме того, в случае наличия выраженные особенности, существует большая вероятность их подмены. Также определение отличительных черт авторского языка сопряжено с большой долей субъективизма.

К морфологическим признакам относят исследования расположения частей речи и полного набора грамматических классов. Недостаток подходов, основанных на словаре, заключается и в том, что они не учитывают словоизменение. Автор, персональной особенностью которого представляется использование определенного слова, как правило, применяет его различные формы. В большинстве случаев, образование новых слов происходит с помощью морфем, основа же остается постоянной.

Признаки, связанные со способами образования и использования словосочетаний и предложений, относят к группе синтаксических признаков. Такие признаки могут указывать на авторство, поскольку синтаксические конструкции образуются бессознательно во время создания текста, аналогично происходящему в устной речи, и не контролируются автором преднамеренно. Применение синтаксических признаков сталкивается с такими трудностями, как определение сложности, распространенности и состава предложения. Наиболее существенной проблемой является само проведение синтаксического анализа и возникающие в процессе его выполнения ошибки. С проблемами приходится встречаться начиная с определения границ предложения из-за неоднозначностей, существующих в языке. Неполнота применяемого морфологического словаря, омонимия и отсутствие эффективных алгоритмов морфологического анализа приводят к ряду сопутствующих сложностей. В конечном итоге становится невозможным определение устойчивых синтаксических конструкций.

Структурные признаки – это форматирование, цветовая гамма, оформление элементов текста и т.д. Структурные признаки могут указывать на авторство, поскольку нередко носят в себе отпечаток авторский представлений. К важным признакам относятся фрагменты текста (абзацы, главы), заголовки и стиль, цитирования различных источников. Характеристики для печатных документов могут включать пробелы, табуляции, отступы. Применение структурных признаков сталкивается с такими трудностями, как: последствия коррекции разметки сторонними людьми перед публикацией; последствия конвертирования документа из одного формата в другой; степень знания авторов методов форматирования.

К контентно-специфическим признакам относят тематические ключевые слова и фразы. Главной идеей, на которой базируются методы на основе таких слов и фраз, состоит в том, что если слово часто встречается в текстах одного класса, но редко — в текстах другого, то оно, скорее всего, имеет более весомое значение для разделения двух классов, чем слово, встречающееся в малом количестве текстов, но во многих классах. Применение контентно-специфических признаков сталкивается с такой трудностью, как эффективность только в рамках определенной тематики.

Характеристики текстового документа могут быть сведены в схему (рисунок 1).



Рисунок 1 – Характеристики текстового документа

Эксперименты на различных объемах и жанрах показывают, что в настоящее время нейронные сети и метод опорных векторов при должном настройке и выборе входных параметров, являются наиболее перспективными. Но и у них есть свои недостатки. Нейронные сети требуют времени на обучение и повышенного внимания при работе с большим признаковым пространством. Временные затраты на подбор топологии сети и обучение можно сократить с помощью методов автоматического подбора топологии. Однако в итоге это сказывается на точности результатов. В метод опорных векторов отсутствуют такие проблемы, но при этом он чувствителен к шумам в исходных данных [5].

Исследования в рамках данной работы нацелены на рассмотрение эффективности, производительности и применимости означенных методов для идентификации авторства текстов. Уверенность в авторском инварианте и соблюдение требований к точности выходных данных в конечном счете предопределяет возможность определение авторства текста и формирование окончательного решения об самом авторе.

**Список использованных источников:**

1. Орлов, Ю.Н. Методы статистического анализа литературных текстов / Ю.Н. Орлов, К.П. Осминин. – М. : URSS, 2012. – 326 с.
2. Authorship Identification of a Russian-Language Text Using Support Vector Machine and Deep Neural Networks [Electronic resource] : MDPI. – Mode of access: <https://www.mdpi.com/1999-5903/13/1/3/htm>. – Date of access: 02.04.2021.
3. Authorship identification of documents with high content similarity [Electronic resource] : Springer. – Mode of access: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-018-2661-6>. – Date of access: 03.04.2021.
4. Карта слов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kartaslov.ru/карта-знаний/Авторский+инвариант>. – Дата доступа: 03.04.2021.
5. Wallace: Author Detection via Recurrent Neural Networks [Electronic resource] : Stanford University. – Mode of access: <https://cs224d.stanford.edu/reports/YaoLeon.pdf>. – Date of access: 03.04.2

UDC 004.02

## ABOUT THE PROBLEM OF TEXT AUTHOR IDENTIFICATION

*Trukhanovich I.A., Paramonov A.I.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Paramonov A.I. – PhD of Computer Sciences*

**Annotation.** The paper describes the problem of text author identification. The main tasks that arise in the process of studying the text are considered, and the existing approaches to their solution are indicated. The task of further investigation of the problem is formulated.

**Keywords.** Text author identification, texts classification, authorial invariant.

**СЕКЦИЯ «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА»**

УДК

## ДОМИНИРУЮЩИЕ И ОКРЕСТНОСТНЫЕ МНОЖЕСТВА, ВЕРШИННЫЕ ПОКРЫТИЯ В ГРАФАХ

Кузьмин Е.В., студент гр. 024404

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Примичева З.Н. – канд. физ.-мат. наук

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются доминирующие и окрестностные множества, вершинные покрытия графов и их свойства, выводятся формулы для подсчета числа доминирования, окрестностного числа, числа вершинного покрытия для различных видов графов, предоставляются алгоритмы для построения графов с заданными условиями, касающимися изучаемых множеств графа.

**Ключевые слова.** Теория графов, доминирующие множества, окрестностные множества, вершинные покрытия.

**Введение.** Пусть  $G$  – произвольный граф. Множество вершин  $D \subseteq V(G)$  называется доминирующим, если каждая вершина из  $V(G) \setminus D$  смежна с некоторой вершиной из  $D$ . Доминирующее множество графа называется минимальным, если оно не содержит никакого другого доминирующего множества этого графа. Наименьшая из мощностей доминирующих множеств графа  $G$  называется числом доминирования графа  $G$  и обозначается через  $\gamma(G)$ .

Доминирующее множество  $D$  графа  $G$  называется окрестностным, если для каждого ребра  $\{u, v\} \in E(G - D)$  в  $D$  найдётся вершина, смежная одновременно с обоими его концами  $u$  и  $v$ . Окрестностное множество графа называется минимальным, если оно не содержит никакого другого окрестностного множества этого графа. Наименьшая из мощностей окрестностных множеств графа  $G$  называется окрестностным числом графа  $G$  и обозначается через  $nb(G)$ .

Множество вершин  $X \subseteq V(G)$  называется вершинным покрытием графа  $G$ , если каждое ребро из  $E(G)$  инцидентно хотя бы одной вершине из  $X$ . Наименьшая из мощностей вершинных покрытий графа  $G$  называется числом вершинного покрытия графа  $G$  и обозначается через  $\beta(G)$ . [1]

Введем определение совершенно окрестностного графа. Граф  $G$  назовём совершенным окрестностным, если для каждого его порождённого подграфа  $H$  без изолированных вершин выполняется равенство

$$nb(H) = \beta(H). \quad (1)$$

В данной статье представлены исследования доминирующих и окрестностных множеств, вершинных покрытий в графах.

### Пункты исследования.

1. Вычислить  $\gamma(G)$ ,  $nb(G)$  и  $\beta(G)$  для следующих графов: полный граф  $K_n$ , простая цепь  $P_n$ , простой цикл  $C_n$ , колесо  $W_n$ , полный двудольный граф  $K_{n,m}$ , граф  $n$ -мерного куба  $Q_n$ .

2. Найти граф (бесконечную серию графов), для которых минимальное окрестностное множество не является наименьшим (по мощности).

3. Доказать, что для множества  $D \subseteq V(G)$  следующие утверждения эквивалентны: (а)  $D$  – окрестностное множество графа  $G$ ; (б) граф  $G$  является объединением подграфов, порождённых замкнутыми окружениями вершин из  $D$ , т.е.

$$G = \bigcup_{u \in D} G(N[u]). \quad (2)$$

4. Доказать, что для любого графа  $G$  без изолированных вершин выполняются неравенства

$$\gamma(G) \leq nb(G) \leq \beta(G). \quad (3)$$

5. Дать верхнюю и нижнюю оценку окрестностного числа графа  $G$  порядка  $p$  с максимальной степенью вершин  $\Delta = \Delta(G)$ .

6. Найти необходимое и достаточное условие для графа быть совершенным окрестностным.

7. Найти алгоритм построения графа  $G$  для любых целых чисел  $a, b, c$ , таких, что

$$2 \leq a \leq b \leq c, \quad (4)$$

у которого

$$\gamma(G) = a, nb(G) = b, \beta(G) = c. \quad (5)$$




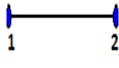
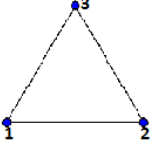
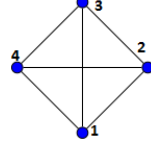
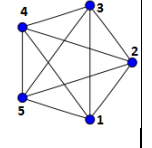
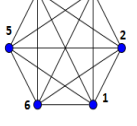
8. Найти алгоритм построения графа  $G$  для любых положительных целых чисел  $r, s$  и  $t$ , таких, что

$$r \leq s \leq t - r, \tag{6}$$

у которого порядок равен  $t$ ,  $nb(G) = r$  и  $G$  имеет минимальное окрестностное множество мощности  $s$ .

**Полный граф.** Найдем числа доминирования, окрестностные числа и числа вершинного покрытия для полных графов порядка  $n \leq 6$ . Результаты исследования занесем в таблицу 1.

Таблица 1 – значения числа доминирования, окрестностного числа и числа вершинного покрытия для полного графа

						
Вершины наименьшего доминирующего множества	1	1	1	1	1	1
$\gamma(K_n)$	1	1	1	1	1	1
Вершины наименьшего окрестностного множества	1	1	1	1	1	1
$nb(K_n)$	1	1	1	1	1	1
Вершины наименьшего вершинного покрытия	1	1	1, 2	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5
$\beta(K_n)$	1	1	2	3	4	5


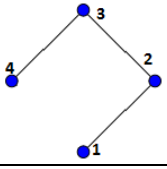
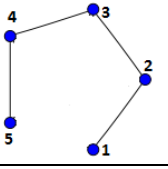
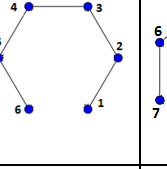
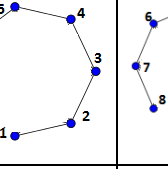
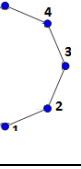
Из результатов таблицы был сделан вывод, что для полных графов число доминирования и окрестностное число равно 1, а число вершинного покрытия на 1 меньше порядка графа.

Действительно, в полном графе любая вершина смежна с остальными, а значит, число доминирования равно 1. Также в полном графе любая вершина является концом каждого из ребер, а значит, не существует ребра, оба конца которого с ней не смежны, а значит, окрестностное число также равно 1.

Доказательство того, что число вершинного покрытия на 1 меньше порядка графа, проведем методом от противного. Предположим, что число вершинного покрытия на 2 меньше порядка графа, то есть существует две вершины полного графа, не принадлежащие вершинному покрытию, а значит, существует ребро (с концами в этих вершинах), оба конца которого не принадлежат вершинному покрытию. Получили противоречие с определением вершинного покрытия. Значит, наше предположение неверно, число вершинного покрытия на 1 меньше порядка графа.

**Простая цепь.** Найдем числа доминирования, окрестностные числа и числа вершинного покрытия для простых цепей порядка от 3 до 8. Результаты исследования занесем в таблицу 2:

Таблица 2 – значения числа доминирования, окрестностного числа и числа вершинного покрытия для простой цепи

						
Вершины наименьшего доминирующего множества	2	2,4	2,5	2,5	2,5,7	2,5,8
$\gamma(P_n)$	1	2	2	2	3	3
Вершины наименьшего окрестностного множества	2	2,4	2,4	2,4,6	2,4,6	2,4,6,8

$nb(P_n)$	1	2	2	3	3	4
Вершины наименьшего вершинного покрытия	2	2,4	2,4	2,4,6	2,4,6	2,4,6,8
$\beta(P_n)$	1	2	2	3	3	4

Проанализировав результаты таблицы, было замечено, что вершины наименьшего доминирующего множества (кроме последней) расположены через 2 вершины простой цепи, начиная со второй вершины. А значит,

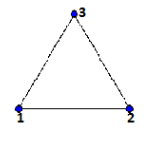
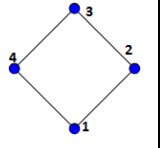
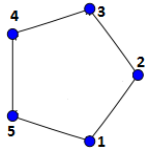
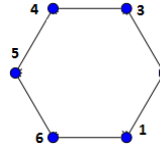
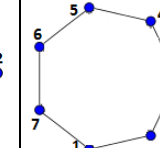
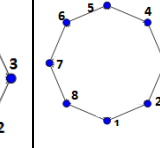
$$\gamma(P_n) = \left\lfloor \frac{n+2}{3} \right\rfloor. \quad (7)$$

Также было замечено, что вершины наименьшего окрестностного множества и вершины наименьшего вершинного покрытия совпадают и расположены через одну, начиная со второй вершины. Значит,

$$nb(P_n) = \beta(P_n) = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor. \quad (8)$$

**Простой цикл.** Найдем числа доминирования, окрестностные числа и числа вершинного покрытия для простых циклов порядка от 3 до 8. Результаты исследования занесем в таблицу 3:

Таблица 3 – значения числа доминирования, окрестностного числа и числа вершинного покрытия для простого цикла

						
Вершины наименьшего доминирующего множества	1	1,4	1,4	1,4	1,4,7	1,4,7
$\gamma(C_n)$	1	2	2	2	3	3
Вершины наименьшего окрестностного множества	1	1,3	1,3,5	1,3,5	1,3,5,7	1,3,5,7
$nb(C_n)$	1	2	3	3	4	4
Вершины наименьшего вершинного покрытия	1,3	1,3	1,3,5	1,3,5	1,3,5,7	1,3,5,7
$\beta(C_n)$	2	2	3	3	4	4

Проанализировав результаты таблицы, было получено, что минимальные доминирующие множества простых циклов совпадают с минимальными доминирующими множествами простых цепей того же порядка. Значит,

$$\gamma(C_n) = \left\lfloor \frac{n+2}{3} \right\rfloor. \quad (9)$$

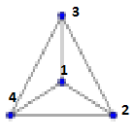
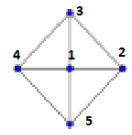
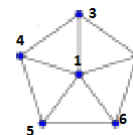
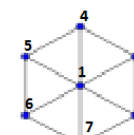
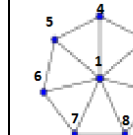
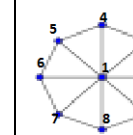
Также было замечено, что если  $n > 3$ , то вершины наименьшего окрестностного множества и вершины наименьшего вершинного покрытия совпадают и расположены через одну, начиная с первой вершины. Значит,

$$nb(C_n) = \beta(C_n) = \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor. \quad (10)$$

Для цикла порядка 3 справедливы значения полного графа порядка 3.

**Граф-колесо.** Найдем числа доминирования, окрестностные числа и числа вершинного покрытия для колеса порядка от 4 до 9. Результаты исследования занесем в таблицу 4:

Таблица 4 – значения числа доминирования, окрестностного числа и числа вершинного покрытия для колеса

						
Вершины наименьшего доминирующего множества	1	1	1	1	1	1
$\gamma(W_n)$	1	1	1	1	1	1
Вершины наименьшего окрестностного множества	1	1	1	1	1	1
$nb(W_n)$	1	1	1	1	1	1
Вершины наименьшего вершинного покрытия	1,2,4	1,2,4	1,2,4,6	1,2,4,6	1,2,4,6,8	1,2,4,6,8
$\beta(W_n)$	3	3	4	4	5	5

Проанализировав результаты таблицы, было замечено, что одна вершина колеса смежна со всеми остальными. Также эта вершина смежна с концами всех ребер. Значит,

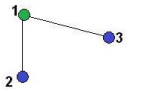
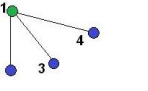
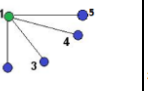
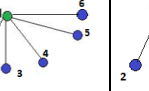
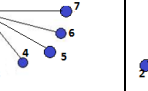
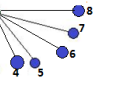
$$\gamma(W_n) = nb(W_n) = 1. \quad (11)$$

Колесо состоит из простого цикла порядка  $n - 1$  и одной вершины, смежной с остальными. Значит, число вершинного покрытия колеса  $n$ -го порядка на 1 больше числа вершинного покрытия простого цикла порядка  $n - 1$ . Таким образом,

$$\beta(W_n) = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1. \quad (12)$$

**Полный двудольный граф.** Найдем числа доминирования, окрестностные числа и числа вершинного покрытия для полного двудольного графа с долями размера  $m = 1$  на  $2 \leq n \leq 7$ . Результаты исследования занесем в таблицу 5:

Таблица 5 – значения числа доминирования, окрестностного числа и числа вершинного покрытия для полного двудольного графа

						
Вершины наименьшего доминирующего множества	1	1	1	1	1	1
$\gamma(K_{1,n})$	1	1	1	1	1	1
Вершины наименьшего окрестностного множества	1	1	1	1	1	1
$nb(K_{1,n})$	1	1	1	1	1	1
Вершины наименьшего вершинного покрытия	1	1	1	1	1	1
$\beta(K_{1,n})$	1	1	1	1	1	1

Проанализировав результаты таблицы, было получено, что числа доминирования, окрестностные числа и числа вершинного покрытия равны  $m = 1$ .

Выдвинем гипотезу, что в случае полного двудольного графа с долями размера  $m$  на  $n$ ,  $m \leq n$ , число доминирования, окрестностное число и число вершинного покрытия равны  $m$ . Действительно, каждое ребро полного двудольного графа одним из концов имеет вершину из доли  $m$ , при этом никакие две вершины из доли  $m$  являются смежными. Таким образом, для полного двудольного графа с долями размера  $m$  на  $n$ ,  $m \leq n$ ,

$$(K_{m,n}) = nb(K_{m,n}) = \beta(K_{m,n}) = m. \quad (13)$$

**Граф  $n$ -мерного куба  $Q_n$ .** Граф 0-мерного куба  $Q_0$  состоит из одной вершины, для него  $\gamma(Q_0) = nb(Q_0) = \beta(Q_0) = 1$ .

Граф 1-мерного куба  $Q_1$  является полным графом порядка 2, для него  $\gamma(Q_1) = nb(Q_1) = \beta(Q_1) = 1$ .

Граф 2-мерного куба  $Q_2$  является простым циклом порядка 4, для него  $\gamma(Q_2) = 2$ ,  $nb(Q_2) = \beta(Q_2) = 2$ .

Рассмотрим граф 3-мерного куба  $Q_3$ , представленный на рисунке 1:

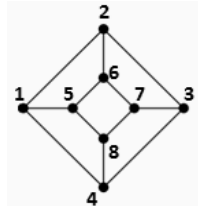


Рисунок 1 – изображение графа 3-мерного куба  $Q_3$

Минимальное доминирующее множество с наименьшей мощностью, минимальное окрестностное множество с наименьшей мощностью и вершинное покрытие с наименьшей мощностью состоят из вершин 1,3,6,8, т.е.  $\gamma(Q_3) = nb(Q_3) = \beta(Q_3) = 4$ .

Рассмотрим граф 4-мерного куба  $Q_4$ , представленного на рисунке 2:

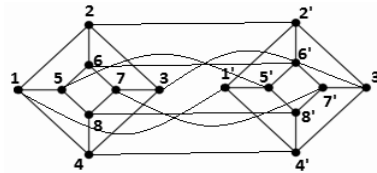


Рисунок 2 – изображение графа 4-мерного куба  $Q_4$

Минимальное доминирующее множество с наименьшей мощностью, минимальное окрестностное множество с наименьшей мощностью и вершинное покрытие с наименьшей мощностью состоят из вершин 1, 3, 6, 8, 2', 4', 5', 7', т.е.  $\gamma(Q_4) = nb(Q_4) = \beta(Q_4) = 8$ .

Из данных, полученных выше, можно получить следующий вывод: начиная с  $Q_1$ , число доминирования, окрестностное число и число вершинного покрытия каждого последующего графа гиперкуба в два раза больше, чем у предыдущего. Действительно, каждый последующий граф строится несвязным объединением с добавлением рёбер от каждой вершины копии предыдущего гиперкуба до соответствующей вершины последующего, а значит, минимальное окрестностное множество  $Q_n$  с наименьшей мощностью будет образовано двумя окрестностными множествами  $Q_{n-1}$  с наименьшей мощностью (с той поправкой, что одно из множеств не будет совпадать с другим, а будут соответственными). Таким образом,

$$\gamma(Q_n) = nb(Q_n) = \beta(Q_n) = 2nb(Q_{n-1}). \quad (14)$$

**Свойства доминирующих множеств, окрестностных множеств и вершинных покрытий.**

1. Покажем, что возможно построить бесконечную серию графов, у которых существует минимальное окрестностное множество, которое не является наименьшим по мощности. Рассмотрим граф колесо порядка 5, представленный на рисунке 3. Так как он является объединением простого цикла порядка 4 и графа-звезды порядка 3, то его минимальными окрестностными множествами будут являться множество, состоящее из вершины 1 и множество, состоящее из вершин 2, 4:

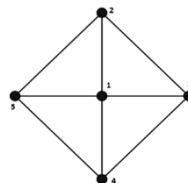


Рисунок 3 – граф-колесо порядка 3

Таким образом, минимальное окрестностное множество не является наименьшим (по мощности). Данное утверждение будет справедливо для любого графа-колеса порядка выше 4, а значит, может быть составлен бесконечный ряд таких графов.

2. Докажем, что для множества  $D \subseteq V(G)$  следующие утверждения эквивалентны: (а)  $D$  – окрестностное множество графа  $G$ ; (б) граф  $G$  является объединением подграфов, порождённых замкнутыми окружениями вершин из  $D$ , т.е. выполняется (2).

Т.к. окрестностное множество является доминирующим, то все вершины из  $E(G-D)$  смежны с какой-либо вершиной из  $D$ , а значит, принадлежат замкнутому окружению этой вершины. Пусть существует ребро  $\{u, v\}$ , оба конца которого не принадлежат множеству  $D$ . Так как  $D$  – окрестностное множество графа  $G$ , то концы этого ребра смежны с какой-либо вершиной из  $D$ . Значит, каждое ребро графа  $G$  принадлежит подграфу, порожденному замкнутым окружением какой-либо вершины из  $D$ . Таким образом, граф  $G$  является объединением подграфов, порожденных замкнутыми окружениями вершин из  $D$ .

Рассмотрим обратную ситуацию. Пусть граф  $G$  является объединением подграфов, порожденных замкнутыми окружениями вершин из  $D$ . Значит, каждое ребро из  $V(G-D)$  принадлежит подграфу, порожденному замкнутым окружением вершины из  $D$ . Значит, концы всех ребер из  $E(G-D)$  смежны с какой-либо вершиной из  $D$  либо совпадают с этой вершиной, а значит,  $D$  – окрестностное множество графа  $G$ .

3. Докажем, что для любого графа  $G$  без изолированных вершин выполняются неравенства (3).

Так как по определению окрестностное множество является доминирующим, то очевидно, что  $\gamma(G) \leq nb(G)$ . Так как хотя бы одна вершина каждого ребра графа  $G$  принадлежит вершинному покрытию, то концы всех ребер графа либо принадлежат вершинному покрытию, либо смежны с какой-нибудь вершиной вершинного покрытия, то есть любое вершинное покрытие графа без изолированных вершин является доминирующим множеством. Так как не существует ребер, оба конца которых не принадлежат вершинному покрытию, то любое вершинное покрытие графа без изолированных вершин является окрестностным множеством. А значит,  $nb(G) \leq \beta(G)$ .

4. Найдем верхнюю и нижнюю оценку окрестностного числа графа  $G$  порядка  $p$  с максимальной степенью вершин  $\Delta = \Delta(G)$ .

Объединение вершин наименьшего окрестностного множества и вершин, смежных с ними, дает множество всех вершин графа  $G$ . Поэтому

$$p \leq (d(u_1) + 1) + (d(u_2) + 1) + \dots + (d(u_{nb}) + 1) \leq (\Delta(G)+1) + (\Delta(G)+1) + \dots + (\Delta(G)+1) = nb(G) \cdot (\Delta(G)+1), \quad (15)$$

где  $d(u_1)$  – степень вершины  $u_1$  наименьшего окрестностного множества.

Значит,

$$\left\lfloor \frac{p}{1+\Delta} \right\rfloor \leq nb(G). \quad (16)$$

Пусть степень вершины  $\{v\}$  равна  $\Delta$ . Если эта вершина входит в наименьшее окрестностное множество, то вершины, смежные с ней, в это множество не входят. Значит,

$$nb(G) \leq p - \Delta. \quad (17)$$

Таким образом, справедливы следующие неравенства:

$$\left\lfloor \frac{p}{1+\Delta} \right\rfloor \leq nb(G) \leq p - \Delta. \quad (18)$$

5. Составим необходимые и достаточные условия для того, чтобы граф был совершенным окрестностным:

1)  $nb(G) = \beta(G)$ , так как один из подграфов состоит из всех вершин графа;

2) граф не является объединением полного графа порядка больше 2 и любого другого графа, так как в данном случае один из подграфов будет полным графом, и тогда  $nb(H_n) = 1$ ,  $\beta(H_n) = n - 1$ , а несколько подграфов будут включать в себя полный граф. Так же из-за этого становится невозможным наличие подграфа, который был бы колесом, т.к. это бы означало, что существует подграф, являющийся полным графом порядка 3.

В остальных случаях полученные подграфы будут разбиваться на простые цепи, циклы, звёзды и двудольные графы, а также их объединения, для которых равенство окрестностного числа и числа вершинного покрытия выполняется.

6. Алгоритм построения связного графа  $G$ , для которого выполняются (4) и (5), следующий: построим  $a$  графов-звёзд порядка  $2c + b$  (данный порядок является достаточным, но не минимальным) и соединим центры звёзд между собой. Таким образом,  $\gamma(G) = a$ . Далее, пронумеруем вершины первых двух звёзд от 1 до  $b - a$ , не учитывая центр, и соединим соответствующие вершины, из-за чего  $nb(G) = a + b - a = b$ . Затем мы в первой звезде соединяем между собой вершины  $2c + b$  и  $2c + b - 1$ ,  $2c + b - 2$  и  $2c + b - 3, \dots, c + 2b + 1$  и  $c + 2b$ , таким образом получая  $c - b$  рёбер. Возможны

случаи, когда остаются лишние вершины, но на решение это влиять не будет. Таким образом, граф построен и условия (4) и (5) были выполнены. Общий вид графа приведен на рисунке 4.

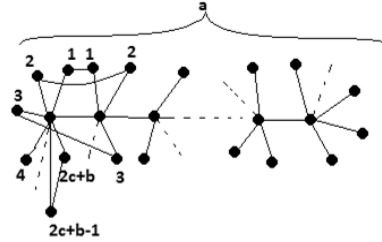


Рисунок 4 – пример построенного по алгоритму графа

7. Алгоритм построения графа  $G$ , для которого выполняется (6) и порядка  $t$ , у которого  $nb(G) = r$  и  $G$  имеет минимальное окрестностное множество мощности  $s$  следующий: поставим  $t$  вершин, пронумеруем несколько от 1 до  $r$ , затем от  $r + 1$  до  $r + (s - r + 1) = s + 1$  и соединим эти вершины с вершиной 1. Оставшиеся пронумерованные вершины соединяем с пронумерованными от 2 до  $r$  в любом порядке. Таким образом, порядок графа  $G$  равен  $t$ ,  $nb(G) = r$  и в графе существует минимальное окрестностное множество мощности  $s$ , образованное вершинами  $2, 3, 4, \dots, r, r + 1, r + 2, \dots, s + 1$ . Общий вид графа, построенного графа по данному алгоритму, представлен на рисунке 5.

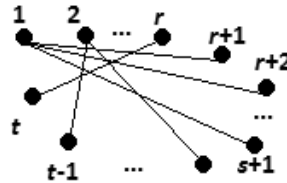


Рисунок 5 – пример построенного по алгоритму графа

**Выводы.** При исследовании данной задачи были получены следующие основные результаты:

1. Найдены значения числа  $\gamma(G)$ ,  $nb(G)$  и  $\beta(G)$  для полного графа  $K_n$ , простой цепи  $P_n$ , простого цикла  $C_n$ , колеса  $W_n$ , двудольного графа  $K_{n,m}$ , графа  $n$ -мерного куба  $Q_n$ .
2. Приведен пример графа, у которого существует минимальное окрестностное множество, которое не является наименьшим по мощности и приведена бесконечная серия таких графов.
3. Доказано, что для множества  $D \subseteq V(G)$  следующие утверждения эквивалентны: (а)  $D$  – окрестностное множество графа  $G$ ; (б) граф  $G$  является объединением подграфов, порождённых замкнутыми окружениями вершин из  $D$ .
4. Доказано, что для любого графа  $G$  без изолированных вершин выполняются неравенства (4).
5. Найдены верхняя и нижняя оценка окрестностного числа графа  $G$  порядка  $p$  с максимальной степенью вершин  $\Delta = \Delta(G)$  (18).
6. Найдены необходимые и достаточные условия для того, чтобы граф был совершенным окрестностным.
7. Найден алгоритм построения связного графа  $G$  для условий (4) и (5).
8. Найден алгоритм построения графа  $G$  порядка  $t$ , у которого  $nb(G) = r$  и  $G$  имеет минимальное окрестностное множество мощности  $s$  для условия (6).

**Список использованных источников:**

1. Мельников О.И. Теория графов в занимательных задачах. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 232 с.

UDC

## DOMINANT AND NEIGHBORHOOD SETS, VERTEX COVERS OF GRAPHS

Kuzmin E. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus

Primicheva Z.N. – PhD in Physics and Mathematics

**Annotation.** The article discusses dominant and neighborhood sets, vertex covers of graphs and their properties, deduces formulae for calculating the dominance number, neighborhood number, and vertex cover number for various types of graphs, and provides algorithms for constructing graphs with specified conditions concerning the studied graph sets.

**Keywords.** Graph theory, dominant set, neighborhood set, vertex cover.

**СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ»**

УДК 004.932.2, 004.93'14

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Куприянова Д.В., аспирант*

*Фролов И.И., канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ*

*Перцев Д.Ю., канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

Фролов И.И. – канд. техн. наук, доцент

**Аннотация.** Обобщены сведения по способам классификации спутниковых изображений, сделан их сравнительный анализ для последующего практического применения.

**Ключевые слова.** Спутниковые снимки, алгоритмы классификации объектов.

### **Введение.**

Системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) нашли широкое применение в различных областях жизнедеятельности человека:

- картография;
- метеорология;
- сельское хозяйство и другие.

Одной из проблем применения систем ДЗЗ является создание программного обеспечения, которое принимая на вход необработанные данные, автоматически выявляет кластеры объектов, затем их классифицирует и, в соответствии с решаемой задачей, «принимает» решение, что делать дальше (например, программное обеспечение фиксирует постоянное уменьшение лесного массива и, соответственно, об этом необходимо уведомить пользователя).

### **Алгоритмы классификации объектов на данных ДЗЗ**

Несмотря на множество использующих сенсоров с различными техническими характеристиками, фиксируемой спектральной областью, подходы к классификации объектов в большинстве случаев сводится к применению одного из следующих методов [1] (рисунок 1):

- методы на основе сопоставления с шаблоном (англ., template matching-based methods) [2-9];
- методы, основанные на знаниях (англ., knowledge-based methods) [10-12];
- анализ изображений на основе объектов (англ., OBIA-based methods) [13-15];
- методы на основе машинного обучения (англ., machine learning-based methods), в т.ч. методы на основе глубоких нейронных сетей (англ., deep-learning neural network methods) [16-23].

*Методы на основе сопоставления с шаблоном* являются одним из простейших и старых методов, включающих два шага:

- создание шаблона для каждого объекта, который необходимо распознать;
- оценка схожести шаблона с изображением с учетом всех возможных аффинных преобразований. Чаще всего в качестве оценки схожести упоминаются следующие метрики: сумма абсолютных разностей (SAD), сумма квадратов разностей (SSD), нормализованная взаимная корреляция (NCC) и евклидово расстояние (ED).

*Методы, основанные на знаниях.* Основной сложностью является формирование знаний и правил об объекте, в соответствии с которыми в дальнейшем будет определяться, о каком объекте идет речь. В целом, анализ статей показывает 2 основных подхода к формированию знаний:

- знания о геометрической форме и радиометрических свойствах;
- знания о контексте (например, отбрасывание тени от высоких объектов).

*Анализ изображений на основе объектов* – один из подходов, разработанный для преодоления ограничений подходов, основанных на анализе классических изображений, и применении знаний о спектральной, текстурной и контекстной информации (объектах).

Развитие *методов машинного обучения* и, особенно, развитие классификаторов и способов представления признаков привело к существенному прогрессу в области детекции объектов на спутниковых снимках.

*Методы на основе глубоких нейронных сетей* нашли широкое применение при обработке естественных фотографий и видеопотока и являются одними из наиболее перспективных. Однако существенной проблемой в данной области является найти качественно подготовленный достаточно большой тестовый набор для обучения глубокой нейронной сети.



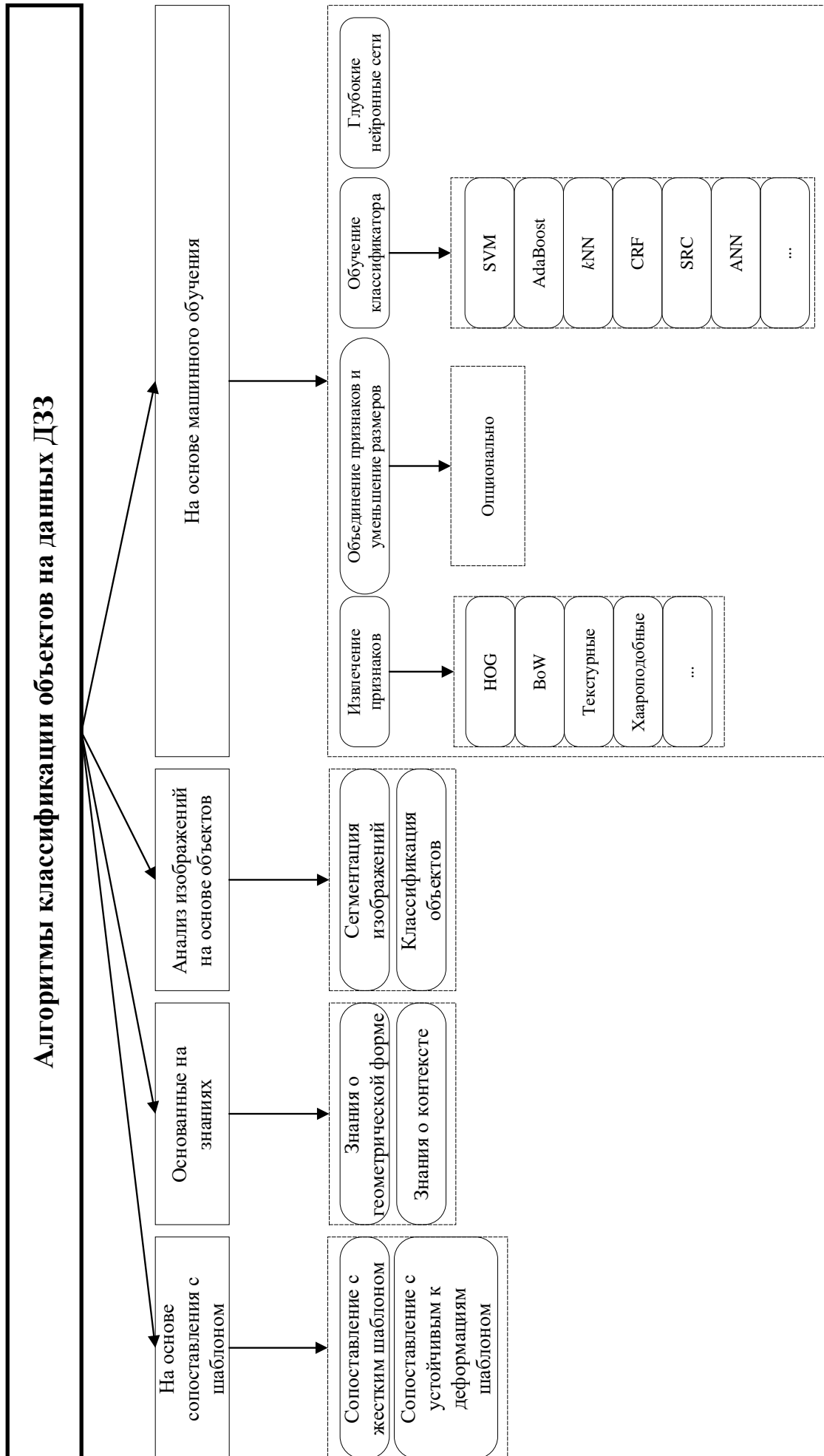


Рисунок 1 – Алгоритмы классификации объектов на данных ДЗЗ

## Заключение

Рассмотрены и классифицированы разные подходы к определению и классификации объектов на спутниковых снимках Земной поверхности, выявлены их достоинства и недостатки. На основе полученных сведений можно сделать вывод, что подходы с применением алгоритмов машинного обучения, а также глубокие нейронные сети несмотря на некоторые недостатки по состоянию на 2021 год являются наиболее перспективными для последующего применения на практике.

### Список использованных источников:

1. Cheng, G. A survey on object detection in optical remote sensing images / G. Cheng, Junwei Han // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2016. – Volume 117. – P.11-28.
2. Stankov, K. Detection of Buildings in Multispectral Very High Spatial Resolution Images Using the Percentage Occupancy Hit-or-Miss Transform / K. Stankov, Dong-Chen He // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2014. – Volume 7. – Issue 10. – P. 4069 - 4080. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2308301.
3. Weber, J. Spatial and spectral morphological template matching / J. Weber, S. Lefèvreb // *Image and Vision Computing*. – 2012. – Volume 30. – Issue 12. – P. 934-945.
4. Chaudhuri, D. Semi-Automated Road Detection From High Resolution Satellite Images by Directional Morphological Enhancement and Segmentation Techniques / Chaudhuri D., Kushwaha N., Samal A. // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2012. – Volume 5. – Issue 5. – P. 1538-1544.
5. Lin, Y. Rotation-invariant object detection in remote sensing images based on radial-gradient angle / Lin, Y., He, H., Yin, Z., Chen, F. // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. – 2015. – Volume 12. – Issue 4. – P. 746-750.
6. Liu, G. Interactive geospatial object extraction in high resolution remote sensing images using shape-based global minimization active contour model / Liu, G., Sun, X., Fu, K., Wang, H. // *Pattern Recognition Letters*. – 2013. – Volume 34. – Issue 10. – P.1186-1195.
7. Tao, C. Airport detection from large IKONOS images using clustered SIFT keypoints and region information / Tao, C., Tan, Y., Cai, H., Tian, J. // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. – 2011. – Volume 8. – Issue 1. – P.128-132.
8. Leninisha, S. Water flow based geometric active deformable model for road network / Leninisha, S., Vani, K. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2015. – Volume 102. – P.140-147.
9. Weidner, U. Towards automatic building extraction from high-resolution digital elevation models / Weidner, U., Förstner, W. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 1995. – Volume 50. – Issue 4. – P.38-49.
10. Ok, A.O. Automated detection of arbitrarily shaped buildings in complex environments from monocular VHR optical satellite imagery / Ok, A.O., Senaras, C., Yuksel, B. // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2013. – Volume 51. – Issue 3. – P.1701-1717.
11. Akçay, H.G. Building detection using directional spatial constraints / Akçay, H.G., Aksoy, S. // *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. – 2010. – P.1932-1935.
12. Contreras, D. Monitoring recovery after earthquakes through the integration of remote sensing, GIS, and ground observations: the case of L'Aquila (Italy) / Contreras, D., Blaschke, T., Tiede, D., Jilge, M. // *Cartography and Geographic Information Science*. – 2016. – Volume 43. – Issue 2. – P.115-133.
13. Hussain, M. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches / Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., Stanley, D. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2013. – Volume 80. – P.91-106.
14. Li, X. Identification of forested landslides using LiDAR data, object-based image analysis, and machine learning algorithms / Li, X., Cheng, X., Chen, W., Chen, G., Liu, S. // *Remote Sensing*. – Volume 7. – Issue 8. – P.9705-9726.
15. Liu, L. Airplane detection based on rotation invariant and sparse coding in remote sensing images / Liu, L., Shi, Z. // *Optik*. – 2014. – Volume 125. – Issue 18. – P.5327-5333.
16. Li, E. Robust Rooftop Extraction From Visible Band Images Using Higher Order CRF / Li, E., Femiani, J., Xu, S., Zhang, X., Wonka, P. // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2015. – Volume 53, Issue 8. – P.4483-4495.
17. Yao, X. A coarse-to-fine model for airport detection from remote sensing images using target-oriented visual saliency and CRF / Yao, X., Han, J., Guo, L., Bu, S., Liu, Z. // *Neurocomputing*. – 2015. – Volume 164. – P.162-172.
18. Zhang, W. A generic discriminative part-based model for geospatial object detection in optical remote sensing images / Zhang, W., Sun, X., Wang, H., Fu, K. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2015. – Volume 99. – P.30-44.
19. Cheng, G. Learning Rotation-Invariant and Fisher Discriminative Convolutional Neural Networks for Object Detection / Cheng, G., Han, J., Zhou, P., Xu, D. // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 2019. – Volume 28. – Issue 1. – P.265-278.
20. Li, K. Rotation-Insensitive and Context-Augmented Object Detection in Remote Sensing Images / Li, K., Cheng, G., Bu, S., You, X. // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2018. – Volume 56. – Issue 4. – P.2337-2348.
21. Long, Y. Accurate Object Localization in Remote Sensing Images Based on Convolutional Neural Networks / Long, Y., Gong, Y., Xiao, Z., Liu, Q. // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2017. – Volume 55. – Issue 5. – P.2486-2498.
22. Tang, T. Vehicle Detection in Aerial Images Based on Region Convolutional Neural Networks and Hard Negative Example Mining / Tang, T., Zhou, S., Deng, Z., Zou, H., Lei, L. // *Sensors*. – Volume 17. – Issue 2. – P.336.
23. Li, K. Object detection in optical remote sensing images: A survey and a new benchmark / K.Li, [et. al.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2020. – Volume 159. – P.296-307.

UDC 004.932.2, 004.93'14

## ANALYSIS OF OBJECT CLASSIFICATION ALGORITHMS OF REMOTE SENSING DATA

Kupryianava D.<sup>1</sup>, Frolov I.<sup>1</sup>, Pertsau D.<sup>1</sup>

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus

Frolov I. – PhD in Technical Sciences

**Annotation.** The information of satellite images classification methods is generalized; their comparative analysis is made for subsequent practical application.

**Keywords.** Satellite images, Object classification algorithms.

УДК 004.31-022.53:681.5

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА

*Полудневич С.С., студент гр.924404*

*Селезнёв И.Л., канд. тех. наук, доцент*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Селезнёв И.Л. – канд. тех. наук, доцент*

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются понятия систем управления и мониторинга, дается описание встраиваемой системы как основной их составляющей. Затрагиваются основные области применения микроконтроллеров в таких системах, их спецификации и основные характеристики, приводится обзор современного рынка микроконтроллеров и тенденции развития.

**Ключевые слова.** Система, контроллер, управление, мониторинг, микроконтроллер, встраиваемая система, периферия, архитектура, устройство, интерфейс, система на кристалле, память, сенсор, процессор, интеграция.

Системы управления представляют собой специализированные решения для контроля функционирования ИТ-инфраструктуры. Такие системы зачастую применяются в совокупности с системами мониторинга для сбора данных и контроля параметров системы управления. Для решения различных задач в данных системах чаще всего применяются встраиваемые решения, позволяющие автоматизировать технологические процессы.

Встраиваемые системы можно определить как специализированные (заказные) микропроцессорные системы, непосредственно взаимодействующие с объектом контроля управления и, возможно, объединенные с ним конструктивно. Это системы от контроллера офисного дверного замка до инфокоммуникационной «начинки» заводов-автоматов, интеллектуальных энергетических систем, зданий, транспортных систем, умных городов, домов.

Основными особенностями встраиваемой вычислительной системы являются:

- работа в реальном масштабе времени (в большинстве случаев);
- наличие сенсоров и исполнительного устройства управления;
- автономность работы (отсутствие оператора, ограничения электропитания);
- высокие требования по надежности и безопасности функционирования;
- критические применения, связанные со здоровьем и жизнью человека.

Современные встраиваемые системы находят применение практически во всех сферах деятельности человека – от контроля за домашними электроприборами до применения в ядерных реакторах и космических аппаратах. Системы управления и мониторинга различных объектов, перечисленные в таблице 1, не могли бы реализовываться без встраиваемых систем [1].

Таблица 1 – Примеры применения встраиваемых систем

Авиационные и военные системы	Автопилоты самолетов, авионика и навигационные системы, системы автоматической посадки, системы наведения, управление двигателем.
Потребительская электроника	Телевизоры, духовки, посудомоечные машины, плееры DVD, стереосистемы, системы безопасности, управление поливом газонов, термостаты, фотокамеры, часы, автоответчики, декодеры кабельного телевидения.
Промышленное оборудование	Управление лифтами, системы наблюдения, роботы, станки с ЧПУ, программируемые логические контроллеры, промышленные системы автоматизации и управления.
Роботизированные системы	Промышленные роботы, автономные транспортные средства, космические исследовательские роботы (роботы-марсоходы, зонды, космические станции).

Встраиваемые системы создаются на базе микропроцессоров или микроконтроллеров. В любом случае в основе продукта лежит интегральная схема, которая обычно предназначена для выполнения вычислительных операций в реальном времени. Работа в реальном времени является крайне важной составляющей в работе встраиваемой системы, поскольку зачастую к таким системам применяются жесткие критерии по времени отклика управляющего исполнительного устройства на приход информации с внешнего датчика. На рисунке 1 показано взаимодействие внутри встраиваемой системы в реальном масштабе времени. Время получения сигнала с сенсора –  $t_1$ ,  $t_2$  – время выдачи управляющего воздействия на исполнительное устройство,  $t_3$  – крайний срок выдачи управляющего воздействия. Если по какой-либо причине выдача управляющий сигнал будет выработан после  $t_3$ , то он будет бесполезен или, возможно, вреден. Например, система управления

стеклоподъемником в автомобиле – если встраиваемая система игнорирует сигнал датчика положения стекла, либо стекло, либо подающий стекло механизм могут быть испорчены.

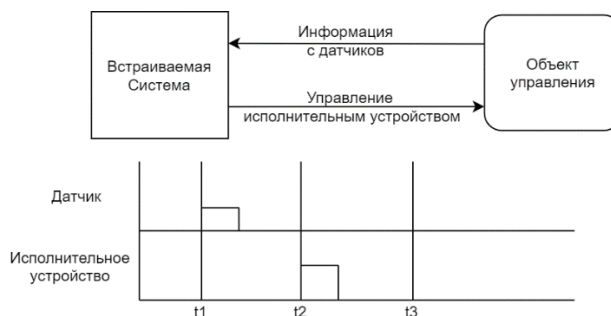


Рисунок 1 – Работа встраиваемой системы в реальном времени

Вычислительные системы могут быть представлены тремя группами элементов: обработчики, устройства памяти, интерфейсы. С группой обработчиков связаны термины «процессор» и «микроконтроллер». Микроконтроллеры встраиваемых систем проектируются как автономные системы, содержащие в себе множество специализированных частей. Главным отличием микропроцессоров от микроконтроллеров является специализация микроконтроллеров, в то время как, процессоры можно применять для любого рода задач, при подключении соответствующих устройств. Для описания микроконтроллеров часто используется термин «система на кристалле» (System on Crystal, SoC), поскольку в современных системах управления и мониторинга существует тенденция к интеграции периферии встраиваемой системы и микроконтроллера в единое целое. Системы на кристалле обычно состоят из трех основных цифровых системных блоков: процессор, память и логические компоненты. Процессорное ядро реализует поток управления, когда каждой управляющей программой однозначно устанавливаются последовательности выполнения операций обработки данных, что позволяет задавать один из возможных алгоритмов работы всей интегральной схемы. Память используется по ее прямому назначению — хранение кода программы процессорного ядра и данных. Наконец, логические компоненты используются для реализации специализированных аппаратных устройств обработки данных, состав и назначение которых определяются конечным приложением. Типовая схема системы на кристалле обычно включает в себя так же и набор периферийных устройств и контроллеров: контроллер прерываний, таймеры, контроллер сети, контроллер последовательного канала, контроллер памяти, контроллер ПДП (прямого доступа к памяти). Интерфейсы используются для обмена данными между системой на кристалле, внешними устройствами и сенсорами, а также для программирования контроллера с компьютера. На рисунке 2 представлен типичный вариант схемы SoC.



Рисунок 2 – Структура системы на кристалле

Системы на кристалле должны обладать определенным набором характеристик, специфичных для сферы применения встраиваемой системы. Такие спецификации могут, например, включать в себя разрядность процессорного ядра, возможность работы в режиме пониженного энергопотребления, требования к архитектуре микроконтроллера, поддержку определенных интерфейсов, наличие таймеров, АЦП и остальной периферии. В таблице 2 приведены часто используемые распространенные архитектуры микроконтроллеров.

Таблица 2 – Архитектуры микроконтроллеров

Архитектура	Разработчик	Производитель	Основные серии
AVR	Atmel	Atmel	tinyAVR, megaAVR, XMEGA
Motorola HC11	Motorola	NXP semiconductors	6800, 68000, 88000
ARMv7, ARMv8-A	ARM	STMicroelectronics, NXP	STM32F103xx
PIC	Microchip	Microchip Technologies	PIC16, PIC18, PIC32

Объем выпуска микроконтроллеров с однократно программируемой памятью программ постоянно сокращается из-за быстрого развития и удешевления Flash-технологий. Особенности архитектуры AVR также является развитая система прерываний, программируемые биты защиты, процессорное 32-битное ядро с упрощенным набором команд (Reduced Instruction Set Computer, RISC). Такие серии контроллеров, как mega328, mega32u4, tiny85 являются наиболее популярными на сегодняшний день, и находят применение во многих промышленных областях за счет своей дешевизны изготовления, простоты и эффективности [2]. Микроконтроллеры архитектуры ARMv7 и ARMv8 на сегодняшний день продолжают тенденцию развития 32-битных систем с ядрами Cortex-M [3]. Их особенностями является наличие большого числа портов ввода-вывода, что позволяет применять их в системах управления лифтами, умными домами, мониторинга состояния зданий, охранно-пожарных систем и иных мест, требующих обработки данных с большого количества сенсоров.

Немаловажно и наличие специфической периферии в микроконтроллерах для разных сфер применения систем мониторинга и управления. Например, без такой периферии, как таймеры, АЦП, ЦАП, не обходится практически ни одна встраиваемая система. Поддержка интерфейсов коммуникации, как параллельных, так и последовательных, является неотъемлемой частью систем мониторинга, в которых важно поддерживать обмен данными между контроллерами. В таблице 3 приведены наиболее распространенные современные контроллеры и особенности их периферии.

Таблица 3 – Специфическая периферия контроллеров

Серии контроллеров	Особенности периферии
dsPIC	10-битный 4-канальный ШИМ модуль, 12-бит АЦП, 11 16-битных таймеров
STM32F101	51 порт ввода-вывода, поддержка I2C, CAN, SPI, USART интерфейсов, RTC, NVIC [3]
Mega	8-битный процессор, RC генератор, продвинутый режим энергосбережения.

В микроконтроллерах серии dsPIC важной частью периферии является интегрированный в систему на кристалле ШИМ – контроллер с поддержкой 4 каналов и 10-битной разрядности. Наличие такой периферии позволяет использовать этот микроконтроллер в системах управления двигателями, асинхронными и синхронными моторами и другой электромеханикой, где требуется контроль вращения с помощью широтно-импульсной модуляции. Основу периферии STM32 составляет от 32 до 64 портов ввода-вывода и наличие привязанных к ним интерфейсов обмена данными I2C, CAN, USART [3]. В отличие от STM и PIC контроллеров, например, контроллер ATmega328 реализует продвинутую 8-битную RISC архитектуру, поддержку выбора частоты работы ядра, 6 режимов пониженного энергосбережения для сохранения регистров в условиях с чрезвычайно низким энергообеспечением.

Перспективными направлениями развития являются снижение энергосбережения у 8-битных контроллеров AVR для расширения областей их применения в системах управления с повышенной автономностью. Также, микроконтроллеры ARM с разрядностью 32 бита имеют тенденцию к наращиванию такой периферии, как например АЦП, ЦАПы, последовательные интерфейсы и контроллеры векторных прерываний, из-за растущих потребностей в управлении и мониторинге масштабных промышленных предприятий и систем управления лифтами и умными домами [3].

**Список использованных источников:**

1. Баррет, Ф. Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12/HCS12 с применением языка C / С. Ф. Баррет, Д. Дж. Пак. : ДМК, Москва, 2007. – с. 22-26
2. Белов А. Микроконтроллеры AVR. От азов программирования до создания практических устройств / А. В. Белов – Наука и техника, 2020. – с. 72-75
3. Developing a New Generation of Smart Automation with ARM Cortex-M3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.radiolocman.com/review/article.html?di=134036>. – Дата доступа: 20.03.2021.

UDC 004.31-022.53:681.5

## APPLICATION OF MICROCONTROLLERS IN CONTROL AND MONITORING SYSTEMS

*Poludnevich S.S., Seleznev I.L.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Seleznev I.L. – PhD in Technical Sciences*

**Annotation.** This article discusses the concepts of control and monitoring systems, provides a description of the embedded system as their main component. The main areas of application of microcontrollers in such systems, their specifications and main characteristics are touched upon, an overview of the modern microcontroller market and development trends are given.

**Keywords.** System, controller, control, monitoring, microcontroller, embedded system, peripherals, architecture, device, interface, system on crystal, memory, sensor, processor, integration.

**СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ»**

УДК 629.11.073+(016.3)

# СОЗДАНИЕ ПРИВОДОВ КОЛЁСНО-ШАГАЮЩИХ ДВИЖИТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Алехнович Н. Г.*

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Комяк И. М. – старший преподаватель,  
кафедра «Машиноведения и деталей машин»*

**Аннотация.** Построение компьютерной модели колесно-шагающего движителя с адаптивным управлением для получения кинематических характеристик движения машины в различных условиях эксплуатации

**Ключевые слова:** движитель, кинематика колёсно-шагающего механизма, адаптивное управление

Необходимость создания движителя тягово-транспортных средств для разнообразных условий передвижения с неизменным сохранением высокой эффективности и надёжности его использования во всём диапазоне этих условий привело к созданию движителя, воплощающего в себе положительные качества колеса и шагания. Созданный в БНТУ колёсно-шагающий движитель использует при движении четыре опорных башмака цилиндрической формы, которые крепятся на концах двух взаимно перпендикулярных штанг. Перенос опорных башмаков осуществляется с помощью сложно-вращательного движения штанг, складывающегося из плоскопараллельного движения каждой штанги на двух кривошипах относительно ступицы и вращения вместе со ступицей. В работе движителя органически сочетается принцип шагания (поочередный перенос башмаков с отрывом их от опорной поверхности) с принципом качения (прокат на каждом башмаке в процессе его контакта с опорой) именно поэтому, а также в следствие вращательного характера движений переноса башмаков многократно повышена скорость движения (до 30 км/ч), а также снижены виброактивность и инерционные нагрузки движителя. Кроме того, благодаря вращательному движению привода, предложенный движитель может быть установлен взамен обычных колёс на серийно выпускаемых машинах без существенных их переделок. Демонтируются только колёсные редукторы, функции которых выполняют сами механизмы шагающих колёс.

Указанное выше сложное движение штанг осуществлено с помощью размещённого в ступице движителя планетарного зубчатого механизма.

Для данной схемы колёсно-шагающего движителя была произведена оптимизация геометрических параметров звеньев с целью сведения к минимуму вертикальных колебаний оси колеса при шагании, в результате чего амплитуда этих колебаний не превышает 0,8% от расстояния между осью и опорой поверхностью грунта. Были также разработаны устройства, устраняющие колебания линейной скорости оси движителя в процессе шага.

Для выбора оптимальных решений при проектировании кинематики колёсно-шагающего механизма была разработана его трёхмерная компьютерная модель.

Для создания компьютерной модели использовалось графическое приложение для создания компьютерной модели использовалось графическое приложение 3D Studio Max Release 3.1. Разработанная модель позволяет отследить характер следования и траекторию движения на грунте, наличие колебаний оси колеса, определить потенциал преодоления препятствий.

Смоделированы следующие ситуации работы движителя: движение по твёрдой опорной поверхности; движение по поверхности с низкой несущей способностью; преодоление ступенчатых преград (лестничных маршей); линейно расположенных дискретных преград (сооружений и конструкций с периодической структурой); преодоление хаотично расположенных дискретных преград (обломков строительных сооружений, пней, брёвен).

Результаты компьютерного моделирования подтвердили теоретические расчёты в отношении кинематики привода, его энергетических показателей, способности преодолевать препятствия.

Приведённые исследования выявили: необходимость управления колёсно-шагающими движителями мобильных машин с помощью адаптивных систем. В настоящее время проводятся работы по созданию аппаратуры управления на базе микропроцессорной техники, включающей в себя системы искусственного зрения и ориентации в пространстве. Применение адаптивных систем управления колёсно-шагающими движителями обеспечит выбор рациональных режимов движения в сложных условиях, повысит курсовую устойчивость и безопасность движения таких машин.

Транспортные средства с разработанными двигателями могут использоваться как в сельском хозяйстве, так и на лесоразработках, при обследовании заражённых или труднодоступных территорий в том числе и морского дна.

**Список литературы**

1. Скойбеда А.Т. Колёсно-шагающий двигатель мобильных машин/ А.Т. Скойбеда, И.М. Комяк, Д.А. Грамович, Д.А. Егоров// *Современные методы проектирования машин. Расчёт, конструирование и технология изготовления*. Сб. науч. тр. вып. 1. В 3-1х т. – т. 2/ Под общей ред. П.А. Витязя. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – с. 182-186
2. Скойбеда А.Т. Колёсно-шагающий двигатель и его динамические преимущества по сравнению с колесом/ А.Т. Скойбеда, И.М. Комяк, В. Н. Жуковец// *Механика 2011: сб. науч. тр. V Белорусск. конгресса по теоретической механике*, Минск, 26-28 окт. 2011.: в 2-х т./ объединенный институт машиностроения НАН Беларуси; ред. : М.С. Высоцкий [и др.] – Минск, 2011. – т. . – с. 138-144.

UDC 629.11.073+(016.3)

## THE MAKING OF DRIVES OF WHEEL-WALKING PROPULSORS OF MOBILE MACHINES WITH ADAPTIVE CONTROL

*Alechnovitsch N. A.*

*Belarussian national technical university, Minsk, Republic of Belarus*

*Komyak I. M. – senior lecturer*

**Annotation.** The construction of a computer model of a wheel-walking propeller with adaptive control to obtain the kinematic characteristics of the movement of the machine in various operating conditions.

**Keywords:** propulsor, kinematics of the wheel-walking mechanism, adaptive control.

УДК 004.424.2

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ НА ГИБРИДНОМ ПРИВОДЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

*Кузнецов В.В.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Карпович С.Е. – доктор техн.наук, профессор*

**Аннотация.** Предложенная в работе мехатронная система параллельной кинематики на гибридном приводе прямого действия рекомендуется для использования при создании прецизионных систем перемещений сборочного и опτικο-механического оборудования микро- и наноэлектроники с разрешением до нанометрового уровня.

**Ключевые слова:** мехатронная система параллельной кинематики, привод прямого действия, кинематика, динамика, имитационное моделирование

На основании метода синтеза схем исполнительных механизмов [1-3] параллельной кинематики для мехатронных систем перемещений была обоснована мехатронная система перемещений с шестью степенями свободы на гибридном шестикординатном приводе прямого действия и исполнительном механизме параллельной кинематики в виде раскрывающегося тетраэдра. Предложенное решение защищено патентом на полезную модель.

Разработана математическая модель аналитического решения в явном виде функций положения всех звеньев в зависимости от входных параметров гибридного привода включая функции скоростей всех характерных точек и вычисления соответствующих линейных и угловых скоростей и ускорений.

Выбранный механизм параллельной кинематики с шестью степенями свободы (рисунок 1) состоит из трех параллельных кинематических цепей, содержащих три подвижных треугольных шатуна в виде двойных элементов 11–12, 13–14, 15–16, связанных с одной стороны вращательными



шарнирами между звеньями 17 и 23, 18 и 24, 19 и 24, 20 и 25, 21 и 25, 22 и 23 с подвижной треугольной платформой 26, а с другой стороны связанных сферическими шарнирами 27, 28, 29 с тремя автономно управляемыми линейными шаговыми двигателями 8, 9, 10, линейные направляющие которых 5, 6, 7 с одной стороны, шарнирно соединены между собой, а с другой стороны жёстко закреплены на соответствующих подвижных сегментных модулях 2, 3, 4 кольцевого шагового двигателя, неподвижная направляющая которых представляет основание замкнутого кольцевого статора 1. Он работает следующим образом. При секторных перемещениях трёх сегментных модулей 2, 3, 4 в соответствии с заданными на входе системой управления законами их движения по неподвижной кольцевой направляющей основания статора 1 кольцевого шагового двигателя и одновременно при линейных перемещениях, реализуемых тремя линейными шаговыми двигателями 8, 9, 10 в соответствии с заданными на входе с системой управления законами их движения по подвижным линейным направляющим 5, 6, 7 через сферические шарниры 27, 28, 29, шатуны 11–12, 13–14, 15–16 и соответствующие вращательные шарниры 17 и 23, 18 и 24, 19 и 24, 20 и 25, 21 и 25, 22 и 23 приводится в пространственное движение платформа 26.

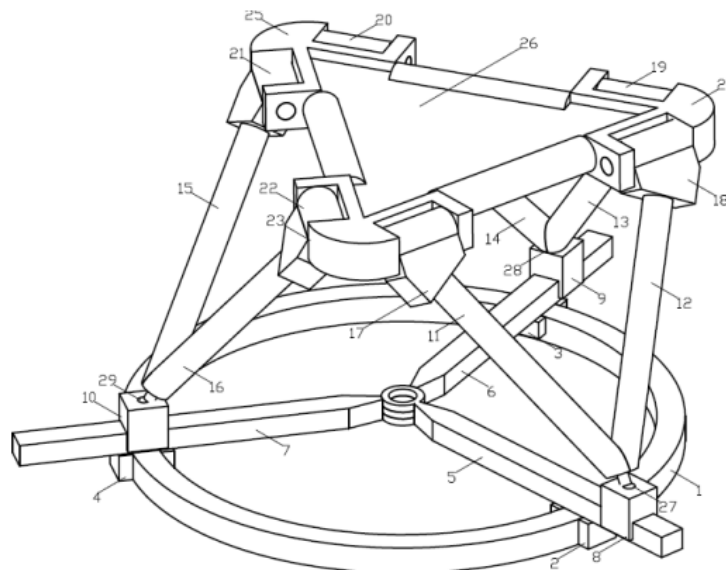


Рисунок 1 – Схема мехатронной системы на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия

В зависимости от конкретно задаваемого секторного положения относительно статора 1 сегментных модулей 2, 3, 4 и конкретных положений линейных подвижных модулей 8, 9, 10 рабочая платформа 26 принимает однозначное и соответствующие им положение и ориентацию в трёхмерном пространстве. Тем самым предложенным механизмом параллельной кинематики обеспечивается реализация в мехатронной системе перемещения платформы с шестью степенями свободы в трёхмерном пространстве.

Предложенный гибридный привод, схемное решение которого представлено на рисунке 1.3, состоит из кольцевого привода прямого действия с тремя степенями свободы и трёх линейных шаговых двигателей, закреплённых на трёх сегментных подвижных модулях.

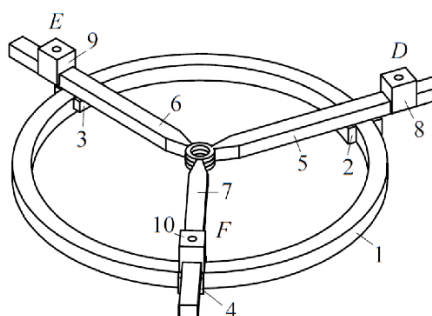


Рисунок 2 – Гибридный привод на кольцевом и линейных шаговых двигателях

Таким образом с помощью предложенного механизма параллельной кинематики могут быть реализованы прецизионные движения с шестью степенями свободы по шести независимым

координатам в трёхмерном пространстве, включая три линейные и три угловые, обеспечивая в то же время высокие кинематические и динамические характеристики перемещений при высокой точности их реализации. При этом обеспечивается реализация дополнительного управляемого разворота вокруг вертикальной оси в диапазоне  $\pm 360$  градусов, что расширяет область управляемого движения с перспективой построения на его основе современного прецизионного, фрезерного, сверлильного оборудования, прецизионных промышленных роботов и платформ, например, для телескопов, лазеров, телекоммуникационных антенн.

Предложенные в работе математические модели, алгоритмы и программное обеспечение имитационного моделирования разработанной мехатронной системы перемещений на исполнительном механизме с шестью степенями свободы и гибридном приводе прямого действия могут быть рекомендованы к использованию при разработке проектов встраивания рассматриваемой системы в конкретное оборудование, которое заключается в численном формировании рабочей области, калибровки кинематических параметров и траекторных характеристик и формировании алгоритма управления в соответствие с технологической операцией в конкретное оборудование.

Дальнейшие исследования по данной работе предполагается проводить в направлении разработки алгоритмической основы построения системы управления на современной элементной базе с оптимизацией использования регуляторов, реализующих требуемое качество формирования траекторий в режиме реального времени.

#### Список литературы

1. Кузнецов, В.В. Формирование шаговых траекторий для реализации тригонометрической функции / В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 146–149.
2. Карпович, С.Е. Алгоритмизация формирования шаговых траекторий для систем перемещений на шаговых двигателях / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 167–171.
3. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация бесколлизийных перемещений трёх планарных позиционеров на одном статоре / В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский // Актуальные вопросы машиноведения : сборник научн. трудов / Объед. инст. машиностр. Нац. академии наук Беларуси – Минск, 2019. – Вып. 6. – С. 64–67.
4. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация математических моделей и имитационное исследование мехатронной системы перемещений с шестью степенями свободы / В.В. Кузнецов // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2018» / редкол. : И. А. Старовойтова (пред.) [и др.]. — Минск : Изд. центр БГУ, 2019. – С. 171–176.
5. Карпович, С.Е. Мехатронные системы параллельной кинематики для фотолитографического оборудования / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 17–22.
6. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация прямой задачи кинематики мехатронной системы на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия / В.В. Кузнецов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 195–200.

UDC 004.424.2

## SIMULATION OF A MECHATRONIC SYSTEM PARALLEL KINEMATICS ON HYBRID DRIVE DIRECT ACTION

Kuznetsov V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich S.E. – Ph.D., Full Professor

**Annotation.** The proposed mechatronic system of parallel kinematics on a hybrid direct-action drive is recommended for use in creating precision systems for displacement of assembly and optomechanical equipment for micro- and nano-electronics with a resolution up to the nanometer level.

**Keywords.** mechatronic parallel kinematics system, direct drive, kinematics, dynamics, simulation

УДК 004.424.2

## ВЕРСИОНИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*Марко А.Ф.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Карпович С.Е. – доктор техн.наук, профессор*

**Аннотация.** Представлено программное обеспечение для версионирования и контроля целостности систем реального времени, как программный элемент расширения Visual Studio.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, контроль целостности, версионирование

С развитием электрических приводов и возможностей их применения в индустриально-производственных и транспортных системах, стала очевидна необходимость полной интеграции составляющих элементов электропривода: механики, электрических машин, силовой электроники, микропроцессорной техники и программного обеспечения для наиболее полного использования возможностей современного электропривода, и построения на его основе многокоординатных мехатронных систем перемещения [2]. Традиционные системы перемещений используют ПЛК-технология для выполнения задачи управления и включают в свой состав следующие аппаратные и программные элементы: ПК для визуализации, ПЛК с различными сопроцессорами, ввод/вывод через полевою шину, управление движением через параллельный интерфейс LPT, операционную систему и различные языки программирования.

Проведённый анализ современных программно-аппаратных средств показал, что наиболее эффективной технологией для реализации управления системами многокоординатных перемещений в режиме реального времени является технология EtherCAT, внедрение которой требует разработки дополнительных программных приложений [1]. В настоящей работе рассматривается программное обеспечение для версионирования и контроля целостности при управлении системами многокоординатных перемещений в режиме реального времени. Разработка данного программного обеспечения выполнялась в интегрированной среде разработки Visual Studio и комплексной системе управления версиями Team Foundation Server [3].

Для управления в реальном времени всё большее распространение получает технология EtherCAT. EtherCAT-технология предоставляет разработчикам систем управления технологическими процессами и сложным оборудованием полностью интегрированное решение, обеспечивающее стандартную и надёжную сеть обмена управляющей информацией. При этом количество задействованных полевых шин и интерфейсов уменьшается, обеспечивая тем самым унификацию всех процессов управления, гибкость структуры при практически неограниченном количестве устройств и малое время реакции на события, а также обеспечивается возможность переконфигурирования системы управления без необходимости её полного отключения. В связи с наметившимся внедрением технологии EtherCAT в прецизионное технологическое оборудование актуальной и важной является разработка специальных инструментов, позволяющих разрабатывать программное обеспечение системы управления в множестве версий и тем самым с постоянным изменением кода. При разработке и эксплуатации программного обеспечения (ПО) для систем перемещений важной задачей является обеспечение их целостности, необходимой для предотвращения незапланированных изменений. Контроль за целостностью в предложенном ПО обеспечивается на этапе разработки с помощью внедрения процесса версионирования в интегрированную среду разработки Visual Studio (VS) и систему управления версиями Team Foundation Server (TFS), а на этапе эксплуатации – через формирования и сравнение контрольных сумм. В процессе проектирования программного средства было выделено два функциональных модуля: версионирования и контроля целостности (рисунок 1).

Модуль версионирования реализован в виде расширения VS и позволяет обновлять версии ПО при внесении изменений. Версионирование возможно в двух основных режимах: в режиме с версионированием только проектов, файлы которых находятся в текущих изменениях и в режиме с версионированием всех проектов на основе истории их изменений.

В процессе разработки была реализована концепция [3] формирования версий для проектов, как принадлежащих к версионизируемому решению, так и для проектов, подключённых из других решений по ссылке.

В свою очередь проекты, принадлежащие к версионизируемому решению, подразделяются на основные проекты, которые являются источником версии последнего релиза и обычные проекты. Определение типа проекта выполняется с помощью структурного анализа файла решения и конфигурационных файлов.

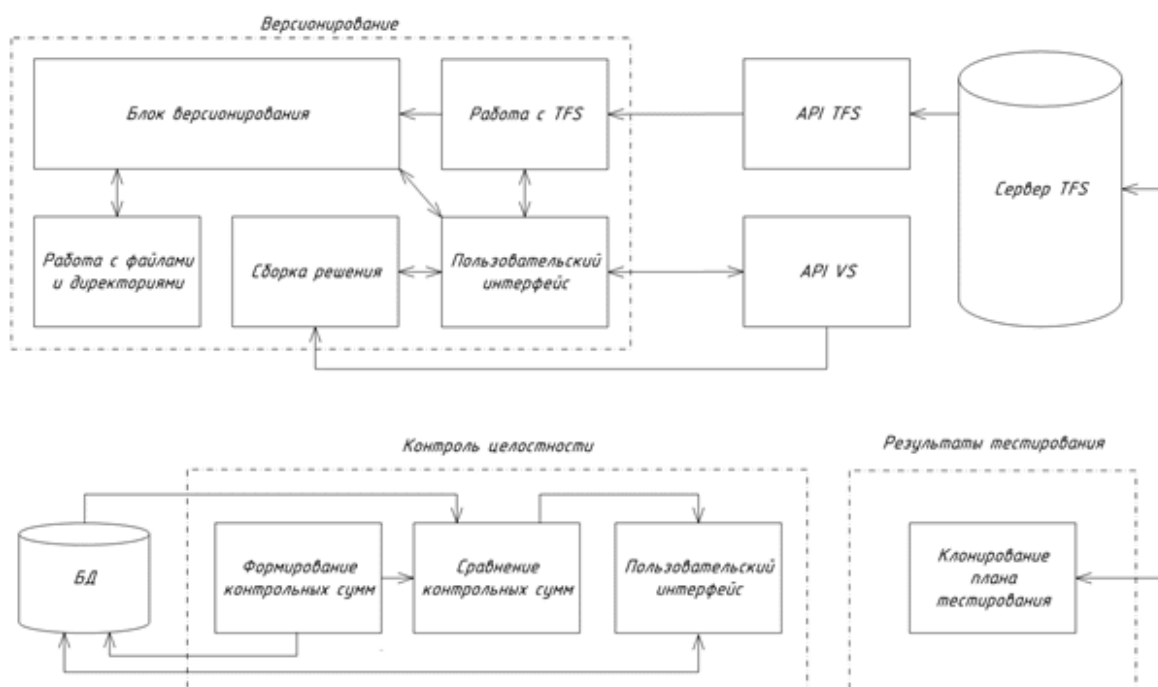


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи функциональных модулей

Версия проекта состоит из двух частей: ручной части (первые три старших разряда версии), определяемой последней версией релиза и автоматической части, соответствующей номеру сохранения в системе TFS, в котором был изменён проект. Каждый проект содержит текстовый файл AssemblyInfo, который хранит версию проекта. Для её получения или изменения используются регулярные выражения. В результате после сборки релиза будут сформированы исполняемые файлы, в которых сохранится номер актуальной версии.

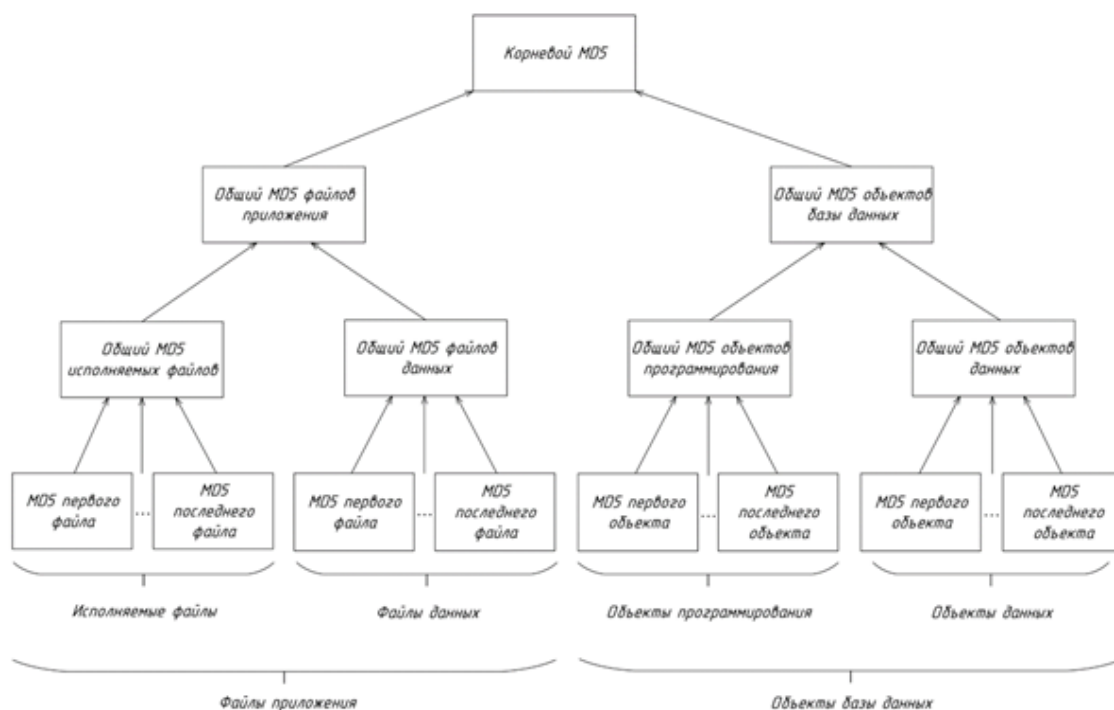


Рисунок 2 – Схема процесса формирования контрольных сумм

Модуль контроля целостности предназначен для определения незапланированных изменений данных в процессе эксплуатации. Для обеспечения целостности данных в процессе эксплуатации необходимо учитывать, что некоторые данные не могут оставаться неизменными, поэтому

выделяются части, которые должны быть неизменными в процессе эксплуатации, и части, которые могут изменяться.

Программная часть любой системы, как правило, состоит из множества различных объектов, таких как исполняемые файлы, файлы данных и объекты баз данных. Формирование контрольных сумм имеет многоступенчатый характер и выполняется для каждого типа по-разному. Основная цель многоступенчатого формирования контрольных сумм заключается в удобстве представления информации о состоянии каждой подгруппы и в повышении скорости нахождения изменённых файлов.

**Заключение.** В работе решена задача по разработке программного средства, позволяющего внедрить процесс версионирования в среду VS и систему TFS, контролировать целостность ПО в процессе его эксплуатации.

#### **Список литературы**

1. Системы многокоординатных перемещений в исполнительные механизмы для позиционного технологического оборудования / С. Е. Карпович, [и др.]. – Минск : Бестспринт, 2013. – 208 с.
2. Аваков, С.М. Система перемещений для оптико-механического оборудования микроэлектроники / С.М. Аваков, В.В. Жарский, С.А. Русецкий // Доклады БГУИР. – 2007. – № 6. – С. 39–43.
3. Программирование расширения интегрированной среды разработки VS2017 / А. Ф. Марко, К. В. Чеушев. – Технические средства защиты информации : тез. докл. XVI Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 5 июня 2018 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2018. – С. 63.

UDC 004.424.2

## **VERSION AND INTEGRITY CONTROL OF SOFTWARE FOR REAL-TIME SYSTEMS**

*Marko A.F.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Karpovich S.E. – Ph.D., Full Professor*

**Annotation.** The software for versioning and monitoring the integrity of real-time systems is presented as a software element of the Visual Studio extension.

**Keywords.** software, integrity control, versioning

**СЕКЦИЯ «ФИЛОСОФИЯ, ЛОГИКА И ЖИЗНЬ»**

УДК 621.039.009

## СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА ЧЕРНОБЫЛЯ: РЕТРОСПЕКТИВА

*Зеленко К.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Лагунова Е.Н. – преподаватель*

**Аннотация.** 26 апреля 1986 года произошла Чернобыльская трагедия. Авария на атомной энергостанции характеризуется непредсказуемостью и длительностью последствий. Ошибка, допущенная во время эксперимента, повлекла за собой невосполнимые человеческие и природные потери. По сей день проводятся работы по восстановлению загрязненных территорий.

**Ключевые слова.** Экология, природа, окружающая среда, человеческая деятельность, Чернобыль, экологическая проблема, проблема личности, атомная энергетика.

Социально-экологическая культура отражает отношения человеческого общества со средой в процессе их взаимодействия при использовании природных ресурсов и использовании социальных действий в своей жизнедеятельности, характеризует способы социальной адаптации при ухудшении условий среды, средства для оптимального взаимодействия среды с человеком.

26 апреля 1986 года произошла авария на Чернобыльской атомной электростанции, оказавшая влияние на социальную, культурную, экономическую и другие сферы жизни человека. Катастрофа характеризуется своей глобальностью, длительным действием последствий и непредсказуемостью. Эта экологическая проблема отражает последствия ошибочных действий человека на природу и общество.

Ночью 26 апреля 1986 года дежурные Чернобыльской АЭС проводили эксперимент, можно ли использовать энергию турбогенератора для собственных нужд. В ходе испытаний на четвертом энергоблоке произошел мощный взрыв, что стало точкой отсчета для оценки последствий аварии. В окружающую среду попало много радиоактивных веществ. Ветер разнес радиоактивную пыль почти по всему северному полушарию. Больше всего от радиационного загрязнения пострадали близлежащие районы России, Украины и Беларуси. Радиационные осадки выпали под Ленинградом, на территории Мордовии и Чувашии. Ядерные облака несли в основном на север и запад. Через 2 дня они достигли Скандинавии, через 5— запада Европы и Ближнего Востока. В СССР такие ситуации было принято замалчивать, но через 2 дня после катастрофы советские СМИ распространили новость об аварии. По словам бывшего генерального секретаря ЦК КПСС, Михаила Горбачева, длительное молчание было связано с тем, что правительство не имело полного представления о случившемся и опасалось паники среди населения.

Сразу после взрыва на Чернобыльской АЭС начался пожар. Горела крыша здания, помещение энергоблока. С огнем боролись работники станции и прибывшие пожарные. Они получили самую большую дозу облучения, ставшей для многих смертельной. 28 человек погибло в течение трех месяцев. Когда пожар потушили, в разрушенный реактор с вертолетов начали сбрасывать песок, борную кислоту и свинец для снижения радиационного излучения, так как внутри реакция продолжалась. При горении графит, уран и ядерное топливо смешались, образовав раскаленную лаву. Ее температура была настолько высокой, что была способна расплавить бетонный пол и вступить в реакцию с водой, находившейся под реактором, что могло спровоцировать новый взрыв. Чтобы избежать этого, три добровольца открыли клапаны для отвода воды в бассейне под реактором. Для того, чтобы лава не успела начать взаимодействовать с грунтовыми водами, выкопали туннель и залили его бетоном, сделав подушку безопасности. От разрушенного реактора продолжал исходить запредельный уровень радиации. Чтобы решить эту проблему, было принято решение над четвертым энергоблоком построить железобетонный саркофаг. Строителям приходилось работать в условиях, при которых ломалась техника, а человеку можно находиться не более 40 секунд. Для выполнения задач было привлечено большое количество людей, которые сменяли друг друга через короткий промежуток времени. Несмотря на все сложности, саркофаг был возведен за полгода. Уровень радиоактивного излучения заметно сократился.

Однозначного ответа на вопрос, каковы последствия Чернобыля, на сегодняшний день не существует.

В течение 10 дней после аварии на 4 энергоблоке Чернобыльской АЭС продолжались мощные выбросы радионуклидов. Выпадения были неравномерными, что обусловлено усилением их в зонах, где выпали радиоактивные осадки. В городских населенных пунктах наиболее загрязнены были открытые поверхности: газоны, парки, дороги, городские площадки, улицы, крыши зданий.

Отложение радиоактивного материала в близлежащих районах привело к радиационному облучению людей, проживающих на этой территории, и продолжается до сегодняшних дней. В первое время радиоцезий активно поглощался растениями и животными в лесах. Его высокая концентрация сохранялась на протяжении двух десятилетий в продуктах питания лесного происхождения: грибах, ягодах, мясе дичи. В результате выброса радиоактивных веществ были заражены поверхностные воды ближайших территорий и других районов Европы: радионуклиды осаждались на поверхности рек и озер. На сегодняшний день поверхностные воды считаются безопасными, благодаря физическому распаду.

Облучение от выбросов нуклидов привело к радиационно-индуцированному распаду клеток у животных и растений. Вследствие этого наблюдалась повышенная смертность среди хвойных растений и млекопитающих, а также потеря репродуктивной способности живых организмов. Первоначальное попадание радиойода в организм рыб было быстрым, однако краткосрочным вследствие физического распада. Радионуклиды стронция накапливались не в мясе, а в костях, поэтому они не имели такого большого вклада в облучение, как радиойод и радиоцезий. Для восстановления поврежденной биоты потребовалось несколько лет и остановка сельскохозяйственной и промышленной деятельности. Это оказало положительное воздействие на биологические популяции.

Работники станции, пожарные, ликвидаторы, жители ближайших населенных пунктов получили большую дозу радиации, что оказало сильное влияние на здоровье людей. Радиойод интенсивно абсорбировался в молоко, что приводило к облучению щитовидной железы людей, употреблявших его в пищу. Содержание радиоцезия в продуктах питания вносит наибольший вклад во внутреннее облучение человека в долгосрочном плане. В результате влияния всех этих факторов резко возросло количество больных лучевой болезнью, раком щитовидной железы, лейкозом, катарактой.

До аварии в городе Припять проживало 50 тысяч человек. Когда стало понятно, что радиация опасна для людей, то территорию вокруг Чернобыльской АЭС радиусом 30 километров объявили зоной отчуждения, которую необходимо покинуть. Эвакуация города Припять началась не сразу, а через 36 часов после аварии. С ближайших населенных пунктов было эвакуировано около 150 тысяч человек. Людей вывозили на автобусах с минимальным количеством личных вещей, обещая, что они скоро вернуться в свои дома. Переселение на постоянное место жительства снизило дозу радиации, которой подвергалось население, но многим оно нанесло душевную травму.

Проблемы психического здоровья создают большую угрозу, чем радиация. Удивительно, но жители деревень, которые отказались от переезда и остались в своих населенных пунктах, психологически лучше справились с аварией, чем те, кто был переселен в менее загрязненные районы. Многие переселенцы столкнулись с безработицей и сложностями адаптации. Атмосферу отчужденности усугубляла напряженность между переселенным и коренным населением. Ощущение отсутствия контроля над своей жизнью повлекло за собой психологические расстройства. Различные мифы и отсутствие надежной информации угнетали народ, вследствие чего население было сильно обеспокоено влиянием радиации на здоровье. Люди считали, что те, кто подверглись облучению автоматически приговорены к меньшей продолжительности жизни. В итоге, депрессия, стресс и беспокойство сильно повлияли на надежду о восстановлении прежней жизни, что усложняло процессы выздоровления и адаптации.

В настоящее время планируется восстановить пострадавшие территории, установить новые границы зоны отчуждения, вернуть в хозяйственный оборот менее пострадавшие территории. В связи с ограничением на выращивание продовольственных культур, выпас крупного рогатого скота, вновь восстановленные районы лучше использовать для промышленной деятельности, а не сельскохозяйственной. Будущее станции будет связано с выгрузкой топлива, выводом из эксплуатации первого, второго, третьего энергоблоков АЭС и демонтажом объекта "Укрытие". По сей день проводятся работы по экологическому мониторингу и научно-исследовательские проекты.

Таким образом, авария на Чернобыльской АЭС показывает, какие последствия могут иметь ошибочные действия человека на окружающую среду и общество. Взрыв на четвертом энергоблоке стал настоящей точкой отсчета для оценки потенциальных потерь после ядерных катастроф. От облучения от выброса радионуклидов сильно пострадали растения и животные, проживающих на территории, прилегающей к станции. Сильно пострадало не только физическое здоровье людей, но и моральное. Переселенцам приходилось бороться с проблемами адаптации. До сих пор ведутся работы по решению проблем после аварии на ЧАЭС, а также планируются на предстоящее столетие несмотря на то, что в этом году исполнится 35 лет с момента Чернобыльской трагедии.

**Список использованных источников:**

1. Алексеев С.М. *Экология, экономика, социум: состояние, тенденции, перспективы* / С.М. Алексеев [и др.]. – М.: НИИ-Природа, 2002. – 302 с.
2. Лосев А.В. *Социальная экология*. / А.В. Лосев, Г.Г. Провадкин – М.: Гуманит. издат. Центр ВЛАДОС: Наука, 1998. – 312 с.
3. Медведев Г.У. *Чернобыльская тетрадь: документальная повесть* / Е.А. Власова – М.: Издат. Дом ПИТЕР, 2020. – с.



UDC 621.039.009

## SOCIAL AND ECOLOGICAL CULTURE AFTER CHERNOBYL

*Zelenko K.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lagunova E.N. – professor*

**Annotation.** On April 26, 1986, the Chernobyl tragedy took place. An accident at a nuclear power plant is characterized by unpredictability and long-term consequences. A mistake made during the experiment resulted in irreparable human and natural losses. To this day, work is underway to remediate contaminated areas.

**Keywords.** Ecology, nature, environment, human activity, Chernobyl, environmental problem, personality problem, nuclear energy.

УДК 130.2:794.1

## ШАХМАТЫ КАК ЛОГИКО-ФИЛОСОФСКИЙ ФЕНОМЕН

*Каминский А. В., студент гр.051002*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Лагунова Е.Н. – преподаватель*

**Аннотация.** В работе рассматривается понятие и функции игры, проводится анализ частного случая игры, шахмат, в контексте философии, логики, искусства.

**Ключевые слова.** Игра, логико-творческая природа мышления, шахматы, логическое высказывание.

Феномен игры сопровождает человечество на протяжении всей истории. Однако если работа, труд, серьезность являются необходимыми условиями выживания и развития человека и культуры, то игра носит спонтанный и безусловный характер. При этом игра естественна, поскольку присутствует не только у людей, но и у животных.

Несмотря на то, что игр существует огромное множество, нужно отметить существование общих черт, которые есть у игры вообще:

- Игра – это деятельность, осознанная в большинстве случаев
- В игре обязательно есть свои правила
- Игра имеет пространственно-временные характеристики
- В игре должен присутствовать соревновательный элемент
- Результат игры носит вероятный характер
- Критерием истинности игры служит принцип удовольствия от процесса

В целом, игра тесно связано с понятием соревнования, а в пределе – сражения, интеллектуального или физического. В этом смысле игра серьезна и реально значима для всех участников. В какой-то степени сражение – это и есть игра, в которой есть свои правила и законы. Иногда эти правила могут выходить за пределы разумного. Так, например, рыцарские поединки тоже можно назвать игрой, однако игрой, в которой возможен смертельный исход. Теперь же, если посмотреть еще шире, то можно рассмотреть такое понятие, как война – противостояние двух сторон, в котором победит возможно первая сторона, возможно вторая, а возможно и ни одна из противоборствующих сторон.

Примеров же не физического сражения, а интеллектуального множество: шашки, маджонг, сѐги... Самым ярким примером, на мой взгляд, являются шахматы.

Игра в шахматы не похожа на другие игры. И, во-первых, отличие заключается в том, что в шахматах отсутствует везение. Единственное везение для игрока – это недостаточно опытный противник. Во-вторых, отличительной чертой шахмат является не результат партии, а красота процесса игры, что позволяет рассмотреть шахматы как искусство.

Подлинность шахматного искусства состоит в том, что шахматные партии представляют собой произведения, созданные стройной логикой и творческой стороной мышления человека.

Рассмотрим пример шахматной позиции из книги А. Нимцовича «Моя система»:

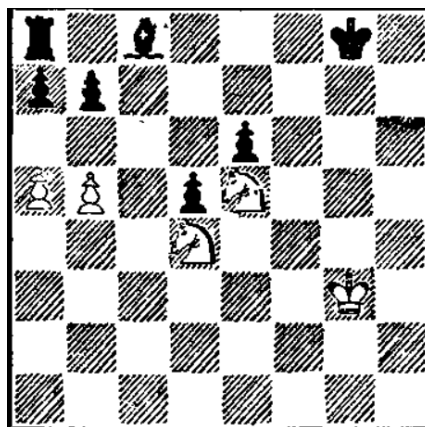


Рисунок 1 – Позиция из книги А. Нимцовича «Моя система» [3]

Человек поверхностно знакомый с шахматами отметит, что у черных в этой позиции явный материальный перевес (больше фигур). Однако шахматист увидит всю красочность этой позиции. В которой за счет положения (активности) белых фигур, черным просто не удастся выиграть борьбу. Т.е. шахматы являются своеобразным искусством, которое проявляется не только в установившейся форме (шахматной партии, шахматного этюда), но и в динамичной форме шахматного произведения, творимого на глазах публики.

Кроме того, шахматы являются проекцией определенного типа мировоззрения, что позволяет рассмотреть их в философском контексте. В шахматах присутствует своя система ходов, для того, чтобы можно было объективно оценить позицию, необходимо знать, чей сейчас ход. Абсолютно каждый ход в шахматах – это принятие ответственного решения. Это решение касается нескольких вещей, а именно в том, какой фигурой нам стоит сделать ход, каким будет этот ход, атакующим или же обороняющимся, продуманным или же спонтанным.

По сути, это же самое мы можем спроецировать и на нашу жизнь. Ведь мы точно также, каждую секунду, должны принимать решения, и от этих решений напрямую зависит наше будущее. Но как определить, какое решение будет верным?

В самом начале, мы не всегда любим смотреть на несколько шагов вперед, нам больше по нраву выстраивать комбинации, связанные с ситуативной, сиюминутной выгодой, и, порой, мы забываем о самом важном, о том, что наш король может находиться в опасности. Одним из результатов такой опрометчивости может быть цугцванг – это положение, когда каждый следующий ход только ухудшит позицию и в итоге приведет к поражению

Опытный же игрок действует по другой тактике: «Не рассчитывай на скорые успехи и не соблазняйся малой выгодой. Поспешишь – не добьешься цели, соблазнишься малым – не сделаешь великого». Опытный игрок знает, что, иногда, для достижения какой-либо цели, необходимо чем-то жертвовать, отдавать лучшее, проявляя щедрость, расставаться с тем, что мешает идти дальше.

Конечно, мы не можем обрести этот опыт сразу. Достижение чего-либо сопровождается пробами и ошибками. Однако, чтобы избежать некоторых ошибок, на помощь может прийти тот, кому известны этапы пути. Учитель, наставник. Следуя его примеру и мудрым советам, мы шаг за шагом, медленно, но неуклонно продвигаемся вперед, подобно пешке на шахматной доске.

В этом смысле шахматы предстают как особая практическая философия, осмысленная и значимая для каждого участника игры, имеющая свою особую логику существования и развития.

С этой точки зрения, совершенно любой ход в шахматах несет в себе какую-либо информацию. Количество всевозможных сочетаний ходов в шахматной партии практически бесконечно. Если быть более точным, то оно равно числу Шеннона:  $10^{120}$ . Это обстоятельство существенно влияет на величину порции информации. Среда шахмат – огромное множество ходов, создающее два типа информации, структурирующую, улучшающую свою позицию, и деструктурирующую, ухудшающую позицию противника. В среде шахмат существуют свои среды, а именно: теоретическая, практическая. Эти две среды и составляют шахматную партию.

Теоретическая среда существует лишь в воображении. Теоретическая среда – это принятие решения. Чтобы же принять решение нам достаточно просто представить шахматную доску. Практическая среда – это непосредственно и есть сам ход, который делается по правилу: тронул фигуру – ходи ею. Поэтому, прежде чем сделать ход, игрок должен рассчитать все более-менее подходящие варианты, предположить, какой ход сделает противник и только потом делать свой ход. В итоге, мы можем сказать, что шахматная партия – это реализация на доске вариантов, придуманных игроком в теоретической среде. То есть, побеждает тот, кто на практике доказал, что его теоретическая модель более жизнестойка чем у партнера.

Партия в шахматы представляет собой сложное логическое высказывание, которое состоит из собственных высказываний и высказываний противника, которые взаимосвязаны между друг другом, в котором противник проверяет на истинность вашу логику. Если же вся ваша логика окажется истинной, а противника нет, то это означает, что вы победили. Если же, логика противника и ваша равны, то вы достигаете ничьей. Если же ваша логика недостаточно хороша, то вы проигрываете. В конце концов, мы можем прийти к выводу, что, от того, насколько будет критична ваша логика и логика вашего противника, будет зависеть красота шахматной партии.

Таким образом, игра в шахматы является важным феноменом истории человечества и современной культуры. Шахматы соединяют в себе развлечение, спорт, искусство, науку, тем самым способствуя развитию человека в целом. В условиях стремительного развития информационно-коммуникативных технологий и умножения информационных потоков принцип шахмат может выступать способом философско-рефлексивной ориентации личности в информационном пространстве. А как логико-семантическое высказывание шахматы ориентированы на другого человека и предполагают связь поколений и общее понимание и развитие совместной интеллектуальной деятельности.

**Список использованных источников:**

1. Ким, Е.С. Попытка построения теории шахмат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://scorcher.ru/theory\\_publisher/show\\_art.php?id=342](https://scorcher.ru/theory_publisher/show_art.php?id=342) – Дата доступа: 24.03.2021.
2. Кириллова, Д.С. Искусство игры / Д.С. Кириллова // Общество: философия, история, культура. – 2016. - № 2. – С. 30-32.
3. Нимцович, А. Моя система / А. Нимцович. – М. : Русский шахматный дом, 2003. – 296 с.
4. Хейзинга, Йохан. Человек играющий: Ст. по истории культуры / Йохан Хейзинга. – М. : Айрис-пресс, 2003. – 487 с.

UDC 130.2:794.1

## CHESS AS A LOGIC AND PHILOSOPHICAL PHENOMENON

*Kaminsky A. V.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lagunova E.N. – professor*

**Annotation.** The work examines the concept and functions of the game, analyzes a particular case of the game, chess, in the context of philosophy, logic, art.

**Keywords.** Game, logic, creativity, intelligence, chess, logical statement.

УДК 130.2

## ЭВОЛЮЦИЯ ОТНОШЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА К СМЕРТИ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ФИЛОСОФИИ

*Мельникова Д. В., студент гр. 024402*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Лагунова Е.Н. – преподаватель*

**Аннотация.** Работа посвящена проблеме интерпретации понятия смерти в европейской философии и культуре на основе анализа книги Филиппа Арьеса «Человек перед лицом смерти». Предпринята попытка применения его подхода к исследованию феномена смерти в философских направлениях экзистенциализма.

**Ключевые слова.** Страх смерти, существование, сущность, экзистенциалы, Dasein.

С течением времени представления общества о жизни и смерти претерпевали изменения в зависимости от развития мировоззрения в обществе и влияния идей философов и просветителей. В своей работе мы попробуем изучить проблему страха смерти в европейском обществе и проследим эволюцию интерпретации проблемы смерти в европейской философии.

Французский историк-антрополог Филипп Арьес считал, что смерть – один из основных факторов, влияющих на развитие коллективного сознания, которое было прямо связано с изменениями представлений человека о смерти. В работе «Человек перед лицом смерти» Арьес

выделяет такие критерии как индивидуальное самосознание, защитные механизмы против неконтролируемых сил природы, вера в загробную жизнь и вера в связь между злом и грехом, страданием и смертью, что позволило ему выделить пять этапов эволюционного развития личностного и коллективного отношения к смерти.

Первый этап – Смерть прирученная – начинается с древних времен и перетекает в Раннее Средневековье. Общество относилось к смерти без страха. «Прирученную смерть» принимали в качестве естественного окончания жизненного пути. Отсутствие страха перед смертью у людей Раннего Средневековья Арьес связывает с отсутствием убежденности в том, что умерших ожидали суд за прожитую жизнь и возмездие за совершенные грехи. Начало второго этапа – Смерть своя – связано с возникновением образа Страшного суда. Данная идея утвердилась в период между XI и XIII столетиями, а примерно с XV в. появляется представление об индивидуальном суде. Такие изменения Арьес объясняет ростом индивидуального сознания. Третий этап эволюции в переживании смерти – Смерть далёкая и близкая – пришёлся на Ренессанс и длился вплоть до XVIII века. Люди стали уделять больше внимания материальному благосостоянию и меньше – духовному. Это затронуло и аспект смерти человека: заботу при жизни о сохранности своих богатств после смерти Арьес представлял как «смерть близкую», а «заботу о душе» отодвигаемую вплоть до последней предсмертной минуты – как «смерть далёкую». Четвертый этап – Смерть твоя – Арьес относит к началу Нового Времени. В обществе появилось новое явление – траур, вызываемый уходом из жизни любимого человека. Арьес связывает его с укреплением эмоциональных уз и возросшей роли межличностных отношений. Наряду с этим возникает тенденция снижения страха перед воздаянием за грехи, меняется отношение к смерти: она становится возможностью встречи с любимыми людьми. На пятый этап – Смерть перевёрнутая, – который соответствует современности, приходится зарождение страха перед собственной смертью и даже ее упоминанием. Ритуал смерти и похорон является теперь рациональной процедурой, проведение которой максимально упрощено и стандартизировано, но эта процедура неизвестна «человеку умирающему»: она становится понятной только после смерти, причём, другим, а не ему. Таким образом современная рационализация смерти связана с психологическим комфортом общества, думающего, скорее коллективно, нежели индивидуально.

Представленная Арьесом периодизация является одной из первых и наиболее полных по данной теме. Однако она была подвержена критике, так как за основу исследований он брал художественные произведения, которые часто в должной мере не соответствовали действительности. Кроме того, в своем труде он переносит ментальные установки элиты на все слои общества, не беря во внимание особенности восприятия смерти, присущие необразованным людям. Однако для нашей работы периодизация Арьеса является приемлемой, поскольку объектом анализа являются философские труды, а их авторы являлись представителями интеллектуальной элиты своего времени.

В своих трудах проблему страха смерти затрагивали многие философы. Мы рассмотрим работы представителей философских течений стоицизма, гуманизма, экзистенциализма.

Марк Тулий Цицерон, философ-стоик, рассматривал вопрос страха перед смертью в трактате «Тускуланские беседы». Так, рассуждая о том, что такое душа, и что с ней происходит после смерти тела, Цицерон приводит мысль Платона, что душа живёт вечно и не умирает вместе с телом, идею эпикурейцев, что после смерти душа рассеивается на мелкие частицы, а также убеждение атомистов, что душа рождается и гибнет вместе с телом. Цицерон, отталкиваясь от предположения, что смерть есть зло для умерших и для тех, кому предстоит умереть, анализирует упомянутые позиции философов. Если душа заканчивает своё существование вместе со смертью тела, то смерть – это ничто, а ничто не несёт в себе для человека ни добро, ни зло. В ином случае, если душа бессмертна, то Цицерон исходит из позиции Платона и в свою очередь утверждает, что после смерти человека его душу ждёт блаженство. Такая позиция Цицерона касательно того, что страх смерти не имеет смысла, поскольку сама смерть не является злом, соответствует первому этапу изменения отношения человека к смерти по Арьесу – «смерти прирученной».

Мишель Монтень, философ-гуманист, в своём труде «Опыты» он за основу рассуждений берёт позицию Цицерона «философствовать – это ни что иное, как приуготовлять себя к смерти». С одной стороны, Монтень отмечает, что в обществе укоренилась позиция, что преодоление страха смерти напрямую связано с достижением добродетели. С другой стороны, Монтень призывает бороться со страхом смерти путём её познания. Философ полагает, что поиски истины раскрывают границы сознания и влекут душу за пределы тела, тем самым одновременно имитируя состояние смерти, но, вместе с тем, предвосхищают его. Сам автор заявляет, что путём размышлений о смерти научился бороться со страхом её, подразумевая под этим страх смерти души. Однако он так и не смог избавиться от страха материальной смерти: в своём труде он описывает случай, когда, находясь в полном здравии, он поспешил составить завещание, поддавшись страху оставить за собой незаконченные дела. Можно сделать вывод, что отношение к смерти самого Монтеня соответствовало третьему этапу изменения восприятия смерти, описанному Филиппом Арьесом, в то время как позиция большей части общества совпадала со вторым этапом.

Жан-Поль Сартр в работе «Экзистенциализм – это гуманизм» разделяет представителей экзистенциального направления на религиозных экзистенциалистов и экзистенциалистов-атеистов. Однако вне зависимости от религиозности они сходятся в том, что существование предшествует сущности. Страху в таком формировании человеческой сущности они определяют одну из главных ролей. Саму тревогу смерти философы в своих работах описывают как осознание «мимолётности бытия» (Ясперс), «ужас не-бытия» (Кьеркегор), «невозможность дальнейшей возможности» (Хайдеггер).

Сёрен Обю Кьеркегор, философ-экзистенциалист, основной темой своих работ выбрал самоопределение человека в поиске пути к Богу. В «Болезни к смерти» автор высказывает мысль, что победить страх смерти может только вера. Смерть в его представлении тесно связана с духовным миром человека. Кьеркегор вводит понятие «болезнь к смерти», которое характеризует как отчаяние, порождённое осознанием неизбежности смерти. В своей работе Кьеркегор пытается найти «лекарство» от отчаяния перед смертью и находит его в абсурдной, по его мнению, вере в Бога, которую он также называет отчаянием, но отчаянием перед Богом.

Мартин Хайдеггер интерпретировал представление Кьеркегора о смерти и создал концепцию страха смерти, которая в меньшей степени связана с верой в Бога, чем у Кьеркегора. В работе «Бытие и время» Хайдеггер вводит понятие Dasein, которое подразумевает осознание себя, как существующего здесь и сейчас. Бытие Dasein Хайдеггер раскрывает через экзистенциалы – параметры, характеризующие Dasein. Один из них – «страх» (Angst). Феномен же «смерти» тесно связан с феноменом «страха», а, значит, и с бытием Dasein. «Страх» ставит само Dasein перед лицом смерти, раскрывая ему «смерть» как его собственную чистую возможность - возможность быть самостью. Хайдеггер считает, что Dasein знает о смерти исходя из наблюдения факта смертей других. Познавая смерть другого, человек интерпретирует полученный опыт на себя, что является «предвосхищением» смерти, так как осмысление предстоящей собственной смерти побуждает сознание к более высокому уровню существования. «Бытие и время» Хайдеггера соответствует четвёртому этапу «смерть твоя», выделенному Арьесом. Во многом схожую с Хайдеггером точку суждения Кьеркегора можно ошибочно соотнести со вторым периодом по Арьесу «смерть своя». Однако Арьес в качестве главной причины страха смерти выделял пугающую перспективу Страшного Суда после смерти, в то время как Кьеркегор приравнивает страх смерти к страху просто перестать существовать вообще – страху не-бытия.

Таким образом, эволюция понятия смерти в европейской культуре и философии может быть представлена как движение от индивидуального и коллективного бесстрашия через трагедию уникального существования и личного бытия-к-смерти к коллективному психологически-комфортному забвению смерти.

**Список использованных источников:**

1. Арьес, Ф. *Человек перед лицом смерти* / Ф. Арьес. – М.: Издательская группа «Прогресс», 1992. – 146 с.
2. Цицерон. *Тускуланские беседы* / Цицерон // *Избранные сочинения*/ Цицерон. – М.: «Художественная литература», 1975. – С. 207-248.
3. Мишель, М. *Опыты. Избранные произведения в 3-х томах* / М. Монтень. – М.: Голос. – Т.1, 1992. – 416 с.
4. Сартр Ж.-П. *Экзистенциализм – это гуманизм* / Жан-Поль Сартр // *Сумерки богов*. – М.: «Политиздат», 1989. – С. 319–344.
5. Кьеркегор, С. *Болезнь к смерти* / С. Кьеркегор. –М.: Академический проект, 2014. – 157 с.
6. Хайдеггер, М. *Бытие к смерти* / М. Хайдеггер// *Бытие и время*/ М. Хайдеггер. – Харьков: «Фолио», 2003. – С. 269-303.

UDC 130.2

## EVOLUTION OF HUMAN ATTITUDE TO DEATH IN EUROPEAN PHILOSOPHY

*Melnikova D.V.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lagunova E.N. – professor*

**Annotation.** The work examines the concept of death in European philosophy and culture on the basis of the analysis of the book by Philippe Aries "Man in the face of death". An attempt was made to apply his approach to the study of the phenomenon of death in the philosophical directions of existentialism.

**Keywords.** Fear of death, existence, essence, existentials, Dasein.

УДК 37.032

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Гайдина П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Лагунова Е.Н. – преподаватель

**Аннотация.** Важной проблемой для большого круга фундаментальных и прикладных наук, в частности, философии, психологии, менеджмента, является вопрос о соотношении аффективного и рационального в человеке. В своей работе мы раскрываем эту проблему через понятие эмоционального интеллекта, его структуру и место в повседневной жизни человека.

**Ключевые слова.** Эмоциональный интеллект (EI), коэффициент эмоционального интеллекта (EQ), коэффициент интеллекта (IQ), рациональность, эмоции, мотивация.

Эмоции – неотъемлемая часть человеческой сущности, мгновенная реакция на происходящее, данная человеку от самого рождения. Однако эмоции могут испытывать и некоторые животные, так как за реакции отвечает лимбическая система, более древняя часть, чем кора полушарий головного мозга.

Некоторые элементы человеческой психологии были заложены с древних времен. Уже тогда эмоции оказывали сильное влияние на поведение человека и его действия. Даже пройдя долгий процесс эволюции от человекообразной обезьяны до нынешнего современного человека, некоторые аспекты нашей психологии, заложенные инстинктами, по-прежнему определяют наше поведение в некоторых ситуациях. Например, в минуты сильной тревоги или испуга в человеческом организме происходит выброс адреналина, вследствие чего учащается сердцебиение, в мышцы поступает больше кислорода, увеличивается приток крови к отделам мозга и действия совершаются значительно быстрее: тело как будто готово к бегу и другим активным действиям. А когда человек испытывает удивление, его глаза раскрываются, стараясь охватить и обработать максимальное количество информации, которое возможно.

Эмоции имеют непосредственное отношение к мотивации поведения человека, могут заставлять его что-то делать или наоборот тормозить в выборе следующего шага. В критические моменты чаще всего именно эмоции подсказывают как поступить, повинаясь внутреннему голосу.

Через эмоции человек отражает субъективное отношение к окружающему его миру. Благодаря им люди не только выражают свой взгляд на те или иные вещи, но еще и руководствуются ими при принятии решений. Эмоции можно назвать своеобразным мотиватором, побуждением к определенным действиям и решениям, основанным на личном, субъективном отношении человека к происходящему

Эмоции не только контролируют наше настроение, влияют на решения, но еще могут и человеку дать сигнал о проблемах в организме. Чаще всего люди с проблемами испытывает отрицательные эмоции, в то время как люди, у которых всё в порядке, чаще радуются жизни и выглядят более радостно.

Считается, что у человека два мозга: эмоциональный и рациональный. До недавнего времени человечество говорило только про IQ, но теперь всё больше распространяется информация об EI, ведь зачастую именно эмоции контролируют человека и его поступки. В самом общем смысле, эмоциональный интеллект – это умение распознавать свои и чужие эмоции и управлять ими. Как явление, эмоциональный интеллект мало изучен и зачастую подвергается сомнению. Некоторые учёные утверждают, что EI можно со временем развить, в отличие от IQ, но также выдвигаются теории, что эмоциональный интеллект такой же врожденный, как и коэффициент интеллекта.

В чём же отличия и сама суть эмоционального интеллекта?

Если IQ отвечает за умственную деятельность, способность логически размышлять и пользоваться возможностями мозга, за “профессиональную часть человека”, то EQ ответствен за восприятие и обработку эмоциональной составляющей. Раньше считалось, что для успешной карьеры достаточно иметь высокий уровень IQ, но с недавних пор благодаря некоторым научным исследованиям, многие учёные пришли к выводу, что EI и EQ не менее важны, а иногда становятся и главнее IQ.

В силу относительной новизны проблемы, существует несколько трактовок понимания, измерения и развития эмоционального интеллекта.

В работах Р.Бар-Она эмоциональный интеллект исследуется с точки зрения совокупности определенных качеств человека, способствующих защите его от негативных факторов окружающего его мира. Позже он сформулировал свою модель EI, состоящую из пяти компонентов, включая стрессорегуляцию и общее настроение. Дж.Майер и П.Саловой определили эмоциональный

интеллект как способность принимать, вызывать эмоции, повышать эффективность мышления, понимать эмоции и регулировать их с целью развития как интеллектуально, так и эмоционально. Позже ими была создана методика MSCEIT – The Mayer-Salovey-Caruso Emotional Intelligence – для определения коэффициента эмоционального интеллекта и исследования способностей, определенных в их структуре. Научный журналист Дэниэл Гоулман, автор книги “Эмоциональный интеллект почему он может значить больше, чем IQ?”, решил обобщить модель Майера-Саловея-Карузо и предположил, что эмоциональный интеллект тесно связан с коэффициентом интеллекта, и вместе они дают хороший результат в жизни и работе человека.

В целом, общим моментом для всех исследований является определение следующих особенностей EI:

1. Самопознание и способность понимать эмоциональное состояние себя и других;
2. Саморегуляция и способность вызывать определенную эмоцию, контролировать её;
3. Эмпатия и способность сочувствовать;
4. Способность управлять чувствами и эмоциями других людей;
5. Мотивация и социальные навыки.

Для чего необходим эмоциональный интеллект?

Д.Гоулман в своей книге отмечает, что эмоциональный интеллект способствует личным достижениям человека. Способность четко контролировать свое эмоциональное состояние в экстренных ситуациях помогает развить механизм приспособления к жизни. Люди с высоким уровнем эмоционального интеллекта обладают большей внутренней мотивацией. Другими словами, они мотивированы внутренними причинами больше, чем желанием получить награду, славу и деньги.

Практически каждый вид деятельности так или иначе связан с социальным взаимодействием, а на работе в IT, по данным Brighthon School of Business and Management, уровень эмоционального интеллекта, относящийся к Soft Skills, в два раза важнее Hard Skills. Показатель EQ влияет на стрессоустойчивость, эффективность работы, способность совладать с эмоциями.

Высокий уровень эмоционального интеллекта помогает лучше разбираться в социальном взаимодействии людей. Развитое чувство эмпатии – способности сопереживать и сочувствовать – располагает других к себе, а возможность поставить себя на их место открывает ситуацию другого с иной точки зрения. Чем выше уровень EQ, тем проще понимать и считывать эмоции других людей по жестам, мимике, голосу и действиям.

Обладатель высокого коэффициента эмоционального интеллекта лучше разрешает конфликты, легче социализируется в новом окружении и ему проще взаимодействовать с другими людьми. Как следствие, человек с высоким EQ лучше работает в коллективе и чаще всего хорошо справляется с лидерской позицией.

Эмоциональный интеллект также сказывается на семейной жизни. Уровень EQ влияет на степень доверительности в отношениях и взаимопонимание: семейные пары, в которых оба супруга имеют высокий уровень эмпатии, лучше общаются друг с другом. Также высокий уровень EQ влияет на конфликтность и исход конфликтов: чем выше уровень EQ, тем лучше находится компромисс и ссоры решаются чаще всего спокойно.

Как развить эмоциональный интеллект? Некоторые исследователи, в частности, Дж.Майер и П.Саловея, придерживаются мнения, что эмоциональный интеллект можно развить, в отличие от коэффициента интеллекта, хотя и он тоже варьируется. Приобретая социальные навыки, учась контролировать свои эмоции, человек развивает отдельные способности эмоционального интеллекта.

Через простые шаги, которые можно ввести себе в привычку, можно без затрат лишних ресурсов, развить в себе эмоциональный интеллект.

К примеру, один из самых простых – это изучение самого себя, изучения своих эмоций в отношении других людей, поиск ответов на вопросы “а почему у меня именно такое отношение к нему/ней”, “мыслию ли я стереотипами”. Следует тренировать свой мозг проходя различного рода тесты на определение уровня эмоционального интеллекта и анализируя свои слабые места, с целью узнать самого себя через призму разложения уровня эмоционального интеллекта на несколько составляющих.

Можно пробовать подмечать свое поведение в стрессовых ситуациях и после анализировать свое поведение и свои действия, но еще лучше, если осуществлять рефлекссию во время стрессового момента в жизни. Честные вопросы самому себе и честные ответы перед самим собой – ключ к лучшему пониманию не только себя, но и окружающих людей.

Таким образом, EI как способность понимать людей и их эмоции можно и нужно развивать (через самоанализ, наблюдение за изменением своего настроения, за своей и чужой реакцией на происходящее вокруг) для плодотворной личностной и социальной коммуникации.

**Список использованных источников:**

1. Д. Гоулман Эмоциональный интеллект. Почему он может значить больше, чем IQ / Д. Гоулман. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 560 с.
2. Социальный интеллект: Теория, измерение, исследования / Под ред. Д. В. Люпина, Д. В. Ушакова. – М. : Институт психологии РАН, 2004. – 176 с.

UDC 37.032

## THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF EMOTIONAL INTELLIGENCE

*Haidzina P.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lagunova E.N. – professor*

**Annotation.** The concept of emotional intelligence (EI) has arisen relatively recently and although it is still not fully understood, it is beginning to take root in psychology along with the IQ. What it is, what structure it has and what place a person occupies in everyday life – we tried to figure it out.

**Keywords.** Emotional intelligence (EI), emotional intelligence quotient (EQ), rationality, emotions, motivation.

УДК

## ГЕНЕЗИС КОНЦЕПЦИИ ПОСТГУМАНИЗМА

*Мешок А. Д.<sup>1</sup>, студент гр.951002*  
*Протасеня В. Н.<sup>2</sup>, студент гр.951002*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>*  
*г. Минск, Республика Беларусь*

*Шкундич А.О. – преподаватель*

**Аннотация.** В данной статье авторы рассматривают происхождение понятия «постгуманизм», начиная с работ Джулиана Хаксли и до настоящего времени. Если на этапе происхождения термина этическая сторона вопроса не рассматривалась, то в дальнейшем Роза Брайдотти и Донна Харауэй пытаются связать свои этические и политические взгляды с рассматриваемой в этом тексте концепцией. Ко всему прочему, данная работа включает в себя идеи возможного развития политической, культурной и экономической парадигм человечества в будущем.

**Ключевые слова.** Постчеловек, постгуманизм, трансгуманизм, капитализм, социализм

Проблемы формулировки точного определения понятия «постгуманизм» начинаются уже с выделения всех включаемых в него направлений мысли. Согласно философу Франческе Феррандо, данное понятие включает в себя антигуманизм, культурный постгуманизм, философский постгуманизм, постчеловеческое состояние, трансгуманизм, метагуманизм, новые материализмы и прочие определяемые внутри них идеи. Истоки постгуманистических идей можно проследить ещё в работах Фридриха Ницше, в которых он критикует человека как раба христианской апологетики, тем самым определяя его несовершенство.

Одним из главных популяризаторов трансгуманизма являлся Джулиан Хаксли, который и ввёл термин «трансгуманизм» в широкий обиход в 1957 г. Этическая сторона процесса улучшения физиологии и мыслительных процессов человека тогда ещё не рассматривалась. Однако истоки идей возникли уже тогда, и сейчас трансгуманизм рассматривается как часть постгуманизма, но теряя при этом главного – концепции вживления в человека техники для модернизации его биологии.

Термин же «постгуманизм» появился позже. Теоретик культуры Ихаб Хассан был тем, кто связал воедино постмодерн и постгуманизм, даже предлагая заменить первое вторым. Он полагал, что сутью такой культуры станет развитие как таковое, с обязательным расширением человеческого до просторов Вселенной. Переход к постгуманистическому связывался с развитием технологии искусственного интеллекта – правда, без уточнения о возможных последствиях. Если же, как и Хассан, оглядываться при этом на поп-культуру, то можно вспомнить, например, фильмы Стивена Спилберга из серии «Терминатор», где искусственный интеллект узурпировал власть над человечеством, будучи де-факто продуктом его производства, или фильм Ридли Скотта «Чужой», где искусственный интеллект пытался погубить членов экипажа корабля «Ностромо». Если искать в поп-культуре примеры добродетельного искусственного интеллекта, то можно вспомнить первую компьютерную игру серии «Deus Ex», где ИИ с именем Гелиос хочет помочь народу Америки избавиться от гнёта главы корпорации «VersaLife» Боба Пейджа. Таким образом, дальнейшее развитие человечества по постгуманистическому пути будет зависеть от самого человека. Хассан



приводил в пример ИИ из фильма Стенли Кубрика «Космическая Одиссея 2001» ХЭЛ, говоря, что он для человека странен, но могущественен и пафосен. Стоит, правда, отметить, что данное утверждение будет корректным, если мы посчитаем поп-культуру достойным источником в вопросе определения постчеловека.

Позже деятели постгуманистической мысли начали развивать свои идеи, чтобы предложить способ преодолеть постмодерн и дефекты человеческой природы. В частности, одним из первых, кто нашёл способ преодолеть постмодернизм, был Бруно Латур, который ссылался на термины «гиперреальность» и «симулякр» Бодрийяра. Латур в книге «Нового времени не было. Эссе по симметричной антропологии» утверждал, что постмодернизм – это скептицизм в критической степени, настолько всеобъемлющий, что не может определиться со своей способностью заменить Конституцию Нового времени. Под этой «конституцией» он понимал ситуацию, в которой человек отделил и возвысил себя над прежним собой, разорвав связь с природным и божественным. Этот разрыв фиксирует все «не-человеческое», например, вещи или зверей. Словом, всё то, что не является человеком.

Рассмотрим поостгуманизм с точки зрения феминистского движения 1980-х гг. Розы Брайдотти и Донна Харауэй в начале своего пути постоянно ссылались на работы Латура, показывая на их примере, что исторически сложившееся неравенство человеческого и не-человеческого приводит к возникновению властных отношений, где первое обладает явными социальными привилегиями относительно второго. Такое неравенство подпитывает процесс «нормализации», при котором все больше категорий людей становятся «человеческими». В традиционном смысле «нормой» будет, например, гетеросексуальность, европеоидная внешность и мужской пол, хотя тут чёткое определение «нормы» найти, кажется, несколько проблематично. Расширить границы человеческого предлагается с помощью объединения людей в единую сеть, используя программирование и робототехнику, чтобы создать мир, состоящий из киборгов – гибридных организмов. В таком мире, по мнению Донны Харауэй, киборги будут идентифицировать себя не по цвету кожи, происхождению, полу или сексуальной ориентации, а по политическим взглядам и мировосприятию, основанному на чувственном переживании полученного опыта и окружающего мира.

В связи с возникновением объектно-ориентированной онтологии и акторно-сетевой теории феминистское движение привнесло в постгуманистическую риторику понятие «новых материализмов», то есть разделение всех природных существ на агентов, мыслящих субъектов. Таким образом, человек – один из множества агентов природы.

Есть, однако, и другой подход, который используют неорационалисты. Человеческая сущность отождествляется с интеллектом, самостоятельно принимающим решения об аспектах своего бытия. Здесь, если вспоминать феминизм 1980-х гг., идея о сети киборгов перерождается в единый ИИ, который оторвётся от своей первоначальной природы. Именно в этом они видят способ преодоления консервативного, по их мнению, понимания человеческого, которое пытается определить человека через его природные недостатки.

Таким образом, сейчас существует два взгляда на постчеловека: один, при котором мы будем гуманизировать всё и вся, и другой, при котором мы пытаемся увидеть человеческое в алгоритмах и программах. Оба подхода апеллируют к социалистическим идеям о равенстве и единстве, предлагая вместо революции пролетариата революцию технологическую.

Как кажется авторам статьи, никто из вышеперечисленных не пытается рассмотреть переходный период от человека к постчеловеку, а между тем, видимые перспективы кажутся не слишком радужными.

Так как в капиталистическом обществе экономика основана на частном бизнесе, то, соответственно, производством техники для вживления в человека будут заниматься частные предприятия. Для покрытия затрат на это производство техника будет облагаться ценой, которую будущий пользователь заплатит за неё. Ввод таких технологий в обиход, конечно, не будет единовременным из-за разницы доходов населения и разделения его на классы. В обществе, вместо деления на человека и не-человека, появится деление на людей с разными по качеству функциональными аугментациями, что так или иначе будет поддерживать социальный разлад. Помимо всего прочего, киборги будут зависимы от компаний, которые производят такую технику, напрямую, а не косвенно. Если сейчас человек может отказаться от гаджетов и, пусть с некоторыми сложностями, но существовать в современном обществе, то отказаться от аугментаций уже не получится из-за человеческих природных ограничений – пришить обратно когда-то утерянную конечность уже не выйдет. Вместо будущих Путина, Байдена, Макрона, Лукашенко и прочих глав государств, человечество получит новых лидеров в лице Тимов Куков, Ларри Пейджей, Сергеев Бринов, Аркадиев Волож и прочих генеральных директоров и основателей компаний, которые смогут идти в ногу со временем.

Более того, как и всякая продукция человека, техника несовершенна. Из-за алгоритмических ошибок, слабой износоустойчивости и брака при производстве, такая техника будет нуждаться в постоянной поддержке рабочего состояния тех, кто будет способен ее сделать. Если проблему износа человек будущего сможет решить самостоятельно, то фундаментальные ошибки, которые

будут заложены в ПО этой техники, могут привести к гибели человека, пусть и некоторые постгуманистические направления не будут возражать против такого исхода.

Таким образом, властные отношения не только сохраняться в технокапиталистической сингулярности, но и усложнятся. Хотя, возможно, станут неактуальными такие понятия неравенства как «расизм», «муже/женоненавистничество», «гомофобия» и т.д.

Движение по пути постчеловеческого губительно для цивилизации. Человечество будет ждать страшный и неопределённый исход, когда оно откажется от самого себя, даже если это будет естественной стадией эволюционного процесса.

**Список использованных источников:**

1. Постгуманизм: преодоление и наследие постмодернизма / Павлов А. В. // Вопросы философии – 2019. – Выпуск №5 С. 24-35 [Электронный ресурс].
2. Манифест киборгов: наука, технология и социалистический феминизм 80-х / Донна Харауэй // Изд-во AdMarginem : серия Minima - 2017. – 128 с.
3. Нового Времени не было. Эссе по симметричной антропологии / Бруно Латур // Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге - 2006. – 238 с.
4. О постчеловеческой субъективности: становясь-с животными, растениями и машинами / Никитина Е. Б. // Moscow Art Magazine – 2018. – Выпуск №106 [Электронный ресурс].

UDC

## GENESIS OF THE CONCEPT OF POSTHUMANISM

Meshok A.D.<sup>1</sup>, student of group 951002, Protasenya V.N.<sup>2</sup>, student of group 951002

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus

Shkundich A.O. – Lecturer at the Department of Philosophy

**Annotation.** In this article the authors try to review the origins of the term "posthumanism," starting with the works of Julian Huxley and continuing up to the present. While ethics was not considered at the term's origin, later on people like Rosie Bridotti, Donna Haraway, and many others have tried to relate their own ethical and political views to the concept discussed in this text. In addition, this work also includes ideas for possible future political, cultural, and economic development of humanity's paradigms.

**Keywords.** Posthuman, posthumanism, transhumanism, capitalism, socialism

УДК

## ПРОБЛЕМА СОЦИАЛЬНОЙ НЕСПРАВЕДЛИВОСТИ В СОЦИАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ ДЖ.А. КОЭНА

Драгун В.С. студент гр.921704

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь

Шкундич А.О., преподаватель

**Аннотация.** Автор использует теоретическое наследие философа Джеральда Аллана Коэна для философской оценки аналитического подхода. Нужна ли она левой теории? Коэн отделяет диалектическую метафизику Гегеля от марксизма и строит свою апологетику, пользуясь, в первую очередь, строгими аналитическими выводами. При этом, являясь достаточно радикальным марксистом, соглашается с некоторыми либертарианскими выводами и, предлагает свою трактовку производственных отношений и надстройки.

**Ключевые слова.** Дж.А. Коэн, К. Маркс, аналитический марксизм, социализм.

В наше время появляются новые политические партии и политические идеи. В условиях серьезных социальных, политических и экономических трансформаций, методологические инструменты, которые применяли классики марксизма, перестали соответствовать современным исследовательским стандартам. Термины, такие как, «классовая борьба» требуют новой трактовки. Их актуальность не подвергается сомнению, появилась потребность в исследованиях, для создания политического дискурса, при сохранении фундамента марксизма. Аллан Коэн является примером

таких исследований.

Начав свою карьеру с анализа философии истории Маркса, он стал его защитником, но в будущем стал его критиковать: «Писал я о теории истории Карла Маркса, в истинность которой страстно верил и которую хотел защитить от критики, поддерживаемой многими, но представлявшейся (и представляющейся сейчас) мне неверной» [1]. Коэн реконструирует теорию Маркса, используя методы аналитической философии, отрицая наличие диалектики. А при интерпретации Коэн использует механизм функционального объяснения, суть в открытии функций, выполняемых данным объектом в системе, частью которой он является [2].

Так существование надстройки нашей культуры объясняется требованием развития производственных отношений, а они нужны для развития производительных сил, следовательно, технологий. По мнению Коэна, для защиты фундаментальных понятий марксизма, нужно использовать современные научные методы, к примеру, теорию игр. Для получения ответа на вопрос о причинах долголетия капитализма и перспективах выживания социализма [3] или вопроса о способности, неспособности рабочих стать главной движущей силой, в процессе перехода к новому типу общественного устройства [4], нужны дискуссии. Но самым интересным является первое знакомство Коэна с либертарианскими выводами Роберта Нотика, где он заметил схожесть природы аналитического марксизма и либертарианства.

Коэн формулирует тезис о том, что коммунизм и марксизм не предполагают, и не заинтересованы в справедливости и, в моральном обосновании равенства. Теоретик предполагает об экстравагантном оптимизме Маркса и некоторые тезисы Маркса – ложь.

К примеру, автор опровергает тезис о супер изобилии. Коэн признает ложность тезиса о росте рабочего класса, как о факторе установления социализма. Это значит, что не существует какого-то гомогенного классового мышления, по следующим причинам: «Рост технического знания не остановился и не остановится, но производительная мощь, то есть возможность (с учетом всех факторов) превращать природу в потребительскую стоимость, не может развиваться соразмерно ему, потому что планета Земля восстает: ее ресурсы оказываются недостаточно щедрыми для того, чтобы продолжительный рост в техническом знании производил неустанное увеличение потребительской стоимости» [1].

Когда Коэн задает вопрос о совместимости свободы и равенства, он тем самым отсылает к демаркации между теми, кто являются приверженцами свободы и равенства на распределение благ в широком смысле слова. Коэн пишет, что они не противоречат, а совместимы, но при совмещении, мы получим социализм.

Таким образом, для чего может быть применим данный аналитический подход? Не для завлечения новых сторонников в левое движение. Актуальность заключается в том, что автор выстраивает маленькие мостики между противоречивыми течениями. Если речь идет о взаимопонимании и в последующем об общественном договоре, Коэн не дает ясного и четкого ответа на поставленный им вопрос о равенстве и свободе, тем самым создавая пространство для критики и аналитики и, затрагивая тем самым потребность для создания эффективных способов коммуникации и обоснования взглядов для дискуссии.

#### **Список использованных источников:**

1. Джеральд Коэн. История, этика и марксизм 2020//<https://syg.ma/@dmitry-sereda/dzhierald-koen-istoriia-etika-i-marksizm> (доступно на 20 марта 2021).
2. McLaughlin, P. 2001. What Functions Explain: Functional Explanation and Self-Reproducing Systems. Cambridge: Cambridge University Press.
3. *Analytical Marxism* / Ed. by J. Roemer. Cambridge, 1986. P. 2.
4. Cohen G.A. *History, labour and freedom: themes from Marx*. Oxford; N.Y., 1988. P. 12.

UDC

## **THE PROBLEM OF SOCIAL INJUSTICE IN THE SOCIAL PHILOSOPHY OF J.A. COHEN**

*Drahun V.S.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Shkundich A.O. –Educator*

**Annotation.** Annotation. The author uses the theoretical legacy of the philosopher Gerald Allan Cohen for a philosophical assessment of the analytical approach. Does leftist theory need it? Cohen separates Hegel's dialectical metaphysics from Marxism and builds his apologetics, using, first of all, strict analytical conclusions. At the same time, being a rather radical Marxist, he agrees with some libertarian conclusions and offers his own interpretation of production relations and superstructure.

**Keywords.** J.A. Cohen, K. Marx, analytical Marxism, socialism.

**СЕКЦИЯ «ФИЗИКА»**

УДК 378.016

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ В УСЛОВИЯХ ПРОЕКТА «ЭВРИСТИКА В ФИЗИКЕ» НА ФАКУЛЬТЕТЕ КСиС В БГУИР

Дедина А.В.<sup>1</sup>, Семак Е.А.<sup>1</sup>, Столяр И.А.<sup>2</sup>, Гайнутдинов А.О.<sup>1</sup>, Киреев Ю.В.<sup>1</sup>

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
Белорусский государственный университет<sup>2</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь

Ташлыкова-Бушкевич И.И. – к.ф.-м.н., доцент

**Аннотация.** В работе рассмотрен опыт внедрения на лекционных занятиях по физике в БГУИР проблемно-эвристического обучения, когда часть студентов потока, заинтересованных в углубленном изучении физики, создают творческие работы в рамках проекта «Эвристика в физике». Выполнено сравнение экзаменационных оценок, типов творческих работ и формы их демонстрации, а также опыт, полученный студентами факультета КСиС 2017 и 2019 гг. поступления при работе над проектами.

**Ключевые слова.** Компетентностный подход, проблемно-эвристическое обучение.

Физика является одним из основных общеобразовательных предметов для инженерных специальностей, поэтому каждому студенту технического университета предстоит освоить общий курс физики. В период учебы у некоторых студентов появляются проблемы с пониманием этого предмета. Физику считают сложным предметом из-за специфической терминологии и многочисленных формул. На начальном этапе изучения многое зависит от преподавателя. Среди главных задач преподавателя можно выделить следующие: мотивировать студентов изучать физику и сформировать в процессе обучения у них критическое мышление, научить объяснять изучаемые явления, что будет способствовать развитию творческих способностей студентов [1].

В данном исследовании представлены результаты проведения проекта «Эвристика в физике» на факультете компьютерных систем и сетей (ФКСиС) в БГУИР в лекционном курсе «Физика» на примере весеннего семестра 2018/19 и 2020/21 уч.г., когда студенты изучают разделы «Электричество и магнетизм» и «Оптика». В основе проекта лежит авторская технология доцента кафедры физики БГУИР И.И. Ташлыковой-Бушкевич организации лекционных занятий с элементами проблемно-эвристического обучения [2]. Выполненные успешно в рамках проекта «Эвристика в физике» [3] студенческие творческие проекты участвуют в онлайн голосовании конкурса на лучшую работу, судьями которого являются студенты потока.

Эмпирическую выборку составили студенты-первокурсники 2017 и 2019 гг. поступления: а) в сезоне 1 (2018 г.) – поток специальностей ВМСиС (750501-6,750701) и ЭВФ (730501), а также поток специальности ПОИТ (751001-7); б) в сезоне 5 (2020 г.) - поток специальности ВМСиС (950501-6) и поток специальности ПОИТ (951001-4). Всего в эксперименте участвовало 658 человек и было подготовлено 63 проекта: в 2018 г. - 370 студентов (39 проекта), а в 2020 г. - 288 студентов (24 проекта). В выполнении творческих работ по физике в сезоне 1 приняли участие 126 студентов (34%), в сезоне 5 – 108 студентов (37,5%).

В первую очередь мы проанализировали результаты экзамена по физике, рис. 1. В общем, гистограммы показывают, что основная доля студентов получила экзаменационные оценки по физике в интервале 6-10 баллов (70,4% в сезоне 1 и 72,0% в сезоне 5).

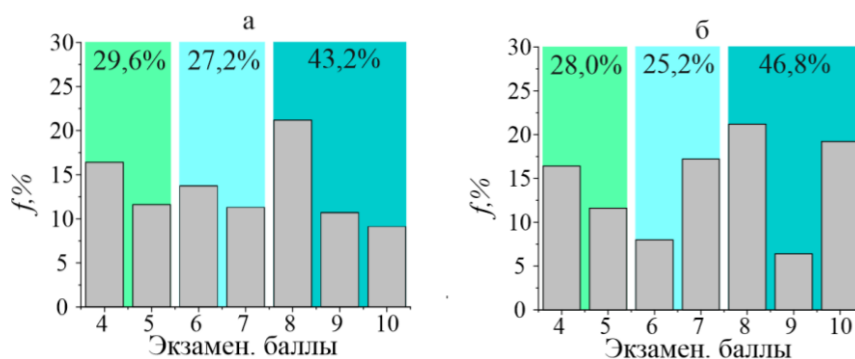


Рисунок 1 - Результаты экзамена 2-ого семестра изучения физики в 2017/2018 (а) и 2018/2019 (б) уч. гг.

На рис. 2 представлен анализ типа и форм презентации проектов в 1 и 5 сезонах. По данным сведениям можно прийти к выводу, что студенты предпочитают выполнять прикладные проекты, в которых они своими руками делают установки и опытные образцы. Также можно заметить, что в 2019 году в основном все проекты были продемонстрированы онлайн в связи со сложной эпидемиологической ситуации из-за пандемии COVID-19, когда большинство студентов были на самоизоляции.

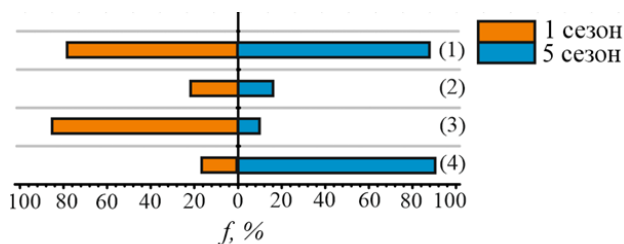


Рисунок 2 - Типы и формы презентации творческих проектов в 2017/2018 (а) и 2018/2019 (б) уч. г.:  
1) практические проекты; 2) теоретические проекты; 3) презентация на лекции; 4) презентация онлайн

Также мы проанализировали анкеты студентов-авторов 5 сезона (2020 г.), в которых студенты отметили приобретенные во время работы над творческими проектами по физике навыки, и сделали вывод, что большинство студентов отметили углубление знаний по физике, а также усовершенствовали навыки работы в команде, креативность, изобретательность и коммуникативные навыки.

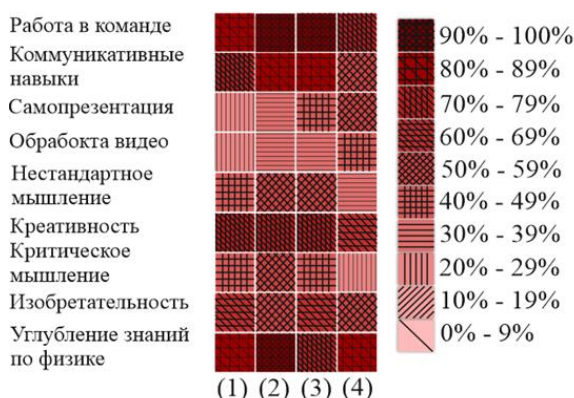


Рисунок 3 - Анализ анкет студентов-авторов 5 сезона в зависимости от их доуниверситетского опыта углубленного изучения физики: (1) участвовали в олимпиадах; (2) участвовали в олимпиадах, конкурсах и конференциях по физике; (3) участвовали в школьных кружках по физике; (4) без опыта

Спросив у студентов, что они думают о такой технологии преподавания, мы выяснили, что они считают, что такая педагогическая технология «заинтересовывает их изучать углубленно физику». Также они учатся работать в команде, получают профессиональные навыки, раскрывают себя в роле лидеров, учатся нестандартно мыслить, грамотно распределять своё время, проявляют креативность.

Таким образом, можно заключить, что в результате участия в проекте «Эвристика в физике» у студентов успешно формируются предметные и метапредметные знания и умения на лекциях по физике.

**Список использованных источников:**

1. Король А.Д., Китурко И.Ф. Основы эвристического обучения / А.Д. Король, И.Ф. Китурко. – Минск : БГУ, 2018. – 207 с.
2. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Апробация авторской технологии организации лекционных занятий со студентами по физике с элементами эвристического обучения / И.И. Ташлыкова-Бушкевич // Высшая школа. – 2019. – № 2. – С. 43–48.
3. YouTube-канал “Эвристика в физике” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tiny.cc/0jbnaz> – Дата доступа: 10.03.2020.

УДК 372.853:378.016

## ЛУЧШАЯ РАБОТА 6-ГО СЕЗОНА «ЭВРИСТИКА В ФИЗИКЕ»: САМОДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОГИТАРА

Суша М.В., Яценко В.П., Калютчик А.А., Халецкий И.А., Ковшер Е.И., Каганович М.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Ташлыкова-Бушкевич И.И. – канд. физ.-мат. наук, доцент

**Аннотация.** Представлена студенческая творческая работа-победитель 6-го сезона проекта “Эвристика в физике”. Целью работы было создание рабочего экземпляра электрогитары из подручных материалов. Особое внимание уделено физике процесса преобразования в электрический сигнал колебаний системы корпус-струны.

Электрогитара - разновидность гитары, имеющая электромагнитные звукосниматели, преобразующие колебания металлических струн в колебания электрического тока. В рамках лекционного курса по физике наша команда студентов специальности “Вычислительные машины, системы и сети” факультета КСиС приняла участие в 6-ом сезоне проекта “Эвристика в физике” [1]. Мы выбрали тему нашей студенческой творческой работы “Самодельная электрогитара”. Целью работы было создание рабочего экземпляра электрогитары. Для этого необходимо было выяснить, каким образом акустическая энергия от колеблющихся струн превращается в электрический сигнал, а затем усиливается и становится привычным для нас звуком [2, 3]. В ходе сборки установки мы изучили работу электрической гитары и её датчиков. Снятие звука было реализовано с помощью двух различных физических явлений, положенных в основу работы звукоснимателей. Реализация дополнительно еще одного типа звукоснимателя (пьезо-, помимо электромагнитного) придает проекту еще большую ценность - мы дополнительно рассмотрели пьезоэффект и пример его использования на практике.

Наша реализация электромагнитного снимателя представляет собой датчик собственной сборки. В основу была положена бобина (см. рис. 1), изготовленная из пластика (см. рис. 2). Изготовление было произведено на базе студенческого инженерно-образовательного центра кафедры ЭВМ БГУИР (“изба-паяльня”). Затем, как и в любом звукоснимателе заводского изготовления, были добавлены магнитопроводы, необходимые для более равномерного распределения магнитного поля вокруг датчика. Намотка проволоки, необходимой для работы датчика, была произведена собственными силами с использованием механизированной установки (см. рис. 3). Источником магнитного поля, необходимого для функционирования датчика, были выбраны неодимовые магниты. Перечень используемых материалов не полностью соответствует их эквивалентам при заводском изготовлении, что обусловлено ограниченной доступностью оборудования и материалов при изготовлении самодельной электрогитары.



Рисунок 1 – Собранный корпус звукоснимателя

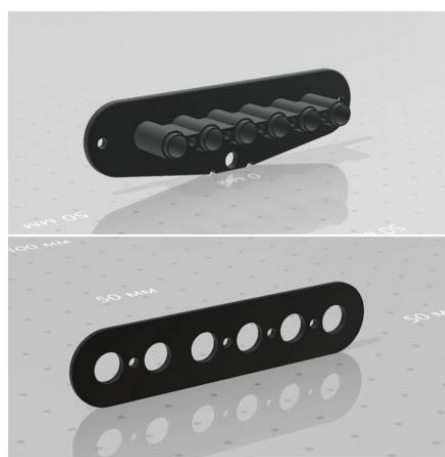


Рисунок 2 – Модель звукоснимателя для печати на 3D принтере из АБС-пластика

Важным условием работы датчиков является использование струн из ферромагнитных материалов. Принцип работы датчика объясняется изменением электромагнитного поля при колебании в нем струны, а значит и изменением ЭДС в проволоке датчика. Воспринимаются только поперечные колебания струн, перпендикулярные в данном случае оси катушки. Зарегистрированный сигнал далее подается на вход усилителя и проходит постобработку. Главной особенностью работы



датчика, по сравнению с также использованным пьезоснимателем, является отсутствие необходимости для правильной работы и качественного снятия звука в резонирующей коробке, т.к. колебания струн преобразовываются напрямую. Отчасти из-за этого было пожертвовано объемом корпуса итоговой установки. Отметим, что для корпуса были использованы материалы на основе дерева, благодаря их широкой доступности и простоте в обработке (см. рис. 4).

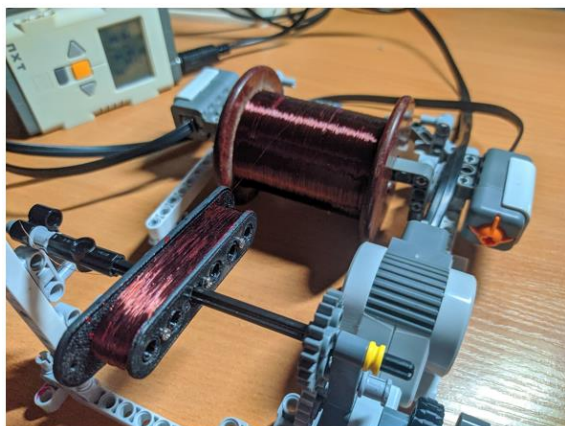


Рисунок 3 – Намотка проволоки на катушку на механизированной установке

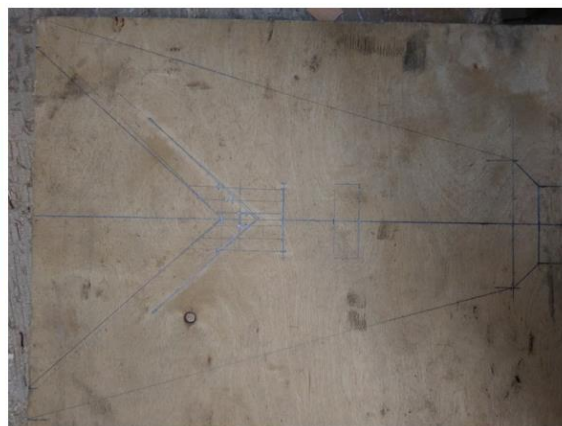


Рисунок 4 – Разметка деталей корпуса

Еще одним типом датчика, реализованного для использования в снятии звука, является пьезоэлектрический звукосниматель (см. рис. 5). В основе его работы лежит пьезоэлектрический эффект. Данный датчик, под действием колебаний поверхности, к которой он прикреплен, создает на выходе разность потенциалов. Эти колебания могут создаваться любым типом струн, причем снимаются они в полной мере - как продольные, так и поперечные. Данный сигнал затем проходит постобработку и, смешиваясь с сигналом, полученным от электромагнитного снимателя, преобразуется в звуковые волны. Преимуществом использования данного датчика является невосприимчивость его к электромагнитным наводкам и шумам. Особым же условием функционирования является необходимость в наличии достаточно большой резонирующей коробки, что, наряду с дешевизной изготовления, и определило сферу использования датчика в акустических инструментах. В нашей установке, в условиях отсутствия резонирующей коробки, наиболее удачным положением для установки пьезоснимателя является гриф гитары, т.к. колебания струн в первую очередь передаются по нему.

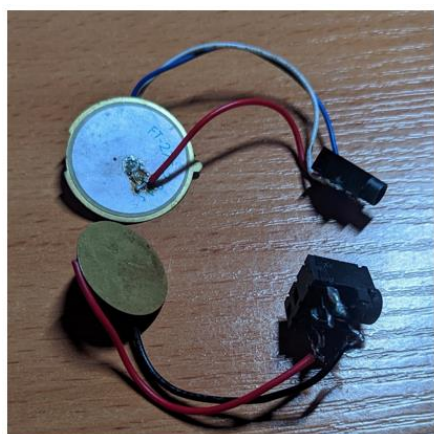


Рисунок 5 – Пьезоэлементы



Рисунок 6 – Самодельный корпус гитары и магнитный звукосниматель

В результате выполнения работы была изготовлена и собрана полностью функционирующая модель электрогитары (см. рис. 6, 7). Преимуществом нашего рабочего образца является простота изготовления и невысокая цена конечного изделия. Также немаловажной частью проведенной работы является углубленное изучение разделов курса физики “Электричество и магнетизм”, а также полученный практический опыт в ходе участия в 6-м сезоне “Эвристика в физике”.



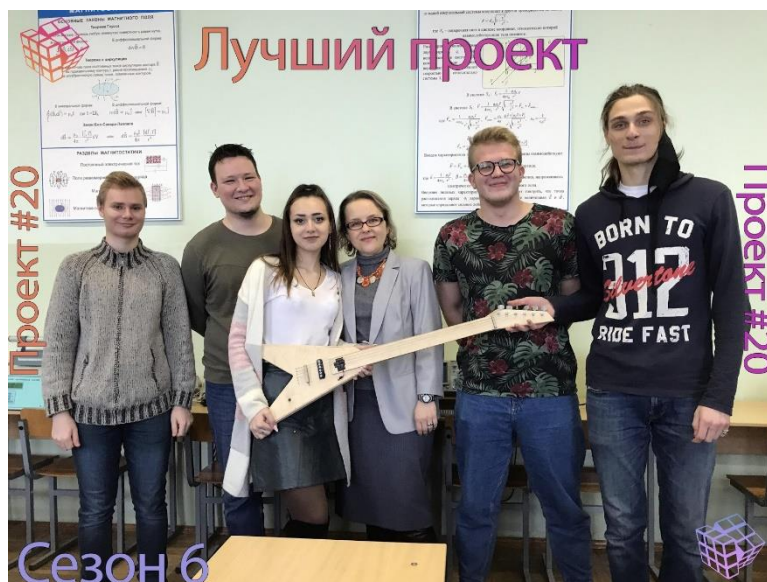


Рисунок 7 - Авторы проекта “Самодельная электрогитара” с научным руководителем (слева направо: Влад Ященко, Алексей Калютчик, Елизавета Ковшер, Ия Ташлыкова-Бушкевич, Илья Халецкий, Матвей Суша).

Данная работа “Самодельная электрогитара” выиграла конкурс “Эвристика в физике” в номинации “Лучший творческий проект” и выложена на youtube-канал проекта “Эвристика в физике”: <https://youtu.be/SZLtEDG-rjM>. По результатам работы над проектом был проведен анкетированный опрос. Все участники проекта приобрели полезные практические навыки, углубили свои знания по теме проекта, а также усовершенствовали свои профессиональные навыки, включая навык работы в команде.

**Список использованных источников:**

1. YouTube-канал “Эвристика в физике” [Электронный ресурс] — <http://tiny.cc/0jbnaz> - Дата доступа: 21.03.2021.
2. World Electric Guitar [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://worldelectricguitar.ru/articles/Pickup.php>
3. Ташлыкова-Бушкевич, И. И. Физика: учебник. В 2 ч. Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 303 с.

**СЕКЦИЯ «ИНФОРМАТИКА»**

УДК 004.896

## ПОСТРОЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ КЛОНИРОВАНИЯ ГОЛОСА

*Кукареко А.П., студент гр. 953502*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Калугина М.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент*

**Аннотация:** В работе рассматривается управляемый метод клонирования голоса, позволяющий контролировать, качественно и количественно оценивать точность различных параметров синтезированной речи. Демонстрируется возможность использования генеративной модели для клонирования таких стилистических характеристик голоса, как высота тона, темп и тембр речи, просодия, фонетические особенности русской речи. Производительность метода тестируется слоями глубокой свертки для моделирования кодеров, декодеров и вокодера на базе WaveNet. Эффективность построенной в результате модели сравнима с современными системами преобразования текста в речь (TTS) и конверсии голоса (VC) при использовании образцов речи без текстового сопровождения длиной 1–5 минут.

**Ключевые слова:** клонирование голоса, генеративная нейросеть, текст в речь, mel-спектрограмма, вокодер, перенос стиля, преобразование голоса, адаптация говорящего, нулевой выстрел.

Клонирование голоса – это задача научиться синтезировать голос произвольного человека из образцов записанной речи. Недавние исследования в этой области были сосредоточены на синтезе голоса человека только на основе нескольких эталонных образцов. Недостатком такого подхода является отсутствие возможности контролировать различные аспекты стиля речи.

Адаптация моделей преобразования текста в речь (TTS) с несколькими говорящими требует обучения на большом наборе данных, содержащем несколько минут текста речи тысяч говорящих. Большое разнообразие говорящих в обучающих данных важно для того, чтобы легко клонировать голос произвольных говорящих. Чтобы решить проблему разделения стиля и характеристик говорящего в большом наборе данных с несколькими говорящими, содержащем в основном нейтральную по стилю речь, предлагается модель клонирования голоса, которая обучается как на скрытой, так и на эвристической информации о стиле. С помощью количественной и качественной оценок демонстрируется то, что предлагаемая модель может заставить новый голос выражать эмоции, петь или копировать стиль заданной эталонной речи.

Рассматривается этап достижения следующей цели работы: создать TTS-модели клонирования выразительного голоса, обучающиеся на голосах и стилевых аспектах нескольких говорящих. Обработка стиля в моделях TTS осуществляется путем изучения словаря векторов скрытого стиля – Global Style Tokens (GST) [1]. Эмпирически было обнаружено, что GST позволяет незначительно контролировать стиль при обучении на большом наборе данных с несколькими говорящими и в основном нейтральной просодией.

Модуль GST обрабатывает целевые фрагменты записи конкретной фразы, на выходе получая стилевые характеристики. Для этого используется словарь «обучаемых» векторов. Во время вывода синтезатор голоса может быть настроен на разные эталонные аудиозаписи для создания стилевых вариантов речи для одного и того же текста. Манипулирование переменными скрытого стиля во время вывода позволяет управлять стилем синтезированной речи. Модель Меллотрон [2] использует комбинацию явных и скрытых переменных стиля, для получения более точного контроля над выразительными характеристиками синтезированной речи. В частности, Меллотрон использует сети синтеза спектрограмм по кривой основного тона, GST и идентификатор говорящего во время обучения. Во время логического вывода синтезатор может обучаться на «мелодической» информации – высоте и ритме эталонной речи. Демонстрируется, что использование явных характеристик кривой высоты тона во время тренировки позволяет обобщить вывод на различные гармонические и мелодические кривые высоты тона.

Используемый эвристический YIN-алгоритм обработки сигналов извлекает основные характеристики высоты тона [3]. Было обнаружено, что использование сочетания скрытой и эвристической информации о стиле в модели TTS не только обеспечивает детальный контроль над аспектами стиля синтезированной речи, но также позволяет масштабировать нейросеть до большого набора данных с несколькими говорящими для получения более естественного звука для произвольного говорящего. Общий обзор модели клонирования, обрабатывающей стилистические характеристики говорящего, получаемые из записи голоса данного текста, показан на рисунке 1. Во время обучения модели могут быть предоставлены эталонные параметры стиля говорящего для достижения более выразительного клонирования голоса. Все три основных компонента – кодер говорящего, синтезатор mel-спектрограммы и вокодер – обучаются отдельно.

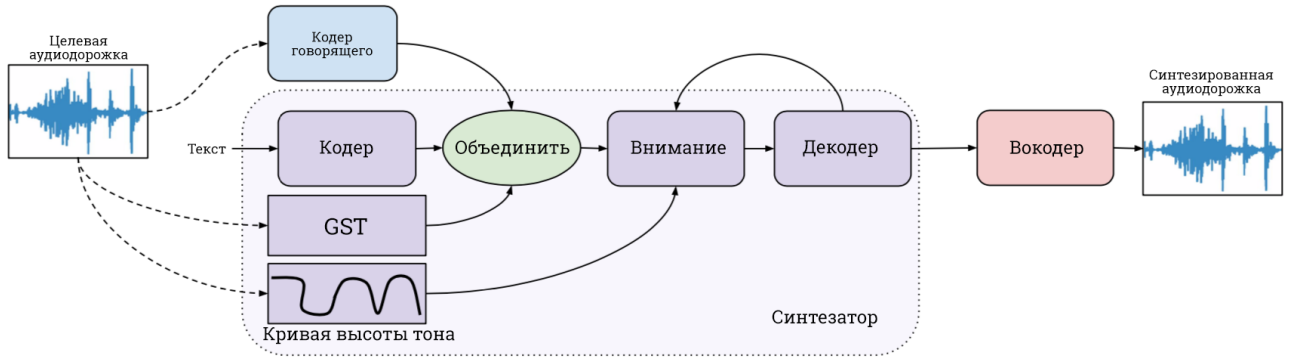


Рисунок 1 – Модель клонирования голоса Tacotron-2 TTS

Нейросеть представляет собой стек из 3 слоев LSTM по 256 ячеек в каждом слое, которые работают с мел-спектрограммами с 40 каналами. Итоговый результат достигается путем проецирования вывода LSTM на последнем уровне на 256 измерений с последующей нормализацией  $L_2$ . Кодер обучен оптимизировать общие потери при сравнении говорящих, т. е. достигать сходства между голосами от одного и того же говорящего. Во время обучения каждое высказывание разбивается на более мелкие сегменты по 1600 мс с перекрытием в 1000 мс между последовательными сегментами. Mel-спектрограммы состоят из текста ( $t$ ), закодированного голоса ( $s$ ), кривой высоты тона ( $f_0$ ) и параметра скрытого стиля, полученного из GST ( $z$ ). Синтезатор представляет собой генеративную модель  $g(t, s, f_0, z; W)$ , параметризованную обучаемыми весами  $W$ , обученную для оптимизации функции потерь  $L$ , которая учитывает различия между сгенерированной и реальной достоверной спектрограммой:

$$E_{(t_i, a_i) \sim D} \{L(g(t_i, s_i, f_{0i}, z_i; W), mel_i)\},$$

где  $D$  – массив данных, содержащий пары текста и аудио ( $t_i, a_i$ ).

В работе применяется два подхода для клонирования голоса нового говорящего из нескольких речевых образцов с текстом и без него.

Обучение с нулевого выстрела:  $L_2$  нормализация закодированного голоса для отдельных образцов целевого говорящего. Поскольку закодированный голос получается непосредственно из аудиодорожки, нам не требуется текст для клонирования голоса произвольного говорящего.

Адаптация модели: когда доступны расшифрованные образцы голоса, можно точно настроить модель синтеза, используя пары текста и звука. Как показано в [1], тонкая настройка может значительно улучшить показатели сходства говорящих в клонированной речи. Изучаются следующие два метода адаптации модели: полная адаптация – точная настройка всех параметров модели синтеза на текстовой и звуковой парах произвольного говорящего; адаптационный декодер – тонкая настройка только параметров декодера модели синтеза. Преимущество адаптации только параметров декодера в том, что для этого требуется меньше параметров модели, зависящих от говорящего, и кодер может использоваться для всех говорящих. В обеих приведенных выше настройках адаптации модель настраивается на 100–200 итераций с помощью оптимизатора Adam со скоростью обучения  $1e-4$ .

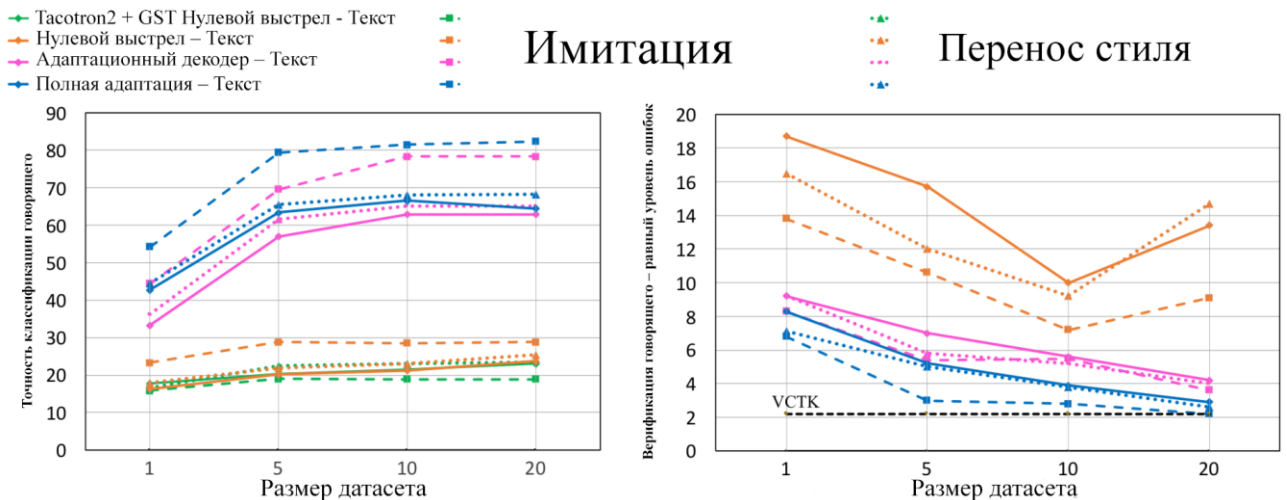


Рисунок 2 – Оценка эффективности моделей клонирования голоса в отношении точности классификации говорящего

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи клонирования:

1. Текст – клонирование текста речи непосредственно из текста. Сначала синтезируется речь для данного текста на основе модели TTS с одним говорящим: Tacotron 2 + WaveGlow, обученную на наборе данных Russian Single. Затем выводится кривая высоты тона синтезированной речи с помощью YIN-алгоритма.

2. Имитация – восстановление образца целевого говорящего. Используется пара текста и звука целевого говорящего, нейросеть пытается восстановить звук из его обработанного представления. Все формирующие стиль переменные: высота тона, ритм, просодия – получены из образца речи, которую мы пытаемся имитировать. Эта задача позволяет количественно оценить метрики стилистического сходства.

3. Передача стиля – передача высоты тона и ритма речи от другого говорящего. Для этой задачи используются примеры из набора данных M-AI-LABS и Voxforge+audiobook с одним говорящим. Этот набор данных содержит выразительные аудиокниги, прочитанные одним говорящим с большим разбросом эмоций и высоты тона. Данный эталонный стиль аудио используется для извлечения высоты тона и ритма.

Для описанных выше задач клонирования оцениваются три аспекта клонированной речи: сходство говорящего с целевым говорящим, сходство стиля с эталонным стилем и естественность речи.

Для получения точности классификации говорящих классификатор говорящего обучается на наборе данных VCTK, чтобы классифицировать данное высказывание как одного из 78 говорящих. Классификатор – двухуровневая нейронная сеть с 256 скрытыми блоками, которая принимает на вход кодированный голос, полученный с помощью нашей предварительно обученной сети кодера. Подобно [4], классификатор достигает 100% точности на наборе, содержащем 200 примеров из набора данных VCTK. Клонировается 25 образцов речи на говорящего для каждой задачи. На рисунке 2 (слева) показаны кривые точности классификации говорящих для всех задач и методов клонирования в зависимости от количества размера выборки. Были получены следующие выводы: адаптация модели значительно превосходит методику клонирования голоса с нулевым выстрелом, поскольку она позволяет модели подстраиваться под характеристики произвольного говорящего.

Для клонирования голоса с нулевым выстрелом с использованием Tacotron2-GST, предлагаемая модель достигает высокой точности классификации говорящих для задач клонирования текста и переноса стиля. Точность предложенной модели немного выше для задачи имитации по сравнению с другими задачами как для адаптации модели, так и для клонирования голоса (нулевой выстрел). Это означает, что согласование кривой высоты тона целевого говорящего улучшает специфические для говорящего характеристики клонированной речи.

Для оценки сходства говорящих используется косинусоидное сходство аудиодорожек, полученных с помощью кодера говорящего. Равная частота ошибок (EER) – это точка, в которой частота ложноположительных и ложноотрицательных значений системы проверки говорящего равны. Оценка производится на случайно выбранных 20 говорящих в наборе данных VCTK. Используются 5 речевых образцов для каждого говорящего в системе проверки говорящего и синтезируются 50 речевых образцов для каждого говорящего для каждой задачи клонирования. EER оцениваются путем сравнения выборки одного и того же говорящего с выборкой другого говорящего. В таблице 1 показаны значения EER для различных методов и задач клонирования с использованием предложенной модели, а также те, которые были оценены с использованием реальных данных. Наблюдения за метрикой EER (ОВТ – ошибка высоты тона, ОГ – ошибка голосоведения, ОФ – ошибка фрейминга) аналогичны наблюдениям за метрикой точности.

Таблица 1 – Стилистическое сходство в задачах имитации и переноса стиля голоса

Модель	Т	ОВ	ОГ	ОФ	Перенос стиля
	Tacotron2 + GST – Нулевой выстрел	35%	20,	8% 26,3	7% 29,4
Нулевой выстрел	1%	3,7	4% 10,6	7% 11,7	3,1 5 ± 0,11
Адаптационный декодер	9%	2,3	1% 11,6	9% 12,4	3,2 9 ± 0,10
Полная адаптация	7%	2,9	9% 12,5	9% 13,5	3,4 1 ± 0,10

Предлагаемые модели значительно превосходят базовые показатели Tacotron 2 + GST, что ясно указывает на важность согласования кривой высоты тона для точной передачи стиля, и могут быть использованы для создания персонализированных голосовых ассистентов, озвучки мультфильмов, рекламы, помощи людям, потерявшим голос.

**Список использованных источников**

1. Y. Wang, E. Battenberg, Rif A. Saurous. Style tokens: Unsupervised style modeling, control and transfer in end-to-end speech synthesis – arXiv, 2018.
2. Rafael Valle, Jason Li, Ryan Prenger, and Bryan Catanzaro. Mellotron: Multispeaker expressive voice synthesis by conditioning on rhythm, pitch and global style tokens – ICASSP, 2020.
3. Alain De Cheveigné, Hideki Kawahara. Yin, a fundamental frequency estimator for speech and music, 2002.
4. Sercan Ariik, Jitong Chen, Kainan Peng, Wei Ping, and Yanqi Zhou. Neural voice cloning with a few samples – NeurIPS, 2018.
5. Лобанов Б. М., Цирульник Л. И. Компьютерный синтез и клонирование речи // Минск : Белорусская Наука, 2008.

UDC 004.896

## NEURAL NETWORK MODELS FOR VOICE CLONING: BUILDING AND EFFICIENCY ESTIMATION

*Kukareko A.P.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Kalugina M.A. – PhD in Physics and Mathematics*

We present a controlled method of voice cloning, which makes it possible to control, evaluate the accuracy of various parameters of synthesized speech in quantity and quality. The possibility of using a generative model for cloning such stylistic characteristics of a voice as pitch, tempo and timbre of speech, prosody, phonetic features of Russian speech is demonstrated. The performance of the method is tested by deep convolution layers to simulate WaveNet-based encoders, decoders, and vocoder. The efficiency of the resulting model is comparable to modern text-to-speech (TTS) and voice conversion (VC) systems when using 1–5 minutes speech samples without text supervision.

**Keywords:** voice cloning, generative neural network, text to speech, mel spectrogram, vocoder, style transfer, voice conversion, speaker adaptation.

УДК 004.3, 681.5

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ ТИПА АРБИТР НА FPGA ARTIX-7

*Шамына А.Ю., аспирант*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Иванюк А.А. – д-р техн. наук, профессор*

В данной работе произведен анализ характеристик случайности, уникальности и стабильности физически неклонированных функций типа арбитр (А-ФНФ) различных реализаций. Кратко описано построение экспериментальной установки для исследования. Показана зависимость характеристик от длин блока симметричных путей А-ФНФ.

**Ключевые слова:** физически неклонированные функции, АФНФ, ПЛИС, FPGA, Artix-7, платы быстрого прототипирования.

Физически неклонированные функции (ФНФ) широко применяются в различных сферах: генераторы истинно случайных числовых последовательностей, протоколы аутентификации и проверки подлинности, криптографические примитивы и т.д. Ввиду относительно низких аппаратных затрат и простоты реализации довольно популярны ФНФ типа арбитр (А-ФНФ) [1]. Принцип работы А-ФНФ основывается на извлечении уникальной для каждой реализации трансляции тестовых сигналов через каскад последовательно соединенных мультиплексоров, конфигурация которых определяется значением запроса. В А-ФНФ выделяют следующие структурные компоненты: генератор тестовых сигналов (ГТС), блок симметричных путей (БСП), а также арбитр, отвечающий за выработку ответа ФНФ (рисунок 1).

Основными характеристиками любой ФНФ являются случайность, уникальность и стабильность. Для исследования указанных характеристик были реализованы А-ФНФ с различными длинами БСП (от 8 до 256 блоков), а также с несколькими вариантами схем арбитров (RS-защелка и D-триггер). Проектное описание экспериментальной установки было создано с использованием САПР Vivado 2018.2 на языке VHDL. Кроме реализации А-ФНФ, экспериментальная установка включает в себя описание генератора M-последовательности на основе linear feedback shift register (LFSR), а также устройства управления в виде цифрового конечного автомата (ЦКА).

Для организации передачи экспериментальных данных между установкой и ПК через интерфейс UART был использован софт-процессор Microblaze.

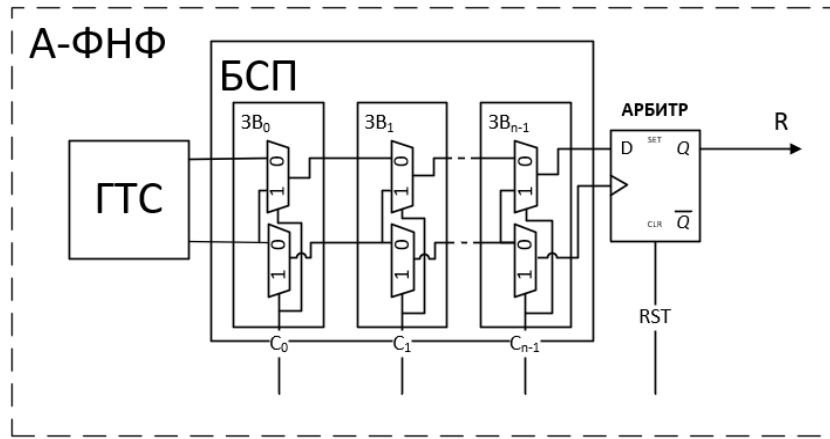


Рисунок 1 – Структура А-ФНФ

Использование софт-процессора, а также IP-компонентов позволило существенно сократить время на разработку. В качестве аппаратной базы были выбраны платы быстрого прототипирования Nexys 4 фирмы Digilent с FPGA Artix-7. Общая схема эксперимента представлена на рисунке 2.

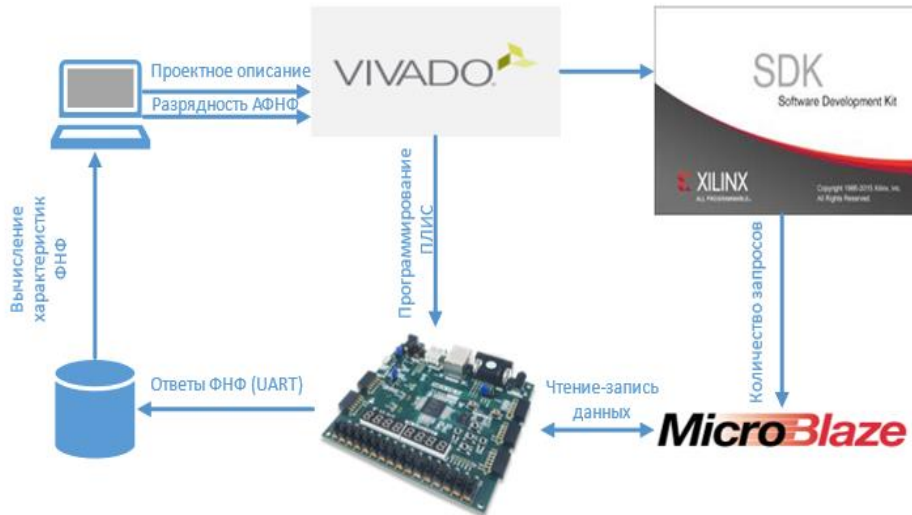


Рисунок 2 – Общая схема эксперимента

Для анализа характеристик А-ФНФ для каждой реализации было проведено  $E=10$  экспериментов на  $M=2$  кристаллах. Каждый эксперимент предполагал генерацию  $10^6$  запросов к ФНФ и получение такого же количества ответов. После сбора данных были высчитаны характеристики стабильности, случайности и уникальности А-ФНФ. Следует также отметить, что для анализа зависимости характеристик А-ФНФ с различными длинами БСП арбитры были подключены не только к последнему звену А-ФНФ, как это предполагает классическая реализация А-ФНФ, но и к промежуточным узлам БСП, что позволило за один эксперимент собрать данные для А-ФНФ с различным количеством звеньев в БСП.

Для расчета характеристики стабильности  $S(CH)$  ответа ФНФ  $R$  на запрос  $CH$  использовалась следующая формула (1):

$$S(CH) = 1 - \frac{1}{E} \sum_{e=1}^E HD(R_{ref}, R_e), \quad (1)$$

где  $E$  – количество экспериментов;

$e$  – индекс эксперимента;

$HD$  – расстояние Хемминга;

$R_{ref}$  – эталонное значение ответа на заданный запрос, определяемое по мажоритарному принципу;

$R_e$  – ответ на заданный запрос.

Оценка стабильности каждой реализации А-ФНФ производилась по среднему значению, вычисляемому как среднее арифметическое всех значений стабильности каждого выполненного запроса к конкретной реализации А-ФНФ, и определяется формулой (2):

$$S_{avg} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S(CH_i), \quad (2)$$

где  $K$  – количество запросов;  
 $i$  – индекс запроса.

Показатель минимальной стабильности определяется выражением (3):

$$S_{min} = \min(S(CH_1), S(CH_2), \dots, S(CH_k)). \quad (3)$$

Для всех А-ФНФ, реализованных в данном эксперименте, минимальное значение стабильности  $S_{min}$  составило 0,5. Такой результат объясняется эффектом метастабильности арбитра А-ФНФ при генерации ответа на определенные запросы. Минимизировать негативный эффект метастабильности арбитра позволяет применение подходов на основе кодов коррекции либо изменение схемы арбитра.

В качестве характеристики случайности была принята доля ответов А-ФНФ  $R=1$ . За показатель стабильности была принята доля запросов к А-ФНФ, соответствующие ответы на которые были неизменны для каждого повтора эксперимента. Гистограммы характеристик А-ФНФ, полученные в результате проведенных экспериментов, представлены на рисунках 3 и 4.

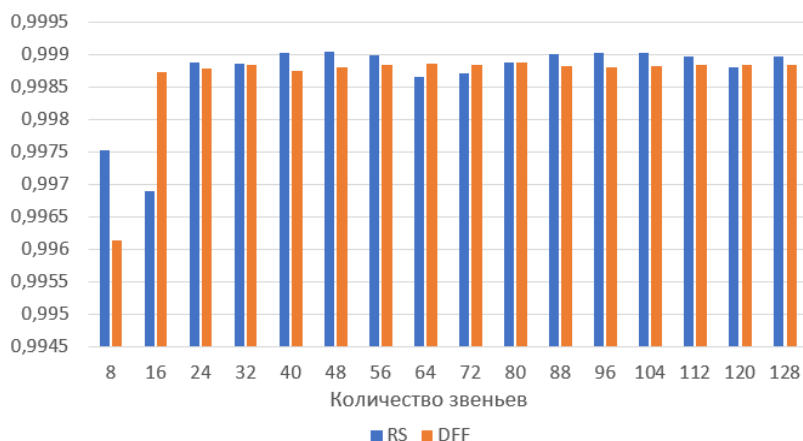


Рисунок 3 – Гистограмма значений полученной характеристики стабильности А-ФНФ

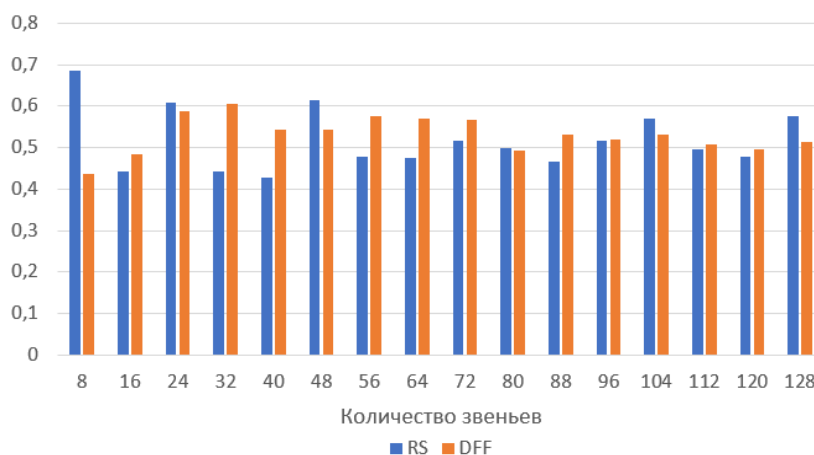


Рисунок 4 – Гистограмма значений полученной характеристики случайности А-ФНФ

Однако полученные средние значения межкристальной уникальности оказались низкими (2 и 7 процентов для А-ФНФ с RS-защелкой и D-триггера соответственно). Множественные попытки изменения стратегии синтеза и имплементации А-ФНФ на FPGA при неизменных длинах БСП и видах арбитров не оказали существенного влияния на данную характеристику. Только увеличение длины БСП до 256 звеньев позволило достичь уникальности 49 %. Показатель уникальности вычислялся как доля различных ответов на одни и те же запросы для полностью стабильных ответов, полученных в результате эксперимента.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод об улучшении характеристик А-ФНФ при увеличении длины БСП. Однако при этом возрастают аппаратные затраты и увеличивается время получения ответа А-ФНФ. Поиск решений для улучшения заданных характеристик будет предметом дальнейших исследований.



**Список использованных источников:**

1. Заливако, С. С. Физически неклонированные функции / С. С. Заливако, А. А. Иванюк // Информационные технологии и системы 2019 (ИТС 2019) = Information Technologies and Systems 2019 (ITS 2019) : материалы международной научной конференции, Минск, 30 октября 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2019. – С. 8–21.

2. Nexys 4 artix-7 FPGA: Trainer board recommended for ece curriculum [Electronic resource]. Mode of access : <https://store.digilentinc.com/nexys-4-artix-7-fpga-trainer-board-recommended-for-ece-curriculum-see-nexys4-ddr/>. Digilent, Inc, 2021. Date of access : 04.04.2021.

UDC 004.3, 681.5

## ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF ARBITER PUF ON FPGA ARTIX-7

*Shamyna A. Y.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Ivaniuk A.A. – D. Sc. (Technology)*

In present work the characteristics of randomness, uniqueness and stability of physical unclonable functions of the arbiter type (A-PUF) of various implementations are considered. The construction of an experimental setup for research is briefly described. The dependence of the characteristics on the block lengths of symmetric A-PUF paths is shown.

**Keywords:** physical unclonable functions, A-PUF, FPGA, Artix-7, Nexys 4.

УДК 004.056.53

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ КОНСТАНТ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ПРОЕКТНЫЕ ОПИСАНИЯ

*Видничук В.Н., аспирант*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Иванюк А.А. – д-р техн. наук, профессор*

Представлен способ внедрения водяных знаков в функционально эквивалентные описания аппаратуры на основе генераторов константных значений.

**Ключевые слова:** генератор константных значений, функционально эквивалентные описания, водяные знаки.

Функционально эквивалентные описания – это один из основных методов функциональной обфускации проектных описаний аппаратуры. Обфускация – это один из методов усложнения понимания исходных кодов проектного описания и разработанного аппаратного обеспечения. Функциональная обфускация – это один из главных видов внутрисхемной обфускации, которая позволяет усложнять понимание проектных описаний и аппаратуры, а также выполнять функцию защиты от несанкционированного доступа и копирования. Для защиты от несанкционированного доступа и копирования используют много различных методов. В данном исследовании предложен метод внедрения водяных знаков и ключей в функционально эквивалентные описания.

Основной проблемой функционально эквивалентных описаний является логический синтез, представляющий собой процесс, посредством которого абстрактное указание желаемой схемы поведения превращается в реализацию конструкций с точки зрения логических вентилей. На данном этапе проводится логическая оптимизация, представляющая собой процесс поиска эквивалентного представления указанной логической схемы с заданными ограничениями. Данный процесс позволяет минимизировать проектные описания, под которые подходят какие-то простейшие логические элементы. Для решения данной проблемы существуют генераторы констант, которые не могут быть распознаны и минимизированы синтезатором, что позволяет применять функционально эквивалентные описания, которые не будут приведены к стандартным.

Генератор констант – это разновидность непрозрачных предикатов, значения которых известны на этапе обфускации, но требуют вычисления при анализе. Они заменяют значения '0' и '1', которые во время синтеза и оптимизации присоединяются к GND и VCC, на схему, сочетающую в себе последовательную и комбинационную логику.

Суть метода внедрения заключается в том, что при подаче на константный генератор ключа, отличающегося от правильного, генератор констант вместо константных значений '0' или '1' может выдавать противоположное или начинать осцилляцию выходного сигнала. Данный метод достигается за счёт добавления фиктивных состояний в конечный автомат, в которые он переходит при неправильном указании ключа. Это позволит при неправильно введённом ключе или изменении внутренних компонентов, в результате несанкционированного доступа и копирования исходной схемы, нарушать её работоспособность. Также поиск причины этой неработоспособности будет затрудняться другими методами функциональной и лексической обфускации. На рисунке 1 представлен один из генераторов таких констант на базе FSM и с входным значением ключа.

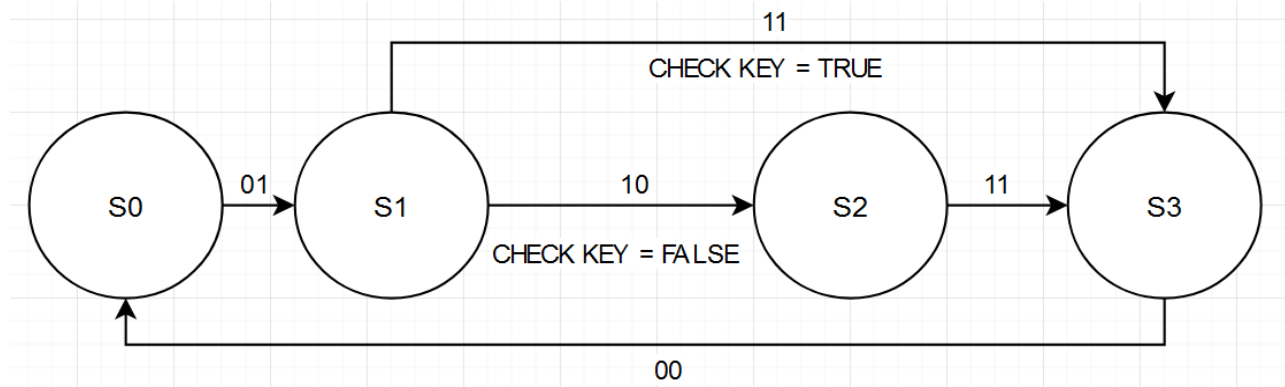


Рисунок 1 – Генератор констант на базе FSM с внедрённым методом проверки ключа

Ключ можно выбирать любой длины, а также его можно формировать различными методами. Например, требовать ввода уникального ключа при первом запуске устройства, хранить данный ключ зашифрованным на самом устройстве или формировать его с помощью других генераторов константных значений. Что позволяет ещё больше затруднить понимание злоумышленниками исходных кодов проектных описаний и схемы аппаратуры. Конечный автомат представлен 4-мя состояниями, каждое из которых генерирует на выход константное значение '0' или '1'. Начинается работа данного константного генератора с состояния 'S0', в котором генерируется константное значение '0'. Далее, если проверка ключа прошла успешно, состояние меняется на 'S3', в котором также на выход передаётся значение '0'. Если проверка ключа на состоянии 'S0' не удалась, конечный автомат переходит в состояние 'S1', в котором уже выходное значение становится '1'. Далее осуществляется переход в 'S2', в котором выходное значение может принимать значение '0' или '1'. Отсюда следует, что при использовании данного константного генератора с неправильным ключом начинается последовательная смена значений с '0' на '1' и обратно, что может вызвать неправильную работу схемы. В противном случае на выходе константного генератора всегда константное значение '0'.

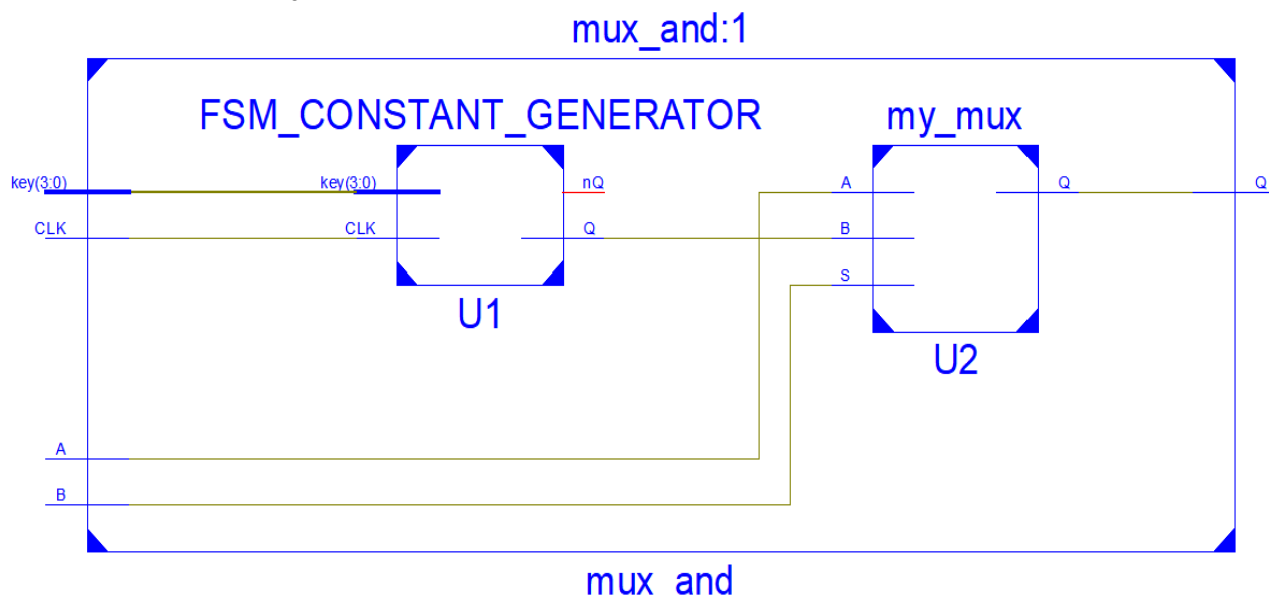


Рисунок 2 – Функционально эквивалентное описание простого логического элемента AND2 с использованием генератора константных значений и мультиплексора

Для примера работоспособности данного константного генератора с внедрённым водяным знаком был использован метод функционально эквивалентных описаний. На рисунке 2 показано

функционально эквивалентное описание простого логического элемента AND2, построенное на мультиплексоре. Элемент 'FSM\_CONSTANT\_GENERATOR' – генератор констант на базе конечного автомата 'my\_mux' – структурного описания мультиплексора.

На вход генератора констант приходит ключ и сигнал синхронизации, и в зависимости от правильности введённого ключа схема генерирует константный '0' или ошибочное значение. Из-за использования генератора константных значений на этапе логического синтеза минимизации данного элемента не произошло. Если подать на вход 'B' мультиплексора константное значение '0' и на входы 'A' и 'S' значения, предназначенные простому логическому AND2, то мультиплексор начнёт себя вести как элемент AND2. При правильно введённом ключе схема будет работать правильно, что показано на рисунке 3.

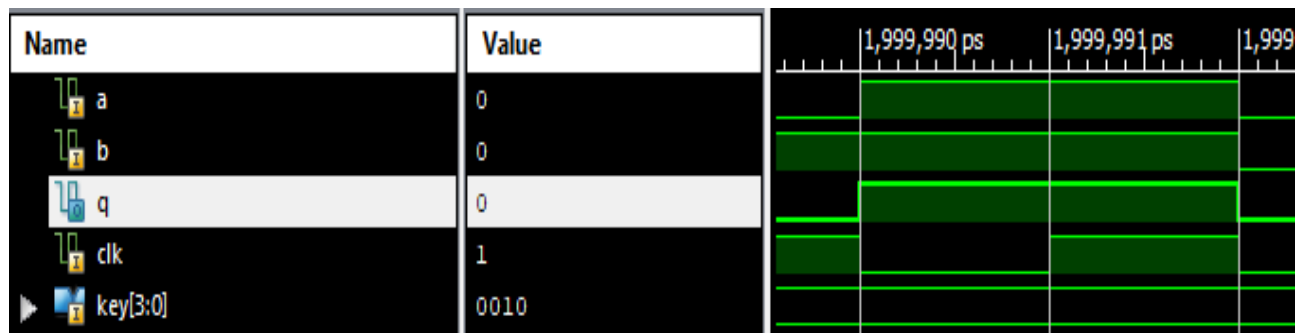


Рисунок 3 – Симуляция работы функционально эквивалентного описания AND2 с использованием генератора констант и правильно введённым ключом

Однако, если ввести неправильный ключ, то значение, подаваемое на вход 'B', будет принимать не только константное значение '0', но и '1'. Это приведёт к ошибочным результатам работы данной схемы. Результат выхода данной схемы с неправильно введённым ключом показан на рисунке 4. В какой-то момент времени конечный автомат, отвечающий за генерацию константных значений, переходит в фиктивное состояние, которое соответствует неправильному выходу, и схема начинает генерировать ошибочное значение, которое приведёт к неправильному результату работы.

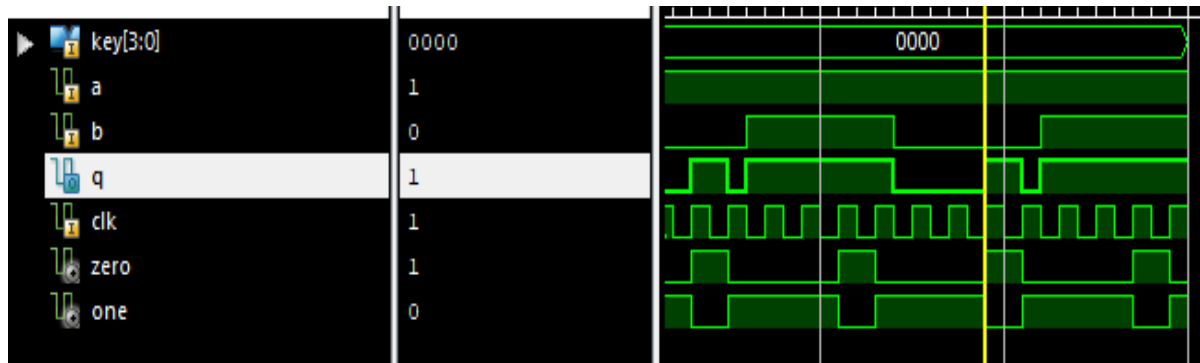


Рисунок 4 – Симуляция работы функционально эквивалентного описания AND2 с использованием генератора констант и неправильно введённым ключом

Данный подход использования генераторов констант можно применить при формировании функционально эквивалентных описаний остальных простых логических примитивов. Например, для простого логического элемента NOT на вход 'A' мультиплексора подаётся константное значение '0', на вход 'B' подаётся значение '1' и на селектирующий подаётся входное значение элемента NOT. Пример реализации данного элемента показан на рисунке 5.

Для элемента OR2 на вход 'A' подаётся значение '1', на входы 'B' и 'S' подаются входные значения элемента OR2. Также можно на базе мультиплексора реализовать элементы NAND, NOR, XOR, XNOR, LATCH. Внедрение в эти функционально эквивалентные описания генераторов константных значений, использующие водяные знаки, позволит усложнить анализ исходных проектных описаний и затруднит понимание логики работы схемы, и при неправильно введённом ключе работоспособность схемы нарушается. Можно ещё затруднить анализ схемы путём добавления большего количества фиктивных состояний в генератор констант на базе FSM. Водяной знак может быть встроен в другие виды генераторов констант.

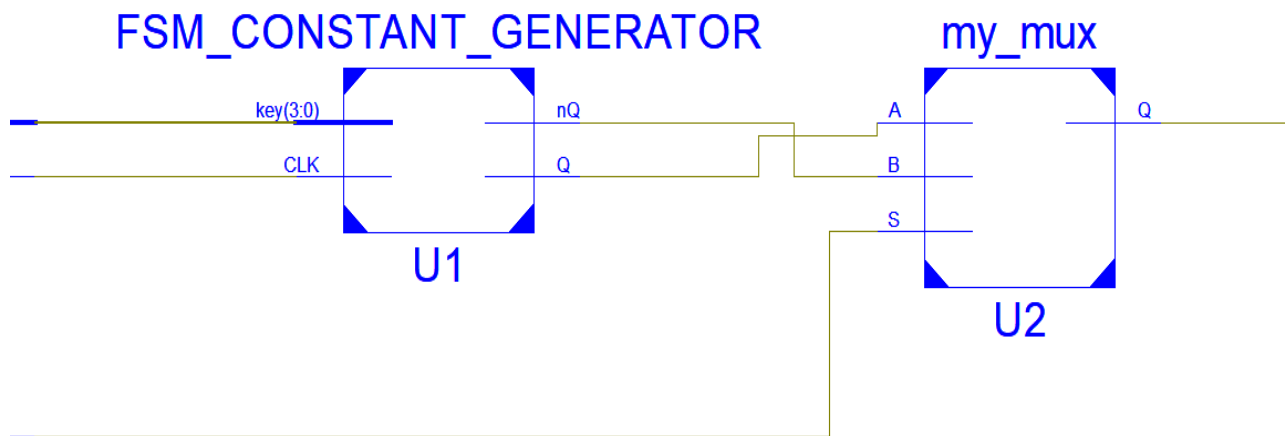


Рисунок 5 – Функционально эквивалентное описание простого логического элемента NOT с использованием генератора константных значений и мультиплексора

По полученным в результате исследования данным можно сказать, что приведённый метод использования генераторов констант и внедрения в них водяных знаков позволяет усложнить анализ исходных кодов проектных описаний аппаратуры, а также при несанкционированном доступе к описаниям нарушить работоспособность схемы. Это позволяет применять данный метод как механизм защиты проектных описаний от несанкционированного использования.

**Список использованных источников:**

1. Chakraborty, R. S. *Hardware Security through Design Obfuscation* : Ph. D. diss. / R. S. Chakraborty. – Cleveland, 2010. – 167 p.
2. Collberg, C. A *Taxonomy of Obfuscating Transformations* / C. Collberg, C. Thomborson, D. Low. – Auckland : Department of Computer Science, 1997. – 36 p.
3. Сергейчик, В. В. Базовые примитивы схемной обфускации цифровых устройств / В. В. Сергейчик // материалы Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ – БГУИР, Минск, 18–19 марта 2014 г. : в 2 ч. / БГУИР. – Минск, 2014. – Ч. 1. – С. 442–443.
4. Иванюк, А. А. Физическая криптография и защита цифровых устройств / А. А. Иванюк, С. С. Заливако // Доклады БГУИР. – 2019. – №2 (120). – С. 50–58.

UDC 004.056.53

## USING A CONSTANT GENERATORS FOR EMBEDDING A WATERMARK INTO PROJECT DESCRIPTIONS

Vidnichuk V.N.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Ivaniuk A.A. – Doctor of Sciences in Technology*

*A method for introducing watermarks into functionally equivalent descriptions of equipment based on constant value generators is presented.*

**Keywords:** constant value generator, functionally equivalent descriptions, watermarks.

*Научное издание*

# **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

**57-я научная конференция  
аспирантов, магистрантов и студентов**

Сборник статей

(Минск, 19-23 апреля 2021 года)

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Е.В. Калабухов*

Компьютерная верстка: *С.К. Матусевич*  
*А.В. Гончарова*