

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

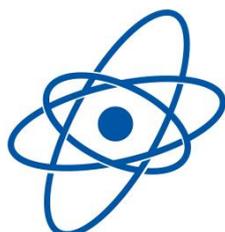
Новоуральский технологический институт –  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НТИ НИЯУ МИФИ)

## **ТРУДЫ**

**XVI всероссийской научно-практической конференции**

**«Научная сессия НТИ НИЯУ МИФИ – 2022»**

**25 февраля 2022 года**



**НТИ**

**НИЯУ МИФИ**

Новоуральский  
технологический  
институт

НОВОУРАЛЬСК 2022

Труды XVI всероссийской научно-практической конференции  
«Научная сессия НТИ НИЯУ МИФИ – 2022» (25 февраля 2022 г.), - Новоуральск: Изд-во  
НТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – 296 с., с ил.

Сборник статей и тезисов докладов по итогам VII всероссийской научно-практической конференции  
«Научная сессия НТИ НИЯУ МИФИ – 2022», которая была проведена 25 февраля 2022 г. в  
соответствии с «Планом проведения научных мероприятий НТИ НИЯУ «МИФИ» на 2022 год».

Материалы сборника будут интересны как обучающимся в НТИ и других профильных вузах  
студентам и аспирантам, так и ученым, преподавателям, а также специалистам и руководителям атомной и  
других высокотехнологических отраслей промышленности.

Печатается по решению методического Совета Новоуральского технологического института.

Материалы печатаются в авторской редакции.

### **Организационный комитет конференции**

**Председатель:**

**Карякин А.В.**

И.о. руководителя НТИ НИЯУ МИФИ

**Председатель секции I:**

Зиновьев Г.С.

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ПЭ

**Председатель секции II:**

Закураев В.В.

к.т.н., доцент кафедры ТМ

**Члены оргкомитета:**

Степанов П.И.

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой АУ

Дронишинец Н.П.

доктор философских наук, профессор, заведующий  
кафедрой гуманитарных дисциплин

**Секретарь конференции:**

Гусев А.В.

к.т.н., доцент кафедры ТМ

Чумичева Е.А.

студентка группы КМ-20Д

## Содержание

### **I АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КУЛЬТУРЫ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

<b>1. ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ SIMINTECH ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫМ И ИНЖЕНЕРНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ В ДИСТАНЦИОННОМ ФОРМАТЕ ОБУЧЕНИЯ</b> <b>Дьячков М.Р., Рыжиков И. О., Михайлова О. М. ....</b>	<b>6</b>
<b>2. ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ ГОРОДСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА УЧАЩИХСЯ ГОРОДА НОВОУРАЛЬСКА</b> <b>Дронишинец Н. П., Носырев Н. А. ....</b>	<b>11</b>
<b>3. КРАЕВЕДЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ КАК ФОРМА РАБОТЫ ШКОЛЬНИКА ПО УЧЕБНЫМ ПРЕДМЕТАМ «ИСТОРИЯ», «ОБЩЕСТВОЗНАНИЕ»</b> <b>Жданов А.О.....</b>	<b>19</b>
<b>4. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ</b> <b>Зиновьев Г.С., Литвинчук И.Е., Тунева А.А. ....</b>	<b>24</b>
<b>5. ОРГАНИЗАЦИЯ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ МУЗЕЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КАК СРЕДСТВО ГРАЖДАНСКО-ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ</b> <b>Юрова Г.В.....</b>	<b>29</b>
<b>6. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРАЕВЕДЧЕСКИХ ИГР НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ИГРЫ «МАФИЯ»</b> <b>Жданов А.О.....</b>	<b>37</b>
<b>7. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНОГО МУЗЕЯ</b> <b>Останина Г.Ф. ....</b>	<b>45</b>
<b>8. ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНОГО РАЗВИТИЯ ЯПОНСКОГО ОБЩЕСТВА 5.0</b> <b>Дронишинец Н. П., Чумичева Е. А.....</b>	<b>49</b>
<b>9. РОЛЬ ШКОЛЬНОГО МУЗЕЯ В ФОРМИРОВАНИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ</b> <b>Шерер А.А.....</b>	<b>52</b>
<b>10. СОЦИАЛЬНАЯ ЗРЕЛОСТЬ – ОДИН ИЗ КРИТЕРИЕВ ГОТОВНОСТИ СТУДЕНТОВ КОЛЛЕДЖА К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ЖИЗНИ (НА КОНКРЕТНОМ ПРИМЕРЕ)</b> <b>Юрьева А.В., Ждановский С.Л., Воронцова Е.Е. ....</b>	<b>56</b>
<b>11. ТРИ ГОДА ИЗ ЖИЗНИ ГОРОДА НОВОУРАЛЬСКА</b> <b>Жданов А.О.....</b>	<b>67</b>
<b>12. ФАКТОР ГЕНДЕРА В СФЕРЕ СОВРЕМЕННОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ</b> <b>Дронишинец Ю.А. ....</b>	<b>78</b>
<b>13. ФОРМИРОВАНИЕ НОВОГО ОТНОШЕНИЯ МИРОВОГО СООБЩЕСТВА К ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ</b> <b>Дронишинец Ю.А. ....</b>	<b>83</b>

<b>14. ФОРМИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ И НАЦИОНАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ СРЕДСТВАМИ КРАЕВЕДЕНИЯ</b> <b>Жданов А.О.</b> .....	<b>88</b>
---	-----------

**II АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ  
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В  
ЭКОНОМИКЕ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

<b>15. АЛГОРИТМ БЕЗДАТЧИКОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</b> <b>Александров И. В.</b> .....	<b>97</b>
--	-----------

<b>16. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМОБИЛЯХ</b> <b>Матвеев В. Е.</b> .....	<b>103</b>
---	------------

<b>17. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ НА РЕЖУЩЕЙ КРОМКЕ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ</b> <b>Цайхнер С.А., Пельц Д.А., Закураев В.В., Тесля В.И.</b> .....	<b>115</b>
--	------------

<b>18. КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ</b> <b>Гусев А.В., Чумичева Е. А.</b> .....	<b>122</b>
--	------------

<b>19. КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОМЫВКИ БУРОВЫХ КОРОНОК ШТЫРЕВОГО ТИПА</b> <b>Заббаров И.Ш., Гупалов Б.А.</b> .....	<b>125</b>
---	------------

<b>20. НЕВОЗМОЖНОГО НЕТ, НЕТ АБСОЛЮТНЫХ ИСТИН</b> <b>Орлов Ю. В.</b> .....	<b>133</b>
---	------------

<b>21. ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ</b> <b>Дильдин П.Е., Пельц Д.А., Закураев В.В., Николаев Н.А.</b> .....	<b>144</b>
--	------------

<b>22. ПЕРЕДАЧА СУБЪЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ВОЛН ШУМАНА (ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА)</b> <b>Орлов Ю. В.</b> .....	<b>155</b>
--	------------

<b>23. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА</b> <b>Тихонова Е. В.</b> .....	<b>178</b>
--	------------

<b>24. ПРИМЕНЕНИЕ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА С ОПТИМАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИВОДАМИ</b> <b>Никитин Ю.Р., Турыгин А.Б., Штоллманн В.</b> .....	<b>184</b>
--	------------

<b>25. ПРОБЛЕМА РЕГЕНЕРАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ПОСЛЕ 3D-ПЕЧАТИ</b> <b>Шарикова В. Е., Гончаренко В. Е., Лагуткин С. В.</b> .....	<b>202</b>
---	------------

<b>26. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> <b>Степанов П.И., Закураев В.В.</b> .....	<b>210</b>
--	------------

<b>27. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB/SIMULINK</b>	
<b>Коротеева Т.И., Никитин Ю.Р. ....</b>	<b>219</b>
<b>28. УПРАВЛЕНИЕ ПЯТИФАЗНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ</b>	
<b>Банников А.А., Никитин Ю.Р. ....</b>	<b>229</b>
<b>29. УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА</b>	
<b>Шаповалов К.Ю., Дильдин П.Е., Николаев Н.А., Закураев В.В. ....</b>	<b>239</b>
<b>30. УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГЕНАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ПОСЛЕ 3D-ПЕЧАТИ</b>	
<b>Чумичева Е. А., Бастрикова Е. Е., Лагуткин С. В. ....</b>	<b>249</b>
<b>31. ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ ЖЕЛЕЗА: I. РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОДЕЛИ <math>2\gamma</math> СОСТОЯНИЙ НА <math>\alpha</math>, <math>\varepsilon</math> И <math>\delta</math> ФАЗЫ</b>	
<b>Эйшинский Е.Р. ....</b>	<b>256</b>
<b>32. ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ ЖЕЛЕЗА: II. СТРОЕНИЕ ОЦК <math>\alpha</math>-ФАЗЫ</b>	
<b>Эйшинский Е. Р. ....</b>	<b>269</b>
<b>33. ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ ЖЕЛЕЗА: III. ОБЪЁМНЫЙ ЭФФЕКТ <math>\alpha \rightarrow \varepsilon</math> ФАЗОВОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ</b>	
<b>Эйшинский Е. Р. ....</b>	<b>288</b>

**I АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КУЛЬТУРЫ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ  
ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
ПРОЦЕССА**

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ SIMINTECH ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫМ И ИНЖЕНЕРНЫМ  
ДИСЦИПЛИНАМ В ДИСТАНЦИОННОМ ФОРМАТЕ ОБУЧЕНИЯ

**Дьячков М.Р., Рыжиков И. О., Михайлова О. М.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[dyachkov.mixa@mail.ru](mailto:dyachkov.mixa@mail.ru)

**Аннотация:** Данная статья посвящена изучению возможностей National Instruments для проведения лабораторных работ по техническим дисциплинам в дистанционном формате. Рассмотрены различные способы применения данной программы, определены ее достоинства и недостатки. Также представлен сам процесс работы с программой.

**Ключевые слова:** дистанционный формат обучения, лабораторные работы, высшие учебные заведения, программное обеспечение, программирование.

В настоящее время происходит цифровая трансформация сферы высшего образования в России, предполагающая все более широкое использование форм электронного обучения в процессе подготовки специалистов с высшим образованием. Кроме того, пандемия новой коронавирусной инфекции привела к необходимости внедрения в образовательный процесс дистанционных образовательных технологий.

В связи с этим актуальными стали проблемы обеспечения качества практической подготовки студентов технических направлений подготовки. Дело в том, что обучение таких студентов в дистанционном формате имеет свою специфику: в образовательном процессе по техническим направлениям подготовки значительная часть времени отводится на проведение практических работ, среди которых большое внимание уделяется лабораторным работам. При проведении данного вида занятий в дистанционном формате доступ к специализированному оборудованию, необходимому для успешного проведения лабораторных работ, становится невозможным. В результате страдает качество подготовки специалистов. Сложность организации лабораторных работ в дистанционном формате приводит к тому, что инженерные и естественнонаучные курсы зачастую проводятся без проведения указанных видов работ. Многие российские и зарубежные исследователи

пытаются решить данную проблему, предлагая свои конкретные методики проведения лабораторных работ [1,2,3].

Существует множество разных компаний, которые предлагают свои пути решения проблемы проведения лабораторных работ в дистанционном формате. Одна из таких – SimInTech.

SimInTech (Simulation In Technic) — среда динамического моделирования технических систем, предназначенная для расчётной проверки работы систем управления сложными техническими объектами. SimInTech осуществляет моделирование технологических процессов, протекающих в различных объектах, с одновременным моделированием системы управления, и позволяет повысить качество проектирования систем управления за счет проверки принимаемых решений на любой стадии проекта [4]. Программа SimInTech от данного производителя помогает решить проблему с проведением лабораторных работ на дистанционном формате обучения.

SimInTech предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в ядерных и тепловых энергоустановках, в системах автоматического управления, в следящих приводах и роботах, и в любых технических системах, описание динамики которых может быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и/или реализовано методами структурного моделирования. Основными направлениями использования SimInTech являются создание моделей, проектирование алгоритмов управления, их отладка на модели объекта, генерация исходного кода на языке Си для программируемых контроллеров [5].

В данной программе для создания модели необходимо нажать кнопку «Новая схема» (рисунок 1). Откроется диалоговое окно с выбором типа схем.

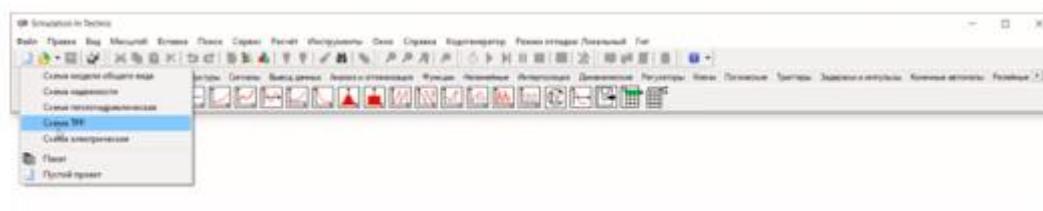


Рисунок 1 – Интерфейс программы при выборе схем

Интерфейс при создании схем можно поделить на 4 области (рисунок 2):

- 1) Главное меню (синяя рамка);
- 2) Область кнопок для основных задач (красная рамка);
- 3) Палитра блоков с графическим редактором (зеленая рамка);

4) Окно схемы проекта (оранжевая рамка).

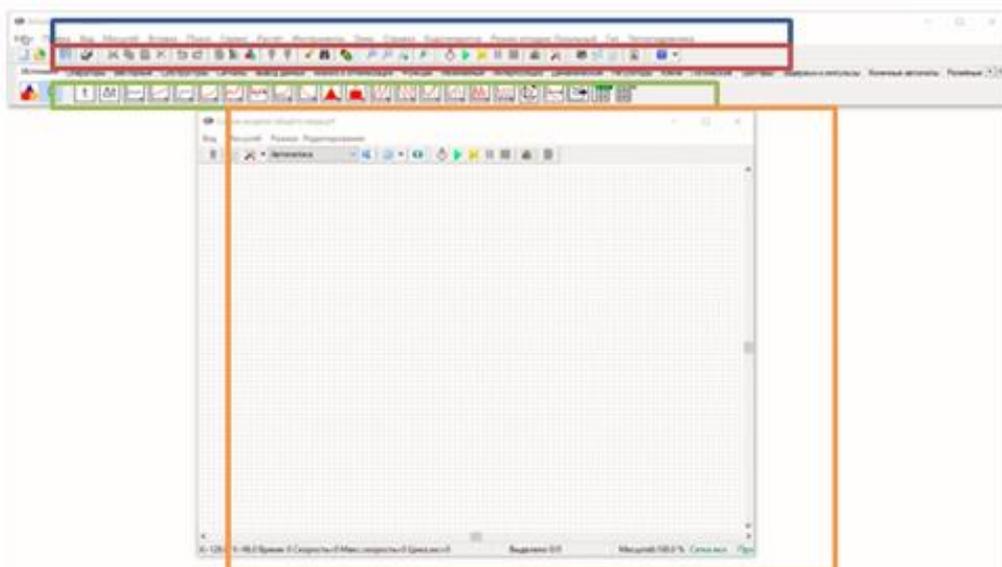


Рисунок 2 – Интерфейс программы при создании схемы

При создании схем можно использовать различные блоки, которые помогут решить поставленную задачу (рисунок 3).

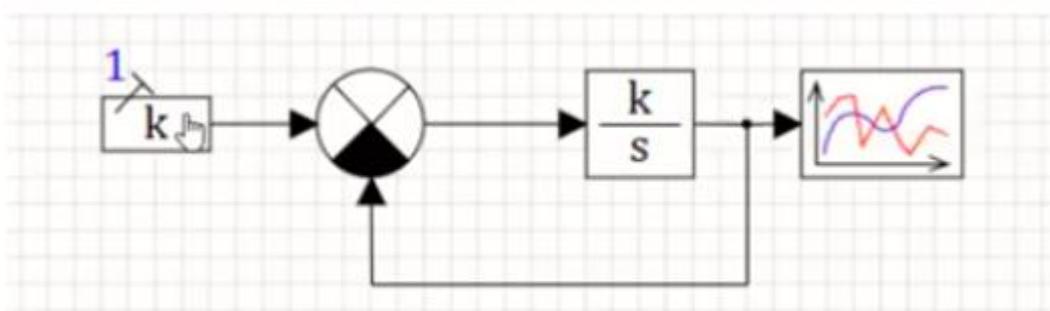


Рисунок 3 – Моделирование схемы

После построения схемы, можно настроить каждый блок в отдельности. В данной программе заложено большое количество параметров (рисунок 4).

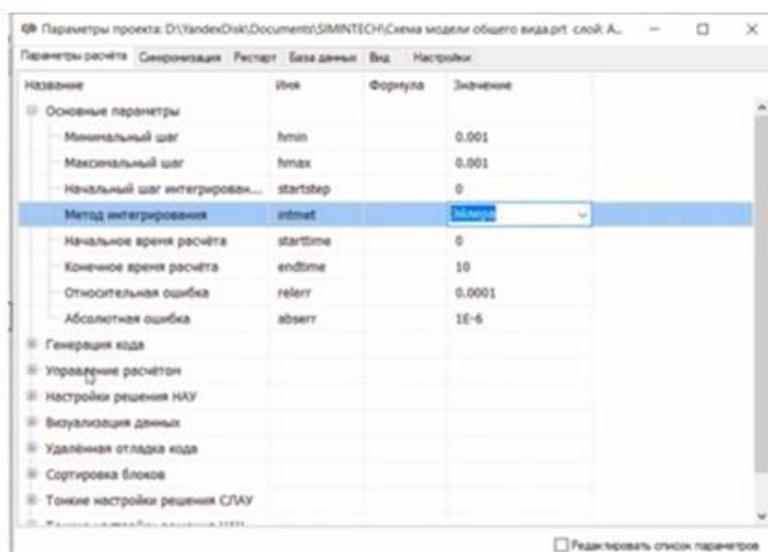


Рисунок 4 – Параметры создаваемой схемы

Во время наблюдения за процессом необходимо выбрать пункт «Согласовать с настоящим временем». Данная функция позволяет во время расчета вывести все расчеты на линии связи. По завершению времени расчет закончится автоматически.

Одним из важных факторов в данной программе является то, что она позволяет выбирать положение надписей их размер и шрифт, делая работу максимально удобной.

Выполнять расчеты можно различными способами, один из которых - при помощи стрелочного прибора (рисунок 5).

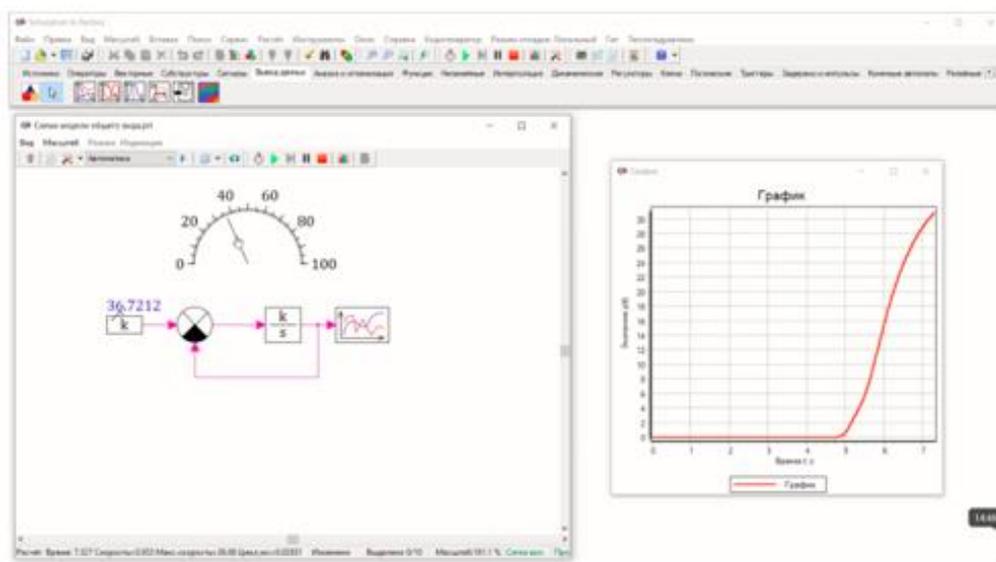


Рисунок 5 – Моделирование схемы с управлением стрелочного прибора

В SimInTech существует множество других операций, например при помощи библиотек можно добавить на схему безколлекторный двигатель постоянного тока и посмотреть его устройство. Для этого нужно нажать на правую кнопку мыши и выбрать «Войти в субмодель» (рисунок 6).

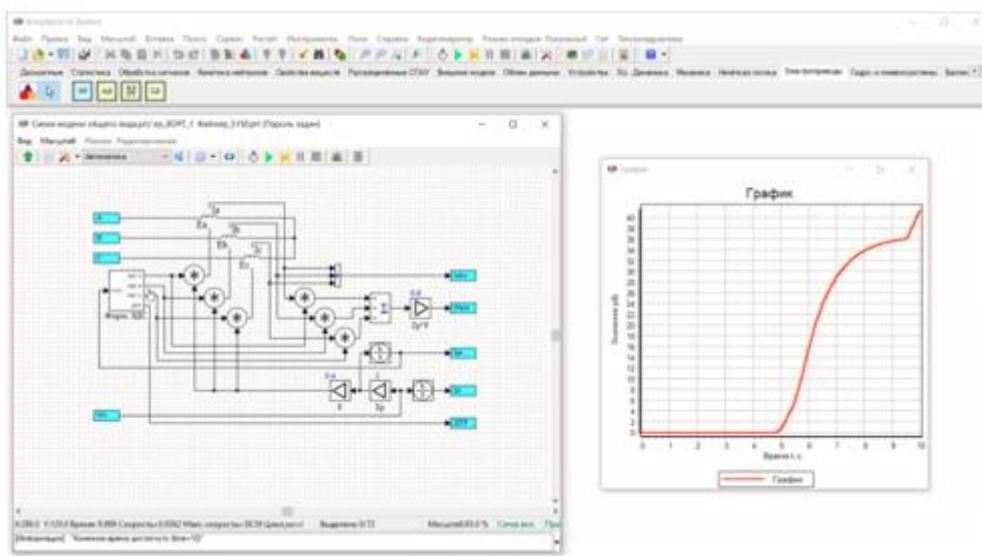


Рисунок 6 – Субмодель безколлекторного двигателя постоянного тока

Данная функция позволяет пользователю оценить ход работы с математической точки зрения и, при необходимости, внести коррективы.

Таким образом, данная программа предоставляет большие возможности при моделировании и анализе различных систем.

Благодаря SimInTech можно частично решить проблему с проведением ЛР по естественнонаучным и техническим дисциплинам образовательных программ, реализуемых вузом в дистанционном формате. Полностью практические навыки данный ресурс не заменит, но студенты смогут увидеть изучаемые процессы, что повысит качество образования специалистов по техническим направлениям подготовки.

### Литература

1. Салахова А.Ш., Козлов В.А. Организация и методика проведения дистанционных лабораторных работ по общепрофессиональным техническим дисциплинам // Открытое образование. 2014. №5. С.74-79.

2. Муравьев А.А., Маркова, Н.С., Грачева О.А. Методика проведения лабораторных работ по электротехническим дисциплинам в условиях дистанционного обучения // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию ГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова "ОБРАЗОВАНИЕ БУДУЩЕГО". 2020. С.78-84. 10.34708/GSTOU.CONF.2020.33.70.009.

3. Дьячков М.Р. Возможности программы National instruments для проведения лабораторных работ по техническим дисциплинам в дистанционном формате обучения // НАУКА И ИННОВАЦИИ В XXI ВЕКЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ОТКРЫТИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ: сборник статей XXVIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2021. С. 224-227.

4. Simintech // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Simintech> (дата обращения: 18.02.2022).

5. Здоровцов, А.Г. Изучение основ электроники и построение электрических цепей в программном обеспечении SimInTech / А.Г. Здоровцов // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2019. – № 7-8. С. 94-97.

# ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ ГОРОДСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА УЧАЩИХСЯ ГОРОДА НОВОУРАЛЬСКА

**Дронишинец Н. П., Носырев Н. А.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[dronishinets1@yandex.ru](mailto:dronishinets1@yandex.ru)

**Аннотация:** В работе рассматривается история формирования городского научного общества учащихся г. Новоуральска. Авторы анализируют документы Управления образования Администрации г. Новоуральска, материалы сессий Городского научного общества учащихся за период развития городского научного общества учащихся и приходят к выводу, что сформировавшееся почти 45 лет назад городское научное общество способствовало появлению системы выявления и поддержки молодых талантов.

**Ключевые слова:** научное общество учащихся, ученые вузов, лучшие учителя школ, конкурс творческих проектов.

В соответствии с реализацией «Комплекса мер, направленного на выявление и поддержку одаренных детей и молодежи в Новоуральском городском округе», планом работы Управления образования Администрации Новоуральского городского округа на 2020 – 2021 учебный год была проведена очередная сессия Городского научного общества учащихся (ГНОУ) 19.03.2021 на базе МАОУ «Лицей № 56» [1, 2].

Формирование городского научного общества учащихся Новоуральска (г. Свердловск-44) уначиналось 10 октября 1977 года, т.е. почти 45 лет назад. В других городах страны подобные научные школьные сообщества появились 50 лет назад. Например, в Нижнем Новгороде на протяжении 50-ти лет существует такая система выявления и поддержки молодых талантов, как городское научное общество учащихся «Эврика». Курируют деятельность городского НОУ «Эврика» педагоги-организаторы высшей категории. Координатором деятельности городского НОУ «Эврика» является Совет кураторов, в состав которого входят преподаватели и ученые вузов города, главные специалисты и методисты районного управления образования [3].

Первое в стране научное общество учащихся (НОУ) было учреждено в 1963 году решением ученого совета Челябинского государственного педагогического института на базе ВУЗа и Дворца пионеров и школьников им. Н.К. Крупской [4]. В состав первого совета кураторов НОУ вошли ученые ЧГПИ, руководители Дворца пионеров и школьников им. Н.К. Крупской, секретари обкома и горкома ВЛКСМ, руководители областного и городского отделов образования. В январе 1964 года на первой учредительной сессии был избран ученический совет членов НОУ, определен состав Совета кураторов, утверждено положение об объединении. Старшеклассники приняли для научного общества девиз героя

романа В. Каверина «Два капитана» Сани Григорьева, немного перефразировав его: «Бороться и искать, находить и отстаивать». Первыми секциями НОУ руководили ученые ЧГПИ – профессора и доценты, учителя лучших школ города. Инициативу развития НОУ подхватили практически все ВУЗы Челябинска. В середине 60-х годов сотрудничество в рамках НОУ объединило усилия ученых высших учебных заведений: педагогического института, политехнического, медицинского, института механизации и электрификации сельского хозяйства. Появились филиалы научного общества в школах №№ 10, 18, 34, 37, 46, 91, 92 города Челябинска. Эти учреждения стали базой для развития исследовательской, опытнической, изобретательской деятельности школьников в различных отраслях науки и техники. В 1965 году опыт работы НОУ впервые представлен на ВДНХ СССР. В 1968 году НОУ присуждена премия имени трижды Героя социалистического труда академика И.В. Курчатова. В 70-х годах деятельность научного общества учащихся активно развернулась в городах Челябинской области: Магнитогорске, Златоусте, Миассе, Троицке, Симе Аше, Чебаркуле, Снежинске, Озерске, Коркино, Копейске, Сосновском, Чебаркульском, Красноармейском, Варненском, Увельском районах. Опыт НОУ обобщается и распространяется по стране. В 1969 году рассмотрен и обобщен опыт НОУ на Коллегии Министерства народного образования СССР. В научной литературе представлены работы, в которых предприняты попытки рассмотреть возникновение и развитие научных обществ учащихся в России [5].

Таким образом, научные общества учащихся в стране учреждались по инициативе высших учебных заведений, первыми кураторами НОУ были ученые вузов, лучшие учителя школ.

В Новоуральске также первым президентом городского научного общества учащихся (ГНОУ) стал кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе филиала №2 Московского инженерно-физического института Зотов В.С. Начало создания ГНОУ в Новоуральске, как и всех первых в стране научных обществ учащихся, учреждалось на базе Дворца пионеров имени П. Морозова, директором которого была В.М. Бритченко. Руководителем ГНОУ стала методист дополнительного образования Т.Н. Ульянова. Именно эти специалисты способствовали созданию благоприятных условий для интеллектуального развития учащихся города, помогли одаренным детям реализовать свой потенциал.

Для успешного функционирования ГНОУ были разработаны Положение и Устав о городском научном обществе учащихся и молодежи. В документах были определены цели и задачи ГНОУ. К концу 1990-х годов ГНОУ представляло собой зрелую обновленную структуру и новые направления деятельности, обусловленные социально-экономическими

реформами в стране, в том числе и в системе образования в начале 1990-х годов. (См. Таблицу 1).

Таблица 1



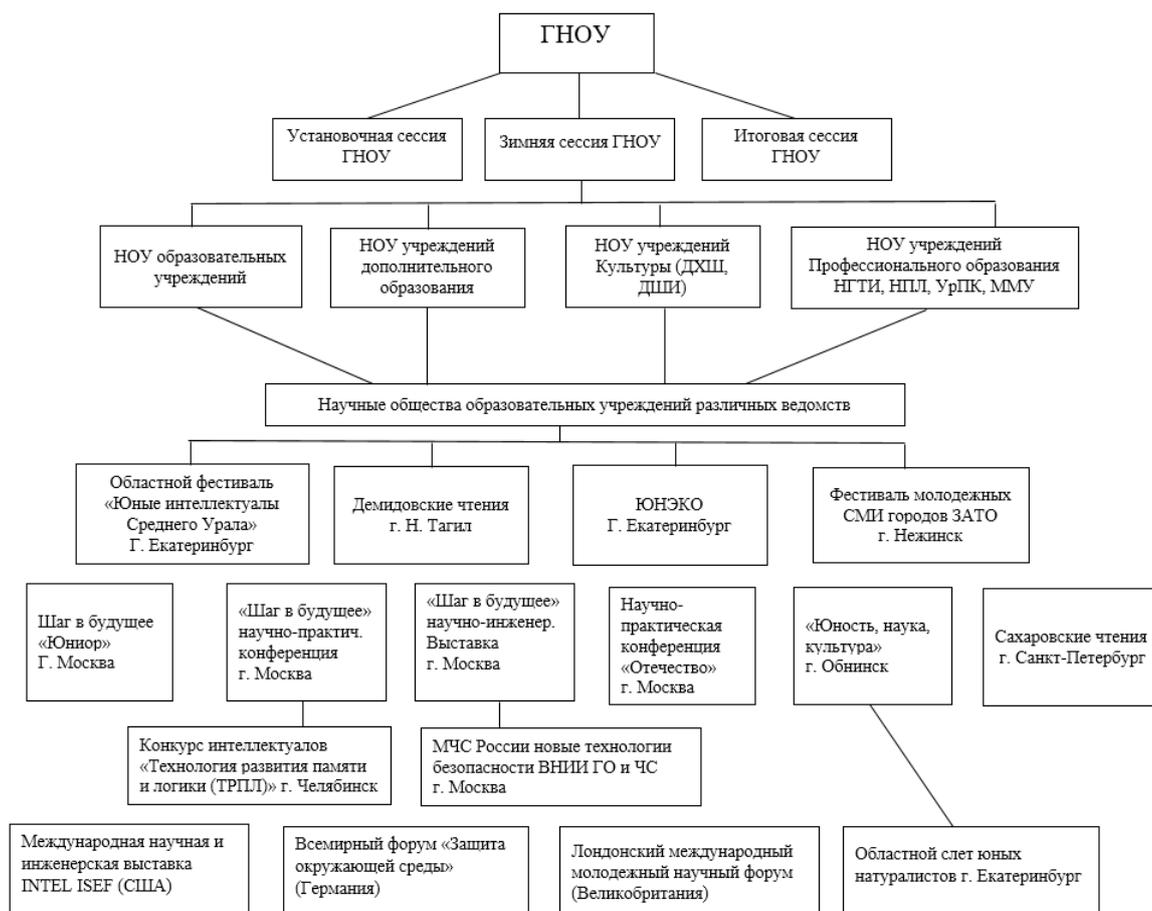
В соответствии с постановлением главы города Новоуральска от 02.09.1998 г. № 1274 была проведена реорганизация методической службы Управления образования администрации города Новоуральска путём слияния Городского методического кабинета и Учебно-методического центра дополнительного образования и открытия в структуре Управления образования с 01.10.1998 года образовательного учреждения дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов "Учебно-методический центр развития образования" (УМЦРО).

Директором УМЦРО назначена Горновая Т. Н. [6]. Учебно-методический центр развития образования стал курировать деятельность ГНОУ. Реорганизация дала положительные изменения. Если в 1997 – 1998 гг. образовательные учреждения стремились представить как можно больше работ, то после реорганизации четко стала проявляться тенденция снижения количества работ и роста их качества выполнения. Работы стали отличаться глубиной проработки темы, творческим подходом к постановке и решению проблемы. Городское научное общество учащихся стало работать по четырем образовательным областям: техносфера, включающая в себя предметы – технология, технические устройства, информационные технологии; естествознание, в которую входят: физика, астрономия, химия, география, математика, экология, биология; культурная

антропология с предметами: искусствоведение, культурология, филология и языкознание, история, краеведение, мода и дизайн, музееведение; социальная практика с предметами: экономика, медицина, журналистика, социология, педагогика, психология [7]. В это время стала формироваться Малая Академия городского научного общества учащихся, которая представляла собой систему взаимосвязанных элементов различных форм и направлений образования, в которую входили четыре высших учебных заведения, функционировавших в городе, библиотеки, художественная школа и школа искусств, Уральское отделение Российской Академии наук, УЭХК и ещё целый ряд учреждений.

Анализ Таблицы 2, где представлена структура и основные направления деятельности городского научного общества учащихся на 2002 – 2003 учебный год, показывает, что кроме регионального, всероссийского участия было международное сотрудничество. Участники ГНОУ являлись лауреатами и призерами научных состязаний международных форумов и выставок, проводимых США, Германией, Великобританией. Участвовали в соревновании молодых ученых Европейского Союза «Шаг в будущее» в г. Снежинске. В 1998 – 1999 учебном году ученик школы № 58 Кулешов С. участвовал в инженерной выставке INTEL в США в составе национальной сборной России. Ученик Гимназии Гришин Ю. в составе национальной сборной России участвовал в работе Всемирного форума «Защита окружающей среды» в Германии. Оба ученика стали лауреатами. Во Всероссийской научной конференции молодых исследователей «Шаг в будущее» с международным участием городское научное общество учащихся представляли в 2000 – 2001 учебном году три ученика, двое из которых заняли первые места, а третий получил диплом самого молодого исследователя. По результатам выступлений Еремина М., ученица школы № 49 стала кандидатом в состав Национальной делегации молодых исследователей на Международную научную молодежную выставку ЭКСПО-НАУКА во Франции, Гренобле, а Завражнов Е., воспитанник ДЭЦ, стал кандидатом в состав национальной сборной России на Международную научную и инженерную выставку INTEL ISEF в США. Таким образом, можно констатировать, что на рубеже конца 1990-х начала 2000-х годов школьники ГНОУ демонстрировали высокие достижения в научно-исследовательской деятельности на различных международных форумах. Позднее это направление деятельности ГНОУ стало сворачиваться и в Основных сведениях об образовательной организации «Учебно-методический центр развития образования» за 2021 год сохраняется ещё раздел "Международное сотрудничество", но в содержании раздела отмечено: Международное сотрудничество не осуществляется [8].

## Основные направления деятельности ГНОУ г. Новоуральска



Выделяя различные этапы в развитии ГНОУ Новоуральска, следует особо отметить рубеж 2002 -2003 учебного года, когда был 25-летний юбилей общества. Празднованию юбилея предшествовала большая организационная работа, которую проводила методист УМЦРО по научно-исследовательской работе В. Ф. Ваганова. Была проведена научная конференция. Впервые были изданы материалы конференции: Первые шаги в науку: сборник тезисов научных трудов молодых исследователей [9]. На конференции работало четыре секции: техносфера, естественнонаучная, культурология, социальная практика. Сегодня (почти двадцать лет спустя), читая материалы конференции, ещё более осознаёшь, что учащиеся действительно анализировали новейшие проблемы социально-экономического развития страны в своих работах. Активное вхождение в жизнь, в учебный процесс компьютеров, новых программных продуктов, отражали стремление школьников проанализировать эти процессы. Назовем некоторые темы исследовательских работ: Защита домашнего персонального компьютера от несанкционированного доступа, Подготовка презентаций в Microsoft PowerPoint, Основные работы в Microsoft Windows' 98, Автоматизированная информационная система «Арм завуча». Последняя работа ученика 9а класса школы № 56 Баранникова А. была посвящена созданию программного комплекса на

основе Microsoft Excel для обработки и анализа данных об успеваемости учащихся школы (автоматизированное рабочее место завуча по учебной работе). Следовательно, многие работы школьников имели практическую направленность.

Структура и основные направления деятельности городского научного общества учащихся постоянно совершенствуются. Фактически с конца 1990-х годов и до 2017 – 2018 учебного года сохранялась работа 4 – 5 секций: Техносфера, Культурная антропология, Естествознание, Социальная практика, Краеведение. (См. Таблицу 3).

Таблица 3

Итоговая сессия ГНОУ по отдельным годам

Год и количество работ	Секции				
	Техносфера	Естествознание	Культурная антропология	Социальная практика	Краеведение
2015					
Количество работ	7	5	3	9	7
2016					
Количество работ	7	12	7	5	6
2017					
Количество работ	7	7	-	15	5
2018					
Количество работ	7	7	5	8	-

С 2017 – 2018 учебного года в рамках ГНОУ проводится конкурс творческих проектов, уточнены положение конкурса, критерии оценки проектов заочного этапа и критерии оценки очной защиты проектов. С 2018 – 2019 учебного года проводится конкурс социальных проектов. В рамках деятельности городского научного общества (ГНОУ) в 2019 – 2020 учебном году для обучающихся организованы конкурсы исследовательских работ, творческих и социальных проектов (21 работа, для рецензирования привлечены 8 экспертов). Для очной защиты организовано 4 экспертных группы, привлечено 10 специалистов. В очередной раз в 2019 – 2020 учебном году в рамках ГНОУ проводился конкурс творческих проектов, конкурс социальных проектов, в адрес оргкомитета

поступило 7 работ. По итогам конкурсов были определены победители, 5 работ рекомендованы на областную научно-практическую конференцию [10].

В 2020 – 2021 учебном году в рамках сессии ГНОУ проведено 4 конкурса, на которые были представлены 64 работы обучающихся 7 – 11 классов, в том числе в конкурсе исследовательских работ в двух секциях «Естествознание», «Социальная практика» – 18, конкурсе творческих проектов – 14, в конкурсе социальных проектов – 7, в конкурсе инженерных проектов – 4 работы. Жюри отметило достаточно высокий уровень и качество представленных работ, ясность изложения результатов, оригинальность и творческий подход в выборе тем.

Победителями стали:

- в конкурсе исследовательских работ – Кавелашвили С., обучающаяся МАОУ «Лицей № 56», Герман А., обучающийся МАОУ «Гимназия 41», Рябова Ю., обучающаяся МАОУ «Лицей № 58», Козлова К., обучающаяся МАОУ «Гимназия», Храмцова Н., обучающаяся МАОУ «СОШ № 45»;

- в конкурсе творческих проектов – Галаган А., обучающаяся МАОУ «Гимназия», Атаманова К., обучающаяся МАОУ «Гимназия № 41», Скоморохова Д., обучающаяся МАОУ «СОШ № 45»;

- в конкурсе инженерных проектов – Бакулев С., обучающийся МАОУ «Гимназия № 41»;

- в конкурсе социальных проектов – Колесникова Н. и Щукина С., обучающиеся МАОУ «Лицей № 56» [2].

В тоже время в публичных отчетах о деятельности муниципального бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Учебно-методический центр развития образования» Новоуральского городского округа отмечаются и проблемы по выявлению и развитию одаренных детей: – снижение активности старшеклассников в научно-исследовательской деятельности, особенно по гуманитарным образовательным предметам, информатике, математике; – недостаточное сопровождение школьников при подготовке к олимпиадам, ограничены возможности привлечения специалистов вузов. УМЦРО ставит задачи: – оптимизировать систему мероприятий, апробировать новые инновационные формы; – продолжить работу по мотивации учащихся на изучение естественно-научных дисциплин и математики [11].

Таким образом, анализ становления городского научного общества учащихся г. Новоуральска показывает, что сформировавшееся почти 45 лет назад городское научное общество способствовало появлению системы выявления и поддержки молодых талантов.

## Литература

1. [Приказ МБОУ ДПО "УМЦРО" от 15 марта 2021 г. № 18 "О проведении сессии ГНОУ"](https://umcro.edusite.ru/DswMedia/prikazumcro15032021-18oprovedeniisessiignou.pdf) URL: [\\https://umcro.edusite.ru/DswMedia/prikazumcro15032021-18oprovedeniisessiignou.pdf](https://umcro.edusite.ru/DswMedia/prikazumcro15032021-18oprovedeniisessiignou.pdf)
2. О деятельности ГНОУ [\\https://umcro.edusite.ru/p40aa1.html](https://umcro.edusite.ru/p40aa1.html)
3. [Городское научное общество учащихся "Эврика"](https://www.ddt-chkalov.ru/taxonomy/term/77) [\\https://www.ddt-chkalov.ru/taxonomy/term/77](https://www.ddt-chkalov.ru/taxonomy/term/77)
4. Научное общество учащихся URL: <https://chel-dpsh.ru/otkrytaya-entsiklopediya-dvortsa/item/1764-nauchnoe-obshchestvo-uchashchikhsya>
5. Возникновение и развитие НОУ в России [https://studbooks.net/1947828/pedagogika/vozniknovenie\\_razvitie\\_rossii#95](https://studbooks.net/1947828/pedagogika/vozniknovenie_razvitie_rossii#95)
6. Историческая справка к юбилею системы образования [\\ http://uo.adm-ngo.ru/page/802](http://uo.adm-ngo.ru/page/802)
7. 25-летний юбилей ГНОУ. Рукопись.
8. Основные сведения об образовательной организации [\\ https://umcro.edusite.ru/p78aa1.html](https://umcro.edusite.ru/p78aa1.html)
9. Первые шаги в науку: сборник тезисов научных трудов молодых исследователей, - Новоуральск: Учебно-методический центр развития образования, 2003, 58 с.
10. ПУБЛИЧНЫЙ ДОКЛАД о деятельности муниципального бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Учебно-методический центр развития образования» Новоуральского городского округа за 2019-2020 учебный год [\\ https://umcro.edusite.ru/DswMedia/pdumcro2020.pdf](https://umcro.edusite.ru/DswMedia/pdumcro2020.pdf)
11. ПУБЛИЧНЫЙ ДОКЛАД о деятельности муниципального бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Учебно-методический центр развития образования» Новоуральского городского округа за 2018-2019 учебный год [\\https://umcro.edusite.ru/DswMedia/publichnii\\_doklad\\_deyatelnost\\_umcro.pdf](https://umcro.edusite.ru/DswMedia/publichnii_doklad_deyatelnost_umcro.pdf)

# КРАЕВЕДЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ КАК ФОРМА РАБОТЫ ШКОЛЬНИКА ПО УЧЕБНЫМ ПРЕДМЕТАМ «ИСТОРИЯ», «ОБЩЕСТВОЗНАНИЕ»

**Жданов А.О.**

*Член клуба «Новоуральский краевед», г. Новоуральск*

[Jdan.projekt@gmail.com](mailto:Jdan.projekt@gmail.com)

**Аннотация.** Распространение новой коронавирусной инфекции COVID-19 вызвало ряд ограничений в системе школьного образования. Одним из них стало дистанционное обучение. Многие программные информационные продукты позволяют проводить учебные занятия в режиме on-line, однако они не предлагают очевидных решений для таких требований ФГОС ООО, как, например, формирования умения проводить исследовательскую работу. Для освоения исследовательских УУД может быть использована методика создания краеведческого календаря.

**Ключевые слова:** патриотическое воспитание, региональная история, универсальные учебные действия.

Создание краеведческого календаря – одна из форм работы со школьниками, которая может быть использована в режиме on-line. С технологией создания календаря можно ознакомиться в статье автора, опубликованной в сборнике [1].

Произведем анализ краеведческого календаря с точки зрения универсальных учебных действий.

*Таблица 1*

Анализ краеведческого календаря по ФГОС ООО

УУД		Краеведческий календарь
Вид УУД	Результат по ФГОС	
Личностные	Самоопределение	Личностная оценка событий локальной истории, их значимости для истории семьи, собственного жизненного пути
	Смыслообразование	Усвоение нового материала Формирование представлений о событиях отечественной истории, понимание значения этих событий
	Нравственно-этическая ориентация	Рассмотрение местной истории на фоне общих исторических событий
Регулятивные	Целеполагание	Определение критериев, по которым осуществляется подбор краеведческой информации
	Планирование	Составление плана работы над проектом, определение последовательности действий
	Прогнозирование	Планирование временных затрат на изготовление календаря Планирование практического использования краеведческого календаря

<b>Регулятивные</b>	Контроль	Определение достоверности краеведческой информации
	Коррекция	Компоновка документов и описания событий с учетом проверки достоверности краеведческой информации
	Оценка	Составление тезисов о конкретном событии. Определение основной и второстепенной информации Выявление и описание малоизвестного исторического события Оценка стиля и выразительных средств информационных сообщений в СМИ
	Саморегуляция	Анализ работы с источниками краеведческой информации
<b>Познавательные</b>	Формулировка проблемы	Отсутствие готового тематического краеведческого календаря Возможно ли найти данные о значимых событиях местной истории для каждого дня в календаре?
	Рефлексия деятельности	Закрепление пройденного материала, знакомство с новой информацией Я понял... Я научился... Я узнал...
	Постановка и решение проблемы	Определение методов информационного поиска
	Поиск информации	Работа с источниками краеведческой информации
	Смысловое чтение	Поиск и выделение необходимой информации
	Моделирование	Определение шаблона краеведческого календаря
<b>Коммуникативные</b>	Планирование сотрудничества	Определение функций участников при коллективном выполнении задания, способов взаимодействия (через социальные сети: VK, Одноклассники, WhatsApp, электронную почту, в режиме on-line и т.д.)
	Постановка вопроса	Инициативное сотрудничество в поиске и сборе информации
	Разрешение конфликтов	Коллективный анализ спорной краеведческой информации
	Управление поведением партнера	Контроль, коррекция, оценка действий партнера
	Умение выражать свои мысли	Умение вести диалог при обсуждении информации. Владение формами речи в соответствии с грамматическими и синтаксическими нормами родного языка

На рисунке 1 представлен алгоритм составления краеведческого календаря.

Из рисунка 1 видно, что основной трудностью, которая ожидает школьника при изготовлении краеведческого календаря, является поиск информации на определенный день. Для решения проблемы можно воспользоваться формулой:

Прямая информация – это информация, которая относится к заданной теме без сомнения;

Косвенная информация – это информация, которая является важной и значимой не только для конкретного места или локального события, но относится к истории страны в целом, а также общепринятые праздники.

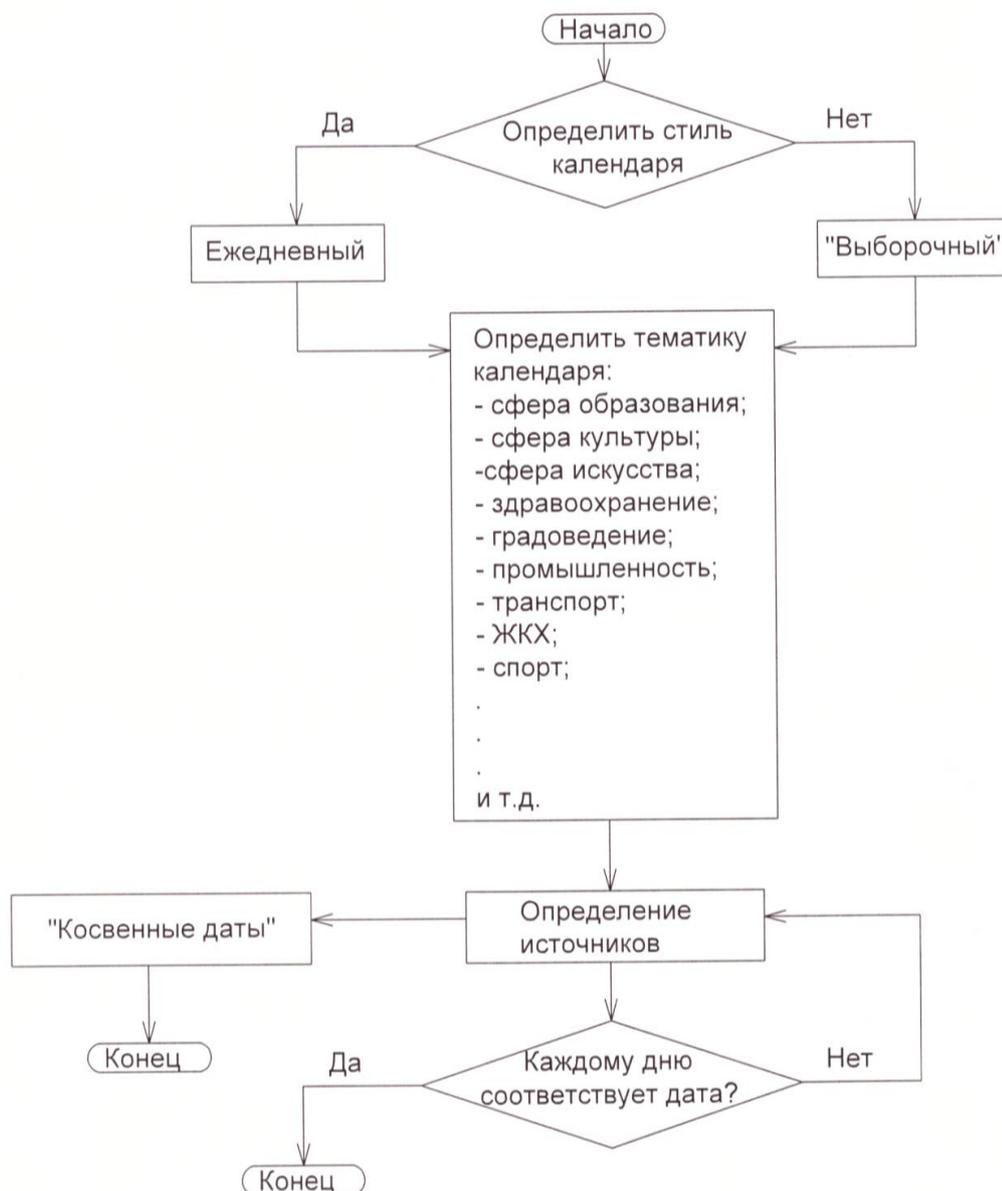


Рисунок 1 – Алгоритм составления краеведческого календаря

Например, при выборе событий для календаря на каждый день по истории Петергофа, в качестве косвенной информации могут быть использованы даты: «1 мая –

День труда», «2 мая 1729 г. родилась Екатерина II». Примером прямой информации служат события: «3 декабря 1931 г. Постановлением ЦК ВКП(б) и СНК СССР сады и парки Петергофа были включены в число парков культуры и отдыха», «27 сентября 1725 г. запущен фонтан «Фаворитка» (архитектор М. Земцов, скульптор и резчик Н. Пино, фонтанный мастер П. Суалем, механик и музыкант И. Ферстер).

Стоит также отметить, что информация в календаре может быть представлена в хронологии как по старому стилю, так и по-новому.

Рассмотрим варианты использования данной методики на уроках «История», «Обществознание»:

1. Командная работа во время проведения урока-соревнования
2. Индивидуальная работа

Если занятие проводится в on-line режиме, учитель отправляет алгоритм создания календаря всем ученикам в общий чат/группу. Ученики с помощью программного обеспечения Skype, Zoom «разделяются» на команды, создавая свои «виртуальные комнаты». Каждая команда выбирает капитана-лидера, который определяет критерии поиска для каждого участника своей группы. В таблице 2 показан пример карточки-задания, используемой в Политехнической гимназии г. Нижний Тагил (Свердловская область). Данная карточка была разработана для учеников Политехнической гимназии. Идея взять за основу календаря историю Петергофа появилась после того, как ребята приняли участие в Четвертых Колпинских краеведческих чтений по краеведению и туризму в 2021 году.

*Таблица 2*

Карточка-задание «История России в 18-21 веке»

<b>Петергоф</b>		<b>Нижний Тагил</b>	
Дата	Событие	Дата	Событие
1 января		1 января	
2 января		2 января	
...		...	
31 января		31 января	

Основными источниками информации для выполнения задания в режиме on-line являются сайты учреждений образования, культуры, городских архивов, предприятий, дидактические материалы, учебник по дисциплине. В конце урока команды называют выбранные события из истории страны, региональной истории, обосновывают свой выбор. Наиболее целесообразно такую форму работы предложить ученикам 7-8 классов, т.к. на

уроках обществознания они знакомятся с функционированием различных социальных институтов, в частности, относящихся к сфере культуры, науки и образования.

Достоинствами задания «Краеведческий календарь» являются:

- Работа с краеведческой информацией, находящейся в свободном доступе в сети Интернет, печатными изданиями;
- Ученики знакомятся с историей родного края в курсе общей истории;
- Новая форма «подачи» краеведческой информации;
- Каждый ученик выполняет свое индивидуальное задание.

Стоит отметить, что проведение уроков с включением задания «Краеведческий календарь» лучше всего проводить в качестве итогового занятия по изучаемым разделам в соответствии с учебным планом, повторения и закрепления пройденного материала. Созданные годовые краеведческие календари могут быть использованы школьниками при написании исследовательских работ, в школьных газетах, радиовыступлениях.

#### Литература

1. Колпинские чтения по краеведению и туризму. Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции 25 марта 2021 года / Отв. ред. Н.Е. Самсонова, С.И. Махов, Д.А. Субетто, В.Д. Сухоруков. Научный редактор: А.А. Соколова. В частях. Часть II. Спб.: ЛОИРО, 2021. 454 с.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ

**Зиновьев Г.С., Литвинчук И.Е., Тунева А.А.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУ ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[GSZinovyev@mephi.ru](mailto:GSZinovyev@mephi.ru)

**Аннотация:** В статье рассматриваются особенности и различия нескольких поколений федеральных государственных образовательных стандартов, и их влияние на формирование основных образовательных программ высшего образования вузов. А также анализируются подходы по встраиванию профессиональных стандартов в образовательные программы.

**Ключевые слова:** высшее образование, федеральный государственный образовательный стандарт, основная образовательная программа, профессиональный стандарт.

Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС) является основополагающим документом в системе российского образования, в том числе высшего образования (ВО). ФГОС регулирует содержание и структуру основных образовательных программ, предписывает, как, с точки зрения государства, должна быть устроена образовательная программа: какие элементы должна содержать, какую иметь структуру и набор формирующих ее компетенций. На основе ФГОС вузы разрабатывают свои основные образовательные программы (ООП) высшего образования. ФГОС ВО постоянно претерпевают корректировку и актуализацию, в связи с чем вузам необходимо актуализировать свои ООП. Ключевым вопросом для актуализации ФГОС ВО является порядок отбора и закрепления сопряжённых с направлением подготовки (специальностью) профессиональных стандартов (ПС).

В 2015 году после многочисленных обсуждений было принято решение об отказе перехода с ФГОС 3+ на ФГОС 4 с целью исключения «дополнительных негативных факторов» для системы высшего образования в пользу постепенного перехода на новые образовательные стандарты, опирающиеся на возможности тех или иных укрупнённых групп специальностей и направлений подготовки. Разработка единого (на уровень образования) ФГОС ВО была признана целесообразной только для третьего уровня высшего образования – подготовки кадров высшей квалификации.

Актуализированный в соответствии с требованиями профессиональных стандартов ФГОС ВО, условно называемый ФГОС 3++, предполагает значительно большую академическую свободу образовательных организаций. [1].

В ФГОС 3++ не используется термин «вид профессиональной деятельности»; это связано с тем, что в профессиональном стандарте «вид профессиональной деятельности» – это единица для объединения сходных групп должностей с целью описания их квалификации (в образовательных стандартах под этим понимается группа сходных профессиональных задач). Вместо этого ФГОС ВО оперирует понятием «тип профессиональных задач». Оно служит для идентификации направленности (профиля) образовательной программы, которая сближает компетенцию выпускника с определёнными видами профессиональной деятельности на рынке труда. Непосредственно перечень профессиональных задач, к решению которых готовится выпускник, а также объекты профессиональной деятельности также могут быть установлены в образовательной программе (при наличии направленности (профиля) – выбраны в зависимости от них).

При разработке ФГОС 3++ по-новому подошли к формулировке компетенций, универсальные компетенции (УК) распределены на категории (группы), при этом УК компетенции сформулированы одинаково по уровням подготовки на все укрупненные группы направлений подготовки и специальностей (УГНС).

Общепрофессиональные компетенции (ОПК), как задумывалось, должны были быть сформулированы одинаково в рамках одной УГНС, но на деле получилось где-то в рамках одной УГНС, где-то по направлениям подготовки и специальностям (НПС). При этом индикаторы достижения компетенций, как предполагалось, должны были быть расписаны в Примерных основных образовательных программах (ПООП), а также знания умения и владения (ЗУВ) и, соответственно, дисциплины. Но, так как ПООП не вышли, вузы вынуждены были сами для себя разработать индикаторы достижения компетенций по универсальным (УК) и общепрофессиональным (ОПК) компетенциям.

Профессиональные же компетенции (ПК), которые должны быть сформированы у студентов, в условиях отсутствия ПООП вузы вправе определять самостоятельно, учитывая профиль или специализацию, профессиональные стандарты (ПС) и трудовые функции [2].

Например, ФГОС 3+ для направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» устанавливает следующие «виды профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники, освоившие программу бакалавриата: научно-исследовательская; проектно-конструкторская; производственно-технологическая; организационно-управленческая; монтажно-наладочная; сервисно - эксплуатационная». ФГОС 3++ содержит следующую формулировку «В рамках освоения программы бакалавриата выпускники могут готовиться к решению задач профессиональной деятельности следующих типов: научно-исследовательская; проектно-конструкторская;

производственно-технологическая; организационно-управленческая; монтажно-наладочная; сервисно - эксплуатационная».

Таким образом, ФГОС 3++ позволяет вузу самостоятельно определять перечень задач профессиональной деятельности в составе ООП, которые наиболее актуальны на текущий момент с точки зрения работодателей.

ФГОС 3+ был направлен на подготовку бакалавров по двум программам: программа академического бакалавриата и программа прикладного бакалавриата. ФГОС 3++ исключил из названия программ слова «академический» и «прикладной», в итоге формулировка программы подготовки стала звучать «образовательная программа бакалавриата».

В соответствии с ФГОС 3+ в результате освоения программы бакалавриата у выпускника должны быть сформированы общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции.

Проведем обзор и анализ требований и изменений, вносимых ФГОС 3++ по отношению к ФГОС 3+.

Общий объём зачётных единиц остался без изменений для всех направлений вне зависимости от формы обучения – 240 з.е.

При этом изменился объём программы бакалавриата, реализуемый за один учебный год. Например, в соответствии с ФГОС 3+ для направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» объём программы бакалавриата, реализуемый за один учебный в очной форме обучения 60 з.е.; в очно-заочной или заочной формах обучения - не более 75 з.е.; по индивидуальному плану вне зависимости от формы обучения - не более 75 з.е., в соответствии с ФГОС 3++ объём программы бакалавриата, реализуемый за один учебный год, составляет не более 70 з.е. вне зависимости от формы обучения, а при ускоренном обучении – не более 80 з.е. Таким образом, у вузов появилась возможность варьировать зачётными единицами в соответствии с разработанными учебными планами в более широком диапазоне.

Следующим отличительным признаком ФГОС 3++ является упразднение конкретизации областей профессиональной деятельности выпускников. Например, в соответствии с ФГОС 3+ для направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» «область профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата, включает совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, технологию производства, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, электронных приборов, устройств, установок вакуумной, плазменной,

твердотельной, микроволновой, оптической, микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения». В новой редакции (ФГОС 3++) области профессиональной деятельности и сферы профессиональной деятельности, в которых выпускники, освоившие программу бакалавриата, могут осуществлять профессиональную деятельность рассматриваются с более широкой точки зрения. В соответствии с ФГОС 3++ для направления подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» «области профессиональной деятельности и сферы профессиональной деятельности:

01 Наука и образование (в сфере научных исследований);

25 Ракетно-космическая промышленность (в сфере проектирования, разработки, монтажа и эксплуатации электронных устройств ракетно-космической промышленности);

29 производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования (в сфере проектирования, технологии и производства систем в корпусе и микро- и наноразмерных электромеханических систем);

40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере эксплуатации электронных средств).

Открытая формулировка перечня областей профессиональной деятельности позволяет значительно расширить сферы деятельности выпускников. Понятие «сфера профессиональной деятельности» может применяться и в случае, когда область профессиональной деятельности выпускника на текущий момент не отражена в Реестре профессиональных стандартов, что в принципе на текущий момент является наиболее актуальным.

ФГОС 3++ содержит следующую информацию «Выпускники могут осуществлять профессиональную деятельность в других областях профессиональной деятельности и (или) сферах профессиональной деятельности при условии соответствия уровня их образования и полученных компетенций требованиям к квалификации работника».

Данная формулировка является весьма важной в связи с предоставляемой образовательным организациям возможностью формирования широкого спектра направленностей (профилей) основной профессиональной образовательной программы.

В ФГОС 3++, в отличие от ФГОС 3+, отсутствует перечень объектов профессиональной деятельности, его при необходимости вузы могут конкретизировать самостоятельно с учетом выбранного профиля подготовки.

В то же время, перед вузами встала задача: для каждого профиля подобрать ПС и (или) иные документы для формирования обязательной части профессиональных компетенций (ПК). Отметим, что, в случае использования ПС, ПК формируются на основе анализа обобщенных и трудовых функций для соответствующего уровня квалификации.

Однако «в силу отсутствия профессиональных стандартов по значительному количеству направлений и невозможности создания профессиональных стандартов по целому ряду гуманитарных направлений (философия, филология, культурология, история, политология и др.) возрастает роль дополнительных инструментов для определения профессиональных компетенций, которыми должен владеть выпускник: анализ рынка труда; сотрудничество с работодателями при разработке образовательных программ; консультации с ведущими работодателями по вопросу профессиональных компетенций. Стоит отметить, что взаимодействие с работодателями важно для технических, естественно-научных, экономических и проч. наук, т. к. определение исчерпывающего перечня профессиональных стандартов является недостижимым результатом.

Таким образом, одной из основных особенностей ФГОСа 3++ является обеспечение участия в разработке ФГОСов не только научно-педагогических работников, но и работодателей. Однако требования, предъявляемые к работодателям, до конца не ясны» [3].

Проведя анализ ООП различных вузов, можно сделать вывод, что создание расширенного перечня обязательных ПК, закрепленных ООП для расширенных группы (например, для направления 11.03.00 , включающего в себя 4 направления, каждое из которых имеет определенное количество профилей), приводит к большим проблемам. При большом количестве профилей практически невозможно разработать перечень ПК, которые возможно было бы полностью реализовать в каждом профиле, поэтому целесообразно определить в качестве обязательных 1-2 ПК, которые могут реализовать все профили направления. А далее каждый вуз, реализуя тот или иной профиль направления, формирует дополнительный перечень собственных ПК, которые закрепляются ОС вуза.

#### Литература

1. Пилипенко С.А., Жидков А.А., Караваева Е.В., Серова А.В. Сопряжение ФГОС и профессиональных стандартов: выявленные проблемы, возможные подходы, рекомендации по актуализации. // Высшее образование в России. 2016. № 6. С. 5–14.
2. Игнатъев В.П., Алексеева Т.Е., Богушевич И.П. Основные принципы актуализации федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 6.
3. Сергеев А.Г. Образовательные и профессиональные стандарты в инновационном вузе: метод. пособие / А.Г. Сергеев, И.П. Шеин, Е.А. Баландина; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. – 196 с. – ISBN 978-5-9984-0812-0.

ОРГАНИЗАЦИЯ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ МУЗЕЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ  
ОРГАНИЗАЦИИ КАК СРЕДСТВО ГРАЖДАНСКО-ПАТРИОТИЧЕСКОГО  
ВОСПИТАНИЯ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ

**Юрова Г.В.**

*МАУ ДО «Центр внешкольной работы», г. Новоуральск*

[turrehanova6@mail.ru](mailto:turrehanova6@mail.ru)

**Аннотация:** В статье представлен опыт взаимодействия школьного музея учреждения дополнительного образования с обучающимися и социальными партнерами в Год памяти и славы. Статья рассчитана на педагогов, библиотекарей, сотрудников музеев.

**Ключевые слова:** школьный музей, гражданско-патриотическое воспитание, медиапроекты, дистанционное обучение.

Нормативно-правовые, концептуальные и программные документы федерального и регионального уровня актуализируют проблему патриотического воспитания в сфере образования и молодежной политики Свердловской области, формируют понятие системы патриотического воспитания как совокупности субъектов и объектов патриотического воспитания, в том числе как комплекса целенаправленно организуемых мероприятий по формированию патриотических чувств и патриотического сознания граждан Российской Федерации.

Одним из субъектов системы патриотического воспитания нашего города является музей имени Героя Советского Союза А.И. Петелина «Морские мили новоуральцев» – структурное подразделение Муниципального автономного учреждения дополнительного образования «Центр внешкольной работы».

Вице-адмирал Александр Иванович Петелин, возглавивший в 1962 году в должности командующего 1-й флотилией подводных лодок Северного флота, первый в истории ВМФ СССР поход подводной лодки к Северному полюсу, являлся близким родственником семьи потомственных морских офицеров нашего города и жителем соседнего с нашим городом села Шурала, с которым у наших моряков сложились добрые отношения. В 2002 году на заседании кают-компании Местной общественной организации «Союз моряков города Новоуральска» с разрешения родственников и соотечественников за вклад в сохранение традиций Военно-морского флота музей был удостоен чести носить имя прославленного флотоводца.

Таким образом, музей, возникший по инициативе офицеров-подводников запаса, которые в дальнейшем объединились для создания детской школы «Румб» и «Юный моряк», а затем, при поддержке Отдела по делам молодежи – Центра водно-технических видов спорта и отдыха, основной целью которого было развитие этого спортивного

направления, а также подготовка юных новоуральцев для службы в Военно-морском флоте, практически сразу вошел в формулу городской системы дополнительного образования детей.

Сегодня музей «Морские мили новоуральцев» – самодостаточный ресурс расширения образовательного пространства средствами музейной педагогики, работающий в соответствии с Федеральным законом "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ по собственным дополнительным общеразвивающим программам по гражданско-патриотическому воспитанию и историко-краеведческому просвещению для обучающихся от 5 до 15 лет, направленным на формирование и развитие творческих способностей детей, организацию их свободного времени, адаптацию к жизни в обществе.

Музей осуществляет сетевое взаимодействие с образовательными организациями Новоуральского городского округа в рамках годовой программы деятельности музея. Музей работает для всего городского сообщества - осуществляется деятельность для детско-родительских групп, детей с особыми образовательными потребностями, одаренными детьми, людьми старшего поколения.

В качестве основных направлений массовых мероприятий музея можно выделить следующие:

- историко-патриотическое – мероприятия, связанные с Календарем образовательных событий, памятными датами российской истории;
- гражданско-патриотическое – мероприятия по общественной безопасности, охране природы, памятным датам воинской славы России, связанные с общественными событиями нашего города, Свердловской области и страны;
- социально-патриотическое – встречи в рамках городского образовательного проекта «Я – автор своей жизни!»;
- культурно-патриотическое – занятия по народной культуре.

На мой взгляд, ресурсы гражданско-патриотического воспитания уходят глубоко в наше национальное сознание, общественный уклад русских. Так, в бытование традиционной сельской общины мы называли это общинностью, соборностью, затем, в советское время - солидарностью, а теперь мы называем это социальным партнерством и сетевым взаимодействием. Это очень благодатный ресурс, поскольку он включает самое главное средство воздействия – человеческий фактор, передачу исторических знаний, воспоминаний очевидцев и участников событий. Все это, а также возможность выхода на дистанционные формы работы и публикация материалов музея в соц. сетях и средствах массовой информации, увеличивает количество посетителей, расширяет возрастной диапазон участников мероприятий.

Образовательные проекты музея Года памяти и славы – это, прежде всего, консолидация усилий обучающихся, педагогов, родителей и общественных организаций в сохранении коллективной памяти народа о людях и событиях Великой Отечественной войны. В настоящее время эта деятельность рассматривается как сетевое взаимодействие с учреждениями общего и дополнительного образования и сетевая форма реализации дополнительных общеразвивающих общеобразовательных программ, которая строится на взаимодействии с общественными организациями и учреждениями культуры и в период дистанта стала возможной благодаря медиaprостранству и медиатехнологиям.

Интересным опытом социального партнерства стал проект музея «Весна Героев [13]», в котором наши партнеры, работавшие весь предыдущий год с нами, сами поздравляли ребят, их родителей и педагогов с Днем Победы и рассказывали об истории своих организаций и их представителях с интересной судьбой, имеющих особые заслуги. Это были председатели местных общественных организаций: «Союз моряков города Новоуральска», «Союз ветеранов боевых действий», городской Совет ветеранов, Ассоциация жертв политических репрессий, Ассоциация малолетних узников фашистских концлагерей, «Союз Чернобыль», ветераны Группы советских войск в Германии, войсковая часть 3280. Это позволило нашей аудитории не только прочитать обращение старшего поколения юным новоуральцам, но и, для некоторых, впервые узнать о наличии этих организаций в нашем городе и их деятельности. Многие годы музей сотрудничает с городским клубом «Новоуральский краевед», который оказывает нам методическую поддержку, знакомит с патриотами Новоуральска, открывает забытые страницы истории. Это деятельное участие резидентов клуба очень помогло нам в новом оформлении комнаты «Боевая слава уральцев» и проведении дистанционных мероприятий с обучающимися [2], [3], [4].

Дистанционные мероприятия музея сумели не только удержать количество обучающихся, но и расширить их контингент. Успешно зарекомендовали себя такие формы, как:

- *Заочный музейный урок*, для ответов на задания которого участники должны обратиться к публикациям на сайте музея [11] и семейный образовательный урок [14] – задания чуть шире диапазона знаний ребенка и взрослый ему в помощь! Материалы и задания к таким урокам подобраны так, чтобы участник мог уложиться в 45 минут – формат школьного урока. Заочная историческая игра проходит по закону жанра – участники должны быть подготовлены по теме, материалы не высылаются, а предоставляются только задания к игре. Высокая эффективность такой формы была возможна, на наш взгляд,

благодаря новой форме полезного семейного времяпровождения и интересно подобранному материалу, ориентированного на возрастные особенности участников;

- *Электронный информационный листок* [15], [16] познакомил с днями воинской славы России, это привлекло внимание к событиям военной истории страны;

- *Видеоэкскурсия* познакомила с нашими экспозициями, что с открытием музея для массового посещения, позволило нам получить новых посетителей, в том числе среди педагогов, которых заинтересовал образовательный потенциал музея;

- *Видеолекторий* позволил познакомить наших виртуальных гостей с друзьями музея, представить их личные коллекции, дать возможность обратиться к ребятам с определенной темой, сделать дистанционное общение более интересным и познавательным;

- *Видеопоздравление* [2], [3] дает возможность гостям и друзьям музея, членам кают-компании моряков-подводников, офицеров запаса обратиться к широкой аудитории, сохраняя традиции Военно-Морского флота, знакомить с датами истории военного флота России, что является одной из главных задач взаимодействия кают-компании моряков-подводников, офицеров запаса с нашим морским музеем;

- Впервые была проведена *городская заочная историческая конференция обучающихся Новоуральского городского округа «Форум Победы [4]»*, посвященная году Памяти и славы, по итогам которой был выпущен и вручен участникам электронный сборник материалов конференции. Обучающиеся города и прилегающих территорий получили возможность обмениваться результатами поисковой и краеведческой деятельности, возможность совершенствовать опыт представления дистанционной работы;

- Впервые за долгую историю существования дистанционно прошел XVIII *Всероссийский фестиваль (с международным участием) военно-патриотической песни «Опаленные сердца»*, который музей инициировал в 2002 году совместно с местными общественными организациями «Союз ветеранов боевых действий» и «Комитет солдатских матерей». Это позволило участникам традиционного слета офицеров России и обучающихся кадетских классов по-прежнему поддерживать связь и представить свое исполнительское мастерство;

- *Городская патриотическая акция «Письмо солдату»* [1] планировалась совместно с войсковой частью 3280. Воспитанники дошкольных учреждений, их родители и воспитатели готовили и присылали видеоролики с поздравлениями для военнослужащих, а солдаты срочной службы изготовили поздравительные открытки с 23 февраля для детских садов-участников и сняли ответное музыкальное видеопоздравление с Днем защитников Отечества, которое получили все ребята-участники. И снова дистанционные технологии

объединяют детей и взрослых в деле сохранения исторической памяти горожан, гражданско-патриотической работы в формах, обусловленных возрастными возможностями воспитанников детских дошкольных учреждений и происходит это все в медиапространстве!

Традиционные виды деятельности музея, такие как экскурсии, выставки, фондовая и исследовательская работа, просветительская и воспитательная деятельность, пополняются другими, достаточно эффективными формами работы:

- *Квест* – один из самых приемлемых и эффективных видов организации занятия в музее, отвечающий идее геймификации образовательного процесса. Самостоятельный поиск информации позволяет более внимательно изучить экспозицию, усвоить информацию со стендов, объединить свои усилия в команде, взять ответственность на себя за общий результат. Квест является универсальным в плане выбора темы и позволяет привлечь в качестве ресурсов выставку, книгу, видео, предмет, пространство помещения. Мы использовали квест и в дни летних каникул, и как отчетное мероприятие активов школьных музеев, и в течение учебного года. Кроме того, квест имеет здоровьесберегающую компоненту, так как предполагает смену деятельности. По темам мы проводили квесты – «Морской квест», «Город на карте Росатома», «Боевой путь Уральского Добровольческого танкового корпуса»;

- *Театрализованное представление* – требует участия нескольких педагогов, поскольку кроме реквизита, имеющегося в музее, необходимы костюмы. Немаловажным фактором является общая организация детей, их настрой на активное участие, вовлечение родителей. Мы проводили театрализованное представление «Быт уральской избы», «Широкая Масленица» и «Поклонимся великим тем годам!» (к Дню Победы), и иногда отмечали наряду с интересным и красочным действием постановки и, безусловно, творческой самореализацией участников, несколько отстраненную позицию некоторых детей, предпочитающих пассивную позицию зрителей, что, впрочем, конечно, допустимо!

- *Народный праздник* – еще большее по усилиям и масштабу действий, чем театрализованное представление, мы посвятили его Масленичным гуляниям;

- *Мастер-класс* – легкий, решающий многие образовательные, воспитательные и здоровьесберегающие задачи, вид деятельности. Наиболее доступный, интересный, подходящий для детей дошкольного и школьного возраста, для девочек, мальчиков и смешанных групп, для детско-родительских посещений, для людей старшего поколения. Мастер-класс направлен на достижение индивидуального результата, может быть индивидуальным и по продолжительности, и по степени самовыражения, индивидуальным

и групповым. Мастер-классы мы проводим по темам народного календаря, к Дню космонавтики, Дням воинской славы, Дню матери, и т.д.

Использование новых форм наряду с традиционными позволило увеличить вовлеченность обучающихся в неигровой – познавательный, образовательный процесс, актуализировать их знания через активные действия, добывание, поиск и усвоение нужной информации, превратить занятие в игру, движение, праздник. Медиа технологии (видео-, аудиоматериалы) в этих видах мероприятий также использовались, чтобы воздействовать на эмоциональную сферу, дать новые знания, создать историческую атмосферу, воссоздать звуки природы.

Дистанционно эти технологии применялись, например, при создании звукового письма, новогоднего мастер-класса, видеороликов для акции «Письмо солдату». Интересно, что развитие медиапространства – трансляция результатов деятельности воспитанников и обучающихся на официальных сайтах образовательных учреждений и на страницах социальных сетей явно стимулируют детей и взрослых (педагогов и зачастую родителей) совершенствовать свои видеоматериалы как с точки зрения информационной насыщенности, так и визуально.

Все материалы мероприятий Года памяти и славы были опубликованы на сайте музея, за что сайт получил Диплом победителя на Всероссийском педагогическом сайте именно за освещение мероприятий юбилейного года. Дидактическое пособие заняло 1 место во Всероссийском конкурсе методических материалов и стало дипломантом Всероссийского этапа этого же конкурса. Программа дистанционного взаимодействия «Равнение – на Победу!» заняло 1 место в муниципальном конкурсе Управления образования «Открытия дистанта» и было номинировано как «Дистант-профи» в конкурсе «Успех года». Признанием эффективности использования форм сетевого взаимодействия и сетевой формы реализации программ музея стали благодарственные письма Областного совета ветеранов – секции Уральского Добровольческого танкового корпуса и группы советских войск в Германии, войсковой части 3280 и местной общественной организации «Союз моряков Новоуральска».

Таким образом, запланированные на учебный год мероприятия были успешно выполнены и освоены новые форматы заочного общения, главным отличием которых стало значительное вовлечение людей старшего возраста, родственников в этот процесс, и, подводя итоги прошедшего года, большинство мероприятий нашего музея смело можно признать детско-родительскими, семейными. Эта творческая работа принесла практическую пользу музею в плане лучшего понимания исторического прошлого своей страны, осознания роли человеческого фактора в отечественной истории, формирования

конкретных знаний в этой области, расширения кругозора детей и молодежи в условиях музейной среды, а также сплотила его партнеров и целевую аудиторию, и подарила искреннюю радость, чувство сопричастности, определенный эффект присутствия, деятельного участия (по отзывам пользователей сайта музея) всем участникам дистанционного общения.

Год памяти и славы, подготовка к которому началась еще в начале 2019-2020 учебного года, прозвучал, на наш взгляд, на высокой ноте, благодаря использованию новых форм работы, позволивших объединить людей разных поколений и интересов, и в условиях карантина продолжить активное общение со своими друзьями и социальными партнерами. Мероприятия юбилейного года продемонстрировали образовательный потенциал музея, а случившийся затем локдаун вызвал к жизни интереснейшие практики дистанционного взаимодействия и медиатехнологий, создав своего рода уникальный «мост над временем».

#### Литература:

1. Акция «Письмо солдату» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3672](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3672) (дата обращения: 21.02.2021).
2. Видеолекторий «Азбука народной куклы» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3339](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3339) (дата обращения 30.11.2020).
3. Видеолекторий «День неизвестного солдата» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3313](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3313) (дата обращения 26.11.2020).
4. Видеолекторий «Почтовые карточки и открытки» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3492](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3492) (дата обращения 24.12.2020).
5. Видеопоздравление «День моряка-подводника» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3720](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3720) (дата обращения: 22.04.2021).
6. Видеопоздравление «День памяти Героев Отечества» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3424](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3424) (дата обращения: 10.12.2020).
7. Видеопоздравление «С Днем пожилого человека» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3070](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3070) (дата обращения: 30.09.2020).

8. Видеоэкскурсия по музейному комплексу // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3077](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3077) (дата обращения 02.10.2020).
9. Заочная городская историческая игра «День народного единства» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3211](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3211) (дата обращения: 02.11.2020).
10. Городская заочная историческая конференция обучающихся Новоуральского городского округа «Форум Победы», посвященная Году памяти и славы // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3633](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3633) (дата обращения: 05.02.2021).
11. Заочный музейный урок «Город выжил, потому что жил!» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3603](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3603) (дата обращения: 10.11.2021).
12. Заочный музейный урок «Память сильнее времени» // Музейный комплекс МАУ ДО «ЦВР» | Новоуральский городской округ. [Электронный ресурс]. URL: [http://museum.cvr-nu.ru/pamyat-silnee-vremeni-2/?\\_utl\\_t=vk](http://museum.cvr-nu.ru/pamyat-silnee-vremeni-2/?_utl_t=vk) (дата обращения: 10.10.2020).
13. Обращения ветеранов «Весна Героев» // Музейный комплекс МАУ ДО «ЦВР» | Новоуральский городской округ. [Электронный ресурс]. URL: <http://museum.cvr-nu.ru/obrashheniya-veteranov/> (дата обращения: 10.11.2021).
14. Семейный урок «Совершить невозможное ради Победы» (История становления города Новоуральска в годы Великой Отечественной войны) // Музейный комплекс МАУ ДО «ЦВР» | Новоуральский городской округ. [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3353/](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3353/) (дата обращения 03.12.2020).
15. [Электронный информационный листок «День защитника Отечества»](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3671) // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3671](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3671) (дата обращения 21.02.2021).
16. Электронный информационный листок «День памяти погибших подводников» // Социальная сеть «ВКонтакте». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/cvr\\_nu?w=wall-119308606\\_3739/](https://vk.com/cvr_nu?w=wall-119308606_3739/) (дата обращения: 07.04.2021).

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРАЕВЕДЧЕСКИХ ИГР НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ИГРЫ «МАФИЯ»

**Жданов А.О.**

*Член клуба «Новоуральский краевед», г. Новоуральск*

[Jdan.projekt@gmail.com](mailto:Jdan.projekt@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассказывается о возможностях модификации традиционной игры «Мафия» для проведения занятий в краеведческих кружках.

**Ключевые слова:** игра, ФГОС, дополнительное образование.

Игра «Мафия» – одна из любимых молодежных игр. Основными ее достоинствами являются массовость, компактность (ее удобство брать в дорогу), внимательность. Учитывая это, можно с уверенностью утверждать, что проектирование производных игр на ее основе может быть востребовано в школьных краеведческих кружках в качестве дополнительного образования.

Рассмотрим особенности проектирования производных.

## 1. «Легенда»

Если обратиться к традиционной игре, то события происходят в городе N, в котором есть «мирные жители» и «мафиози». Проанализируем эту аксиому с краеведческой точки зрения: условно – в одном месте есть стороны, которые враждуют между собой. Что это может быть?

- Дворцовые перевороты в истории Российской Империи;
- Династии, которые завоевывают землю для становления металлургических заводов;
- Военные события между государствами;
- Взаимоотношения заводчиков и их крепостных;
- и т.д.

Основой для «легенды» могут служить конкретные события, описанные в школьной программе, а также местные истории, были, легенды. Большую помощь могут оказать библиотекари, краеведы, музейщики, которые раскрывают «белые пятна» в конкретной местности. В качестве «легенды» может быть рассмотрено конкретное литературное произведение, например, роман Л.Н. Толстого «Война и мир», Ф.М. Достоевского «Преступление и наказание».

## 2. Участники игры

Участниками игры являются исторические персонажи, которые должны соответствовать исторической эпохе (в соответствии с «легендой»), классифицированы минимум на три стороны: «мирные жители», «мафия», «посторонние».

«Мирные жители» - их исключительной особенностью являются верность государству, сохранение и преумножение его недр и богатств.

«Мафия» - люди, которые представляют «зло», угрозу для «мирных жителей».

«Посторонние» – это особый класс участников, т.к. среди них есть:

- лекарь (лечит жителей). В отличие от традиционной игры, когда он два раза лечит «пациента», тот умирает от «передозировки», то в краеведческой игре этот элемент убирается, т.к. игра со школьниками не должна иметь данных элементов по определению авторов – создателей.

- шериф (охотится за «мафией»)

По авторскому определению в данный класс также относится ведущий, «посыльный» - каждую ночь передает информацию сторонам через ведущего. Игра может быть дополнена героем из местной легенды с наделением его определенной функцией.

### 3. Ход игры

Игра проходит как в традиционной форме «Мафии», но с подачи сторонам определенной информации.

### 4. Заключение

В конце игры подводится итог на легенду, заданную в начале, определяется загаданная ключевая фраза.

### 5. А где же ФГОС?

5.1 Введение исторической эпохи, события;

5.2 Изучение биографий исторических личностей, событий;

5.3 Определение исторических границ «враждующих сторон» с помощью контурных карт;

5.4 Связь исторических личностей с конкретной местностью, описанной в «легенде» к игре;

5.5 Возможное посещение исторического места (виртуально/реально) с ее дальнейшим макетированием, созданием видео презентаций, настольной краеведческой игры. С методикой создания 3D-моделирования и настольных краеведческих игр можно познакомиться в статьях автора на сайте ресурсного центра дополнительного образования Санкт-Петербурга [1].

Ниже показан пример проведения игры «Цесаревич против императрицы»:

## **РОЛЕВАЯ ИГРА МАФИЯ (ЦЕСАРЕВИЧ ПРОТИВ ИМПЕРАТРИЦЫ)**

## **1. Предыстория игры**

После смерти Петра I и его супруги Екатерины I в императорском дворце происходят дворцовые перевороты. Бояре просят посадить на трон цесаревича Александра I, фрейлины ее Императорского Величества ходатайствуют об Екатерине II. Российская империя находится в тяжелой политической обстановке: война с Турцией, Швецией. Кто возглавит империю: Александр I или Екатерина II, а может императорский двор??

## **2. Общие правила**

### **2.1 Количество игроков**

Рекомендуемое количество игроков – 12 человек. Если менее 12 – игра перестает быть интересной.

### **2.2 Начало игры**

#### **2.2.1 Ночь судьбы – распределение ролей**

Выбор производится с помощью игральных карт. Каждая карта обозначает определенную роль в игре. Участники (3 команды – сторонники Александра I, сторонники Екатерины II, Императорский двор) составляют фразу из 4 слов, пишут ее на листе бумаги и передают ее ведущему. У ведущего должно быть 12 листов с написанными фразами. Ведущий с помощью листов передает информацию Татищеву Василию Никитичу, а тот в свою очередь должен передать ее цесаревичу Александру I и императрице Екатерине II. Правильно угаданная фраза позволяет командам «воскресить» убитого участника игры.

#### **2.2.2 День Спокойствия**

Ведущий просит всех открыть глаза и предлагает игрокам начать «знакомство» друг с другом – с императорским дворцом. Каждый игрок должен посмотреть свою карту для того, чтобы узнать свою игровую роль. Показывать другим игрокам свою карту строго запрещается.

Никакие обсуждения в этот день не допускаются.

#### **2.2.3 Ночь Знакомства**

После того как жители познакомились, ведущий объявляет «Ночь Знакомства». Все игроки закрывают глаза.

Ведущий говорит: «Просыпается Василий Никитич».

«Татищев» открывает глаза и читает про себя первый лист с фразой.

Ведущий говорит: «Василий Никитич получил информацию и уснул. Мафия проснулась и знакомится».

После этих слов «мафиози» открывают глаза и узнают, кто принадлежит к клану «мафии». Делать это следует крайне осторожно, т.к. любое движение может навлечь подозрение соседних игроков.

После этого ведущий объявляет: «Мафия познакомилась и уснула». «Мафия» закрывает глаза.

## **2.3 Основной игровой цикл**

### **2.3.1 День**

Ведущий объявляет: «Наступил день. Все жители дворца проснулись». Все игроки открывают глаза. Начинается обсуждение. У игроков есть следующая информация: кто как себя вел при раздаче, как и что говорил накануне, движения ночью, изменение настроения и поведения и т.д. На основании всего этого можно делать какие-либо заключения и предположения. Применять можно любые аргументы, как правдивые, так и нет.

На обсуждение отводится 1 минута. После этого ведущий предлагает выдвинуть подозреваемых в причастности к «мафии». Выдвигаются кандидатуры. После чего ведущий предоставляет каждому «кандидату» последнее слово, которое может оказаться решающим при голосовании.

Проводится голосование. Игрок, который в результате голосования признан виновным, открывает и показывает всем свою карту, покидает игровое поле.

Ведущий объявляет: «Наступила ночь. Все жители дворца уснули». Все игроки закрывают глаза.

### **2.3.2 Ночь**

Ведущий: «Просыпается Татищев».

Татищев открывает глаза и указывает ведущему, кому он хочет передать информацию.

Ведущий: «Василий Никитич засыпает». «Татищев» закрывает глаза.

Ведущий: «Просыпается ... (игрок, выбранный «Татищевым»)» и читает фразу про себя.

Ведущий: «Информация передана. Все спят». Игрок засыпает.

Ведущий: «Мафия проснулась и выбирает свою жертву».

«Мафия» открывает глаза и знаками договаривается, какого игрока надо «убить». Указывают на него ведущему.

Ведущий: «Мафия сделала свой выбор и уснула». «Мафия» закрывает глаза.

Ведущий: «На охоту вышел призрак Петра I». «Петр I» открывает глаза и указывает ведущему на игрока, которого он подозревает в причастности к «мафии».

Ведущий: «Призрак Петра I произвел выстрел и уснул». «Петр I» закрывает глаза.

Ведущий: «Призрак Екатерины I выходит, чтобы оказать помощь». «Екатерина I» открывает глаза и указывает ведущему на любого игрока.

Ведущий: «Призрак Екатерины I оказал помощь и уснул». «Екатерина I» закрывает глаза.

### **2.3.3 Утренние новости**

Ведущий: «Наступил день. Все жители проснулись». Все игроки открывают глаза. После этого ведущий освещает все события, которые произошли ночью. Желательно речь произносить в стилистическом оформлении под игру.

Далее все идет по кругу, но с учетом того, что у игроков для обсуждения появляются новые аргументы. Требуется запоминать, кто кого выдвигал, кто за кого голосовал.

### **2.3.4 Особенности проведения голосования**

При голосовании игроки, желающие отдать свой голос за то, что данный кандидат принадлежит к «мафии», должны поднять руку и держать ее до тех пор, пока ведущий досчитает до трех, назовет число голосов и попросит проголосовать за следующего кандидата.

Игрок может опустить руку в процессе голосования, но не позже того, как ведущий произнес «три». Таким образом, часто в игре «провоцируют» ситуацию, чтобы понять кто есть кто. Стоит быть внимательным и подумать, почему игрок изменил свое решение при голосовании.

Если кандидатов было больше, чем два, и за двоих из них проголосовало одинаковое количество голосов, причем, это количество было максимальным, то проводится еще одно голосование, при котором выставляются кандидатуры только этих двоих.

В том случае, если в голосовании участвовали два кандидата и они получили равное количество голосов, каждому из них предоставляется слово, после чего производится повторное голосование. В том случае, если голосующие не изменили своего решения и выбрать «убитого» по-прежнему невозможно, в голосовании участвует последний убитый прошлой ночью «честный» игрок.

Голоса игроков, которые не проголосовали, отдаются за то, чтобы не убивать никого этим днем.

## **3. Игровые персонажи**

### **3.1 «Мирные»**

**Поэты Пушкин Александр Сергеевич, Державин Гавриил Романович, архитекторы Воронихин Андрей Никифорович, Бартоломео Франческо Растрелли**

Самая спокойная роль в игре. Ночью вы просто сидите с закрытыми глазами, дожидаясь своей нелегкой участи. Зато днем! Вы должны сделать все, чтобы поскорее вычислить и убить Мафию.

**Призрак Екатерины I**

Днем призрак пытается понять, кого из игроков ночью Мафия захочет убить. Ночью Екатерина I лечит выбранного наугад игрока. Днем объявляется, кого именно вылечил призрак. Себя вылечить не может.

### **Призрак Петра I**

Проводит ночью расследование. Вынужден скрываться, чтобы Мафия не смогла его вычислить и быстро убить. Может быть убит со 2 раза.

### **3.2 «Мафия»**

#### **Александр I, Екатерина II, полководцы Михаил Илларионович Кутузов и Александр Васильевич Суворов**

Самая трудная и интересная роль в игре. Просыпаются ночью и убирают с поля боя мешающих им игроков. За одну ночь могут убить одного горожанина.

### **3.3 Сами за себя**

#### **Татищев Василий Никитич**

Выступает сам за себя. Каждую ночь передает информацию дворцу от ведущего. Если ночью Василия Никитича убивают, команды не могут в конце игры «воскресить» игрока из своей команды. У него есть преимущество, если он выставлен на голосование и игроки проголосовали против него, то он может забрать с собой любого игрока.

#### **Яков Вилимович Брюс**

Роль коварная и неоднозначная. Пока любой из Мафии жив, вы должны сидеть тихо, как мышь, постепенно вычисляя роли соигроков. Но как только одного из участников Мафии убивают, ближайшей же ночью Мафией становитесь вы, приобретая все функции этой роли. Надо только благополучно дожить до этого звездного часа.

*Таблица 1*

Участники игры «Цесаревич против императрицы»

	<b>Игрок 1</b>	<b>Игрок 2</b>	<b>Игрок 3</b>	<b>Игрок 4</b>
<b>Сторонники Александра I</b>	Александр I	Кутузов Михаил Илларионович	Пушкин Александр Сергеевич	Воронихин Андрей Никифорович
<b>Сторонники Екатерины II</b>	Екатерина II	Суворов Александр Васильевич	Державин Гавриил Романович	Растрелли Бартоломео Франческо
<b>Императорский двор</b>	Татищев Василий Никитич	Екатерина I	Петр I	Яков Вилимович Брюс

Рекомендуемые мероприятия после проведения игры «Цесаревич против императрицы»:

- 1) Изучение биографий исторических личностей
- 2) Изучение исторических событий, описанных в игре

- 3) Как увековечены исторические личности, указанные в игре, на уральской земле?
- 4) Реформы Петра I, Александра I, Екатерины II на уральской земле.
- 5) Назовите объекты, связанные с историческими личностями, описанными в игре, и современном Санкт-Петербурге.

В таблице 2 представлены участники игры «Демидовы против Строгановых».

Таблица 2

Участники игры «Демидовы против Строгановых»

	<b>Игрок 1</b>	<b>Игрок 2</b>	<b>Игрок 3</b>	<b>Игрок 4</b>
<b>Вотчина Демидовых</b>	Демидов Акинфий Никитич	Салават Юлаев	Марков Ерофей Сидорович	Ошурков Павел Михайлович
<b>Вотчина Строгановых</b>	Строганов Павел Александрович	Пугачев Емельян Иванович	Ростовщиков Александр Васильевич	Грибушин Михаил Иванович
<b>Государство</b>	Татищев Василий Никитич	Потемкин Григорий Александрович	Крестьян Андреевич Цемш	Вогул Симеон

Игровые персонажи игры «Демидовы против Строгановых»:

**«Мирные»:**

**Купцы Ошурков Павел Михайлович, Грибушин Михаил Иванович, рудознатец Ерофей Сидорович Марков, солепромышленник Ростовщиков Александр Васильевич**

Самая спокойная роль в игре. Ночью вы просто сидите с закрытыми глазами, дожидаясь своей нелегкой участи. Зато днем! Вы должны сделать все, чтобы поскорее вычислить и убить Мафию.

**Лекарь Крестьян Андреевич Цемш**

Днем лекарь пытается понять, кого из игроков ночью Мафия захочет убить. Ночью лекарь лечит выбранного наугад игрока. Днем объявляется, кого именно вылечил лекарь. Может вылечить себя только 1 раз.

**Граф Потемкин Григорий Александрович**

Проводит ночью расследование. Вынужден скрываться, чтобы Мафия не смогла его вычислить и быстро убить.

**«Мафия»:**

**Салават Юлаев, Емельян Иванович Пугачев, Акинфий Никитич Демидов, Павел Александрович Строганов**

Самая трудная и интересная роль в игре. Просыпаются ночью и убирают с поля боя мешающих им игроков. За одну ночь могут убить одного горожанина.

## «Сами за себя»:

### **Татищев Василий Никитич**

Выступает сам за себя. Каждую ночь передает информацию жителям от ведущего. Если ночью Василия Никитича убивают, команды не могут в конце игры «воскресить» игрока из своей команды. У него есть преимущество, если он выставлен на голосование и игроки проголосовали против него, то он может забрать с собой любого игрока.

### **Вогул Симеон**

Роль коварная и неоднозначная. Пока любой из Мафии жив, вы должны сидеть тихо, как мышь, постепенно вычисляя роли соигроков. Но как только одного из участников Мафии убивают, ближайшей же ночью Мафией становитесь вы, приобретая все функции этой роли. Надо только благополучно дожить до этого звездного часа.

Рекомендуемые мероприятия после проведения игры «Демидовы против Строгановых»:

- 1) Изучение биографий исторических личностей;
- 2) Изучение исторических событий на Урале в 17 – 18 веке;
- 3) Связь Демидовых и Строгановых с объектами Санкт-Петербурга;
- 4) Составление карты земель Демидовых и Строгановых;
- 5) Владения Демидовых и Строгановых на Урале: границы, предприятия, исторические архитектурные объекты;
- 6) Как увековечены исторические личности, указанные в игре, на уральской земле?

Таким образом, краеведческие игры на основе классической игры «Мафия» способствуют закреплению пройденного школьного материала, развитию коммуникативных качеств в коллективе, формируют у школьников метапредметную связь «История-Краеведение».

## Литература:

1. Сайт [http://rc-dtdm.spb.ru/?page\\_id=1281](http://rc-dtdm.spb.ru/?page_id=1281)

# ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОЕКТЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНОГО МУЗЕЯ

**Останина Г.Ф.**

*Тьютор МАОУ «СОШ им.А.Н.Арапова»*

[kladez13@mail.ru](mailto:kladez13@mail.ru)

**Аннотация:** В статье представлен опыт организации краеведческой работы в школе через исследовательскую и проектную деятельность обучающихся с учетом требований ФГОС.

**Ключевые слова:** Краеведение, школьный музей, исторические источники, проектная и исследовательская работа обучающихся.

Современная система школьного образования построена на основе ФГОС, предполагающего системно-деятельностный подход, который обеспечивает: активную учебно-познавательную деятельность обучающихся; формирование готовности к саморазвитию и непрерывному образованию; проектирование и конструирование социальной среды развития обучающихся в системе образования; построение образовательного процесса с учётом индивидуальных возрастных, психологических и физиологических особенностей обучающихся [6].

Кроме урочной и предметной области в современной школе существует внеурочная система работы, которая предполагает создание условий для формирования личностных характеристик выпускника [5].

Работа школьных музеев (независимо от его профиля: исторический, литературный, геологический и т.д.) является важной частью воспитательной программы школы, так как способствует патриотическому воспитанию школьников через краеведческую работу. Деятельность обучающегося в школьном музее позволяет ему пройти путь «От краеведения – к краелюбию» и внести свой вклад в школьную жизнь и историческое пространство поселка.

На сегодняшний день существует огромный выбор форм и методов работы музейной педагогики. Музейное движение, конференции, слеты, чтения, конкурсы областного, всероссийского и международного уровня позволяют выстроить интересную и результативную систему краеведческой работы в школе.

Практико-ориентированные проекты далеко не новая страница в школьной музейной жизни. Это достаточно традиционный вид деятельности, если в школе ведется поисковая или исследовательская работа. Школа п. Верх-Нейвинский носит звание Героя Советского Союза Арапова Алексея Назаровича благодаря огромной работе, проделанной отрядом красных следопытов «Орленок» под руководством Калякиной Валерии Константиновны в период с 1959 по 1967 гг. Именно их стараниями не только восстановлен жизненный и

боевой путь Алексея Арапова, но и названа улица, привезена земля с могилы в с. Гайвороны, сохранены документы и переписка с его родными, друзьями и сослуживцами [1]. Практико-ориентированные проекты другого школьного объединения – НОУ «Летописцы», – под руководством Макаровой Татьяны Борисовны позволили создать этнографический музей школы в 2000 году [2]. На сегодняшний день в школе 2 музея и следующие школьные объединения: «Школа музейного актива» (Абзалова Е.П.) и «Традиции и культура народов Урала» (Останина Г.Ф.), «Патриот (Татусова Е.В.) и «Связь поколений» (Кузнецова О.Д.).

Сохранение и приумножение традиций музейной образовательной деятельности позволяет выстраивать следующую систему краеведческой работы в школе:

**Для 5 классов** в течение учебного года проводится цикл краеведческих игр «Наши добрые соседи», в ходе которых обучающиеся знакомятся с историей п. Верх-Нейвинский, г. Невьянска, г. Новоуральска, г. Нижнего Тагила, г. Ревды, г. Екатеринбурга. Игры интересны для обучающихся, насыщены информационно и эмоционально и позволяют сформировать пополнение в школьные краеведческие объединения. Для заинтересовавшихся краеведением ребят проводится школьный конкурс «О вещах и не только...», который позволяет обучить детей **начальным** исследовательским навыкам и навыкам проектной работы. Мини-проекты позволяют научить обучающихся описывать исторические предметы, работать с литературой и источниками и пополнять картотеку музея. Музейный предмет в данном случае служит отправной точкой для дальнейшего наращивания возможностей работы и ребенка, и музея. Кроме того, происходит передача музейных традиций. Для заинтересованных учеников проводятся экскурсии, викторины и предлагается участие в конкурсах межмуниципального, областного и всероссийского уровней. Сотрудничество с Новоуральской Публичной библиотекой и Новоуральским краеведческим музеем дает возможность поддерживать историческую связь между городом и поселком, обмениваться информацией и участвовать в проводимых мероприятиях. **С 2018 года наши школьники принимают участие в Новоуральских Малых краеведческих чтениях**, а в декабре 2021 в школе были проведены **школьные Марковские школьные краеведческие** чтения, которые планируется проводить ежегодно. Материалы и события краеведческой жизни фиксируются в Летописи школы.

В 2019 году педагогами был создан **краеведческий проект «Наследники»**, ставший одним из победителей грантового конкурса «Православная инициатива на Екатеринбургской земле. В рамках работы по проекту была проведена экспедиция по 5 маршрутным точкам, организована выставка творческих работ и книг, проведен праздник семейных традиций и улучшена материально-техническая база (приобретен телевизор для

школьной библиотеки, ноутбук, МФЦ, диктофон, фотоаппарат и канцелярия)[4]. Продолжением стали историко-культурные путешествия «Источники г. Мурзинка» и походы как самостоятельные, так и совместно с турклубом «Кедр» г. Новоуральска (насколько позволяет пропускная система).

**В 6 классе** в школьной программе появляется отдельный предмет - проектная деятельность, который позволяет расширить возможности проектной работы. Кроме этого, в 2020г. был осуществлен социальный проект класса «Школьный музей своими руками», который позволил обновить некоторые музейные экспозиции к юбилею школы. В 2021 году школа отметила 120-летний юбилей.

**Для семиклассников** проектная деятельность продолжается и в рамках предмета (знакомство с особенностями исследовательских проектов), и в результате непосредственной музейной деятельности. Они проводят тематические экскурсии в школьном этнографическом музее и календарные праздники для начальной школы.

**8-9 классы** защищают проекты по предметной деятельности, совершенствуя навыки работы и более осознанно выбирая тему для дальнейшего индивидуального развития. С подготовленными докладами обучающиеся выходят на **занятия волонтерского движения «Азимут»**, чтобы отработать навыки публичного выступления и представить конечный продукт своего проекта.

**В конкурсах Всероссийского уровня** старшеклассники принимали участие и стали победителями с темами: «Учитель вечен на земле» (о педагогической династии Чазовых Елене Сергеевне и Михаиле Дмитриевиче), «Ей было только 27...» (о жене Лутошкина Д.И. Печининой Елизавете Герасимовне), «Построена по проекту Маркова» (об уникальности здания начальной школы) и «Судьба горного инженера Маркова Г.А. (о жизненном пути управляющего Верх-Нейвинским заводом). Таким образом, процесс сохранения страниц истории школы становится основой для истории школы современной, служит определенным нравственным стержнем для вовлечения школьников в историю и современную жизнь родного поселка. Возможно, именно этот опыт позволяет им возвращаться в родную школу в качестве молодых педагогов, продолжать заложенные традиции и вносить свой вклад в историческое пространство своей Малой Родины.

Практико-ориентированным проектом является и **участие педагогов** в проекте УРИМП «Мал музей, да дорогого стоит!», осуществляемого на средства гранта Президентского фонда поддержки культурных инициатив. Цель проекта - способствовать выявлению среди молодых музейщиков лидеров, способных нести инновации в музейную жизнь. С нами работают специалисты в области современных музейных технологий, которые делятся своим практическим опытом по обновлению старых и созданию новых

современных музейных технологий. И у нас есть надежда воссоздать фрагмент класса военной поры и представить трудовой подвиг жителей поселка с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности. Конечно, отдельная экспозиция будет посвящена заслуженному учителю РСФСР Лутошкину Дмитрию Ивановичу (1931-1942г.г,1946-1949.) , заложившему основы народного образования как на территории поселка Верх-Нейвинский, так и г. Новоуральска[3]. Это был бы достойный подарок в год 75-летия народного образования, и мы будем рады любой помощи со стороны образовательных учреждений г. Новоуральска.

#### Литература

1. Архивные материалы школьного музея.
2. Верх-нейвинские самовары и школьный музей. // Верх-Нейвинский вестник №5(95) от 21.03.2008 г.
3. История Новоуральской школы: факты и воспоминания. Новоуральск, 2011. С.19.
4. Образовательный проект «Наследники». [Электронный ресурс] URL: <https://nachinanie.ru/Project/Index/77155> дата обращения 12.02.2022.
5. Приказ Министерства просвещения РФ от 31 мая 2021 г. № 287 “Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования // [Электронный ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401333920/> (дата обращения 12.02.2022)
6. ФГОС // [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/70188902/8ef641d3b80ff01d34be16ce9bafc6e0/> (дата обращения 12.02.2022)

ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНОГО РАЗВИТИЯ  
ЯПОНСКОГО ОБЩЕСТВА 5.0

Дронишинец Н. П., Чумичева Е. А.

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУ ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[dronishinets1@yandex.ru](mailto:dronishinets1@yandex.ru)

[echumi4eva@yandex.ru](mailto:echumi4eva@yandex.ru)

**Аннотация:** В работе рассматриваются проблемы социально- гуманитарного развития японского общества 5.0. Авторы анализируют документы правительства Японии, Пятого базового плана по науке и технике 2016 года и приходят к выводу, что, переход к Обществу 5 является очередным фундаментальным сдвигом японского экономического мира в направлении новой парадигмы. Общество 5 является более далеко идущей концепцией, чем «Четвертая промышленная революция», поскольку предусматривает полную трансформацию японского образа жизни.

**Ключевые слова:** общество 5.0, искусственный интеллект, образ жизни, формирование экосистем.

Правительство Японии, японские экономисты, связанные с ним, предложили в 2013 г. новую, долгосрочную, амбициозную стратегию развития страны. Эта стратегия роста переросла в концепцию «Общество 5.0», сформулированную в Пятом базовом плане по науке и технике в 2016 г. В документах правительства Японии дается следующее определение общества 5.0.: «Это общество, ориентированное на человека, сочетающее экономический прогресс с решением социальных проблем с помощью системы, которая тесно интегрирует киберпространство и физическое пространство» [1]. Общество 5.0 следует за охотничьим обществом (Общество 1.0), сельскохозяйственным обществом (Общество 2.0), индустриальным обществом (Общество 3.0) и информационным обществом (Общество 4.0). Япония — первая страна, поставившая задачу создания Общества 5.0. На стратегию формирования Общества 5.0, отмечает Я. Сато из Университета Ниигата, правительство и лидеры бизнеса возлагают большие надежды [2]. Общество 5.0, называемое «супер-умным обществом», представляет собой устойчивую, инклюзивную социально-экономическую систему, основанную на цифровых технологиях, таких как анализ больших данных, искусственный интеллект (ИИ), Интернет вещей и робототехника. Переход к Обществу 5.0 является очередным фундаментальным сдвигом японского экономического мира в направлении новой парадигмы. Общество 5.0 является более далеко идущей концепцией, чем «Четвертая промышленная революция», поскольку предусматривает полную трансформацию японского образа жизни. В Обществе 5.0 любой продукт или услуга будут оптимально доставляться людям и соответствовать их потребностям. Общество 5.0 поможет преодолеть хронические социальные проблемы,

такие как старение населения, социальная поляризация, депопуляция и ограничения, связанные с энергетикой и окружающей средой.

Для реализации концепции Общества 5.0 правительство Японии учредило «Совет по стратегии в области технологий искусственного интеллекта» в 2016 г. В состав совета входили президенты университетов и национальных исследовательских корпораций, а также бизнес — магнаты, такие как бывший председатель Тойота. В 2017 г. совет сформулировал «Стратегию в области технологий искусственного интеллекта», в которой основное внимание уделяется содействию развитию ИИ. Документ стал второй национальной стратегией в области ИИ после Канады, своего рода дорожной картой развития ИИ в Японии и является ключевой опорой Общества 5.0. Стратегия характеризует ИИ как услугу и предусматривает три этапа разработки и использования ИИ: (1) расширение использования ИИ на основе данных в каждой области обслуживания, (2) общее использование ИИ и данных в разных сервисах и (3) формирование экосистем. Технологическая стратегия ИИ будет применяться для решения трех приоритетных проблем Общества 5.0, а именно в сфере здравоохранения, мобильности и повышении производительности труда.

Поскольку политика в области науки, технологий и инноваций теперь является основной политической повесткой дня, то бюджет Японии на науку и технику, который оставался в застое в течение многих лет с 2002 по 2017 год, составлял около 3,6 триллиона иен (33 миллиарда долларов США), вырос до 3,8 триллиона иен (35 миллиардов долларов США) в 2018 году, а затем до 4,2 триллионов иен (38 млрд. долл. США) в 2019 г. Такое увеличение было немыслимо несколько лет назад. Следовательно, инвестиции Японии в развитие и применение цифровых технологий, а также в фундаментальные исследования благодаря политическим решениям значительно выросли [3]. В июне 2018 года правительство Японии объявило, что ИИ станет официальной частью его «интегрированной инновационной стратегии». Правительство надеется кардинально увеличить число молодых исследователей в области ИИ за счет предоставления средств приоритетным областям. Правительство в июне 2019 г. обнародовало план ежегодного обучения 250 000 специалистов в области ИИ рассчитанный до 2025 года. Хотя план и подвергся критике как нереалистичный из-за нехватки преподавателей, он явился ответом на серьезную обеспокоенность крупнейших японских компаний и правительства отсутствием достаточного числа экспертов в области ИИ для удовлетворения потребностей мировой экономики номер три.

Японская индустрия ИИ и робототехники могут помочь пожилым людям в Обществе 5.0. работать дольше, компенсируя качества, которые люди теряют, становясь старше, такие как физическая сила, гибкость, выносливость.

#### Литература

1. Society 5.0 – URL: [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html) (дата обращения: 20.03.2021).
2. Japan pushing ahead with Society 5.0 to overcome chronic social challenges. 21 February 2019. – URL: <https://en.unesco.org/news/japan-pushing-ahead-society-50-overcome-chronic-social-challenges> (дата обращения: 10.03.2021).
3. UNESCO Science Report: towards 2030. Printed in Luxembourg by Imprimerie Centrale. 2015, p. 644 – URL: \ \ <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000235406> (дата обращения: 10.03.2021).

# РОЛЬ ШКОЛЬНОГО МУЗЕЯ В ФОРМИРОВАНИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ

**Шерер А.А.**

*ГАОУ ДПО СО «Институт развития образования», г. Екатеринбург*

[miss.sherer@mail.ru](mailto:miss.sherer@mail.ru)

**Аннотация:** В статье представлен годовой план работы, составленный с учетом традиций новоуральской педагогики в области школьного музееведения. План нацелен на включение современных педагогических технологий в деятельность школьных музеев.

**Ключевые слова:** региональная идентичность, воспитание, патриотизм, школьный музей, деятельность.

2017 год запомнился многим учителям-предметникам Свердловской области утверждением Стратегии развития воспитания до 2025 года. Ключевое место Стратегии уделено вопросам краеведения, патриотическому воспитанию школьников. В целях реализации указанного документа на уровне муниципалитетов, области, регионов были введены конкурсы для школьников с 1 по 11 класс, предусматривающие знания по краеведению и графоведению. Важнейшим «шагом» стало социальное партнерство между образовательными учреждениями и учреждениями культуры (городские музеи, библиотеки), начался «нулевой» («подготовительный») этап в формировании региональной идентичности на «местном» уровне. Согласно Стратегии развития воспитания под понятием «региональная идентичность» понимается осознание человеком себя как части регионального сообщества, самоощущение принадлежности к определенной территориальной целостности, являющееся важным условием развития социокультурного потенциала Свердловской области.

Воспитание в образовательной системе - процесс многосторонний, обязательным его условием является самостоятельная деятельность обучающихся. Школьные музеи способны взять на себя важную миссию: стать площадкой активной краеведческой работы, исследовательской деятельности учеников. С целью развития и методической поддержки деятельности школьных музеев проводятся конференции, обучающие семинары, с 2019 года работает Реестр школьных музеев на сайте "Мы - уральцы!" областного Центра кадетского образования.

В Новоуральске благодаря руководителю клуба «Новоуральский краевед», Акиловой Ангелине Архиповне, в 2000-е годы создается городской Совет школьных музеев, определяющий стратегию развития, темы краеведческих исследований. Хорошим примером социального партнерства стало сотрудничество школьных музеев с городским музеем. Очень многие работы школьников - «юных музейщиков» были представлены на

городской смотр-конкурс «История города в судьбах современников», областной конкурс «Юные интеллектуалы Среднего Урала».

В настоящее время в городе реализуются муниципальные проекты "Музей образовательной организации как центр патриотического воспитания школьников", "Морские мили Новоуральцев" им. Героя Советского Союза Петелина А.И..

Вызовы времени требуют модернизации и в сфере музейной деятельности. Выделим направления преобразований, которые необходимы для реализации стратегических задач в области воспитания.

Прежде всего, это создание условий для инициирования деятельности обучающихся, развитие у школьников поисковых, исследовательских умений, коммуникативных компетенций, читательской грамотности и критического мышления. Для создания таких условий необходимо применение интерактивных технологий, игровых технологий, технологии "перевернутый класс".

Второй важной задачей развития школьных музеев является их активное подключение к информационно-коммуникационным сетям, в том числе, к сети Интернет. Развитие музейной деятельности в информационной среде может идти по нескольким направлениям. Это и сетевое взаимодействие с образовательными организациями, развитие семейного воспитания, трансляция результатов работы музея, анонс выставок и мероприятий.

Предлагаемый план работы на учебный год составлен для школьных музеев города Новоуральска и содержит в себе апробированные и новые формы работы со школьниками по освоению краеведческих знаний.

*Таблица 1*

Месяц	Тема занятия	Ключевые слова	Практическая часть	Результативность	Требования ФГОС ООО - 2021	Краеведческие мероприятия
октябрь	История музейного дела в России. Классификация музеев. Характеристика музейных фондов	История, музейная деятельность, выставочная деятельность, экспонат, фонды	Настольная краеведческая игра «Невьянские загадки», создание паспорта музея	Создание паспорта школьного музея	п.43.1, 43.2	

ноябрь	Источники краеведческой информации. Работа с музейными документами. Фонды.	Архив, библиотека, музей, блогосфера, музейная документация	Настольная краеведческая игра «Верх-Нейвинск»	Создание тематического дайджеста	п.43.1, 43.2, 42.1	Всероссийский детский конкурс научно-исследовательских и творческих работ «Первые шаги в науку» VIII Малые Новоуральские краеведческие чтения
декабрь	Музейные экспозиции: методика составления и оформление. Хранение экспонатов. Архитектурное 3D-моделирование. Создание туристических маршрутов	Экспозиция, экспонат, архитектурная модель	Создание архитектурной 3D-модели, заполнение информационной карточки	Создание архитектурной 3D-модели	п.43.1, 43.2, 42.1	
январь	Геймификация в музейной деятельности. Методика создания настольных краеведческих игр	Игровые технологии	Настольная краеведческая игра «На границе Европы и Азии»	Создание тематической настольной краеведческой игры	п.43.2, 43.3, 42.1	
февраль	Отбор экспонатов для экскурсии.	Экскурсия, экспонат	Краеведческий квест «Я поведу»	Создание видеоролика про	п.43.1, 43.2, 43.3, 42.2	Всероссийский конкурс достижений талантливой

	Виды экскурсий. Презентация новой экспозиции		тебя в музей!»	школьный музей		молодежи «Национальное достояние России»
март	Проектно-исследовательская деятельность. Написание и защита проекта. Типовые ошибки представления проекта	Проектная деятельность, ошибки	Краеведческий квест «День реки»	Написание тематической экскурсии на основе экспонатов школьного музея	п.43.2, 42.1	Молодежные Колпинские чтения по краеведению и туризму
апрель	Календарь знаменательных дат: виды, темы, особенности	Календарь	Проведение экскурсии	Создание календаря-месячника знаменательных дат в истории городов Свердловской области	п.43.1, 42.1	Городской конкурс исследовательских работ «История города в судьбах современников»
май			Краеведческий фестиваль «Парад Уральских городов»			

Календарный план составлен с учетом требований ФГОС ООО-2021, соответствует направлению патриотического воспитания, использует современные образовательные технологии. План рассчитан на количество учебных часов – 14 часов.

С методическими разработками создания архитектурных 3D-моделей, настольных краеведческих игр можно познакомиться на сайте Дворца творчества детей и молодежи г. Колпино (Ленинградская область).

СОЦИАЛЬНАЯ ЗРЕЛОСТЬ – ОДИН ИЗ КРИТЕРИЕВ ГОТОВНОСТИ  
СТУДЕНТОВ КОЛЛЕДЖА К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ЖИЗНИ  
(НА КОНКРЕТНОМ ПРИМЕРЕ)

**Юрьева А.В., Ждановский С.Л., Воронцова Е.Е.**

*Новоуральский технологический институт филиал «Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Новоуральск*

[Yr.Alyona@yandex.ru](mailto:Yr.Alyona@yandex.ru)

[stas240171@yandex.ru](mailto:stas240171@yandex.ru)

[vorontsowa.catia2011@yandex.ru](mailto:vorontsowa.catia2011@yandex.ru)

**Аннотация:** в данной статье нами были подробно проанализированы, данные социологического исследования социальной зрелости у студентов колледжа. Дано понятие «социальной зрелости», ее сущность, а также были выявлены параметры социальной зрелости для диагностики уровня ее становления у студентов конкретного колледжа. В статье так же были определены основные характеристики понятия «социальная зрелость». Сделаны определенные выводы и даны рекомендации.

**Ключевые слова:** студенты, социальная зрелость, колледж, диагностика, коммуникация.

Социальная зрелость, как следует из анализа современной психолого-педагогической литературы, не являясь, раз и навсегда приобретенным, застывшим конструктом, растет и накапливается в человеке в процессе взросления. Степень ее проявления может меняться, что определяется направленностью и содержанием реальных процессов воспитания, обучения, самообразования, самосозидания [3,26-28].

Изучив подробно психолого-педагогическую литературу, мы пришли к выводу, что в нашем исследовании будем использовать определение социальной зрелости В.Н. Максимова, так как полностью согласны с его утверждением, что социальная зрелость - это готовность учащегося к взрослой жизни, жизненному самоопределению в личностной и профессиональной сфере, основанная на достижении определенного уровня образованности [8,34-38]. Социальная зрелость соотносится с понятием «социальное поле» личности. Сущность социальной зрелости раскрыта в виде блоков: личностного, образовательного и социально-общественного.

В исследовании были выявлены параметры социальной зрелости для диагностики уровня ее становления [5,21-26]:

- содержательный, который находит свое выражение в материальном и культурном основании деятельности учащегося и проявляется в его представлениях о главных жизненных ценностях;

- оценочный, который выражается через особенности проявления индивидуальности, личной и социальной активности;

- функциональный, определяющийся тем, как внутренние особенности самооценки, развитие коммуникативных умений, представления о главных жизненных ценностях преобразуются в ту или иную психологическую основу стиля жизни, которая помогает или препятствует становлению социальной зрелости студента.

Выявленные параметры позволили нам определить показатели социальной зрелости - личностные качества и характеристики: ценностные ориентации, социальную активность, ответственность, инициативу.

Таким образом, в исследовании определены основные сущностные характеристики понятия «социальная зрелость».

В ходе нашего исследования нами были выявлены 3 уровня социальной зрелости, которые характеризуют степень готовности студентов колледжа успешно адаптироваться к взрослой жизни:

1 *уровень (низкий)* - социальная ориентация на ценности и нормы конкретных взрослых, характеризующаяся повышенным уровнем агрессивности, низким уровнем самоорганизации, самоконтроля, ответственности, социальной активности.

2 *уровень (средний)* - социальная ориентация на ценности и нормы конкретных сверстников, группы, неформального объединения ровесников в целом (главное в этом случае - возрастной отбор), который характеризуется иногда антиобщественным поведением, желанием общественного самоутверждения, агрессивностью, иногда заниженной самооценкой, невысоким уровнем самоконтроля, низкой социальной активностью, нестабильным уровнем ответственности и инициативы.

3 *уровень (высокий)* - социальная ориентация на ценности взрослости, на взрослых, членов определенной социальной группы, при этом важен выход за рамки возраста, который характеризуется независимостью от внешних воздействий, высоким уровнем самоорганизации, самоконтроля, самоопределения, потребностью в самоутверждении, положительным отношением к социальным нормам, высоким уровнем инициативности, социальной активности, ответственности.

В результате диагностики (метод анкетирования) были выявлены группы учащихся, которые относятся к тому или иному уровню социальной зрелости. Надо заметить, что обработку данных мы проводили по авторской методике анализа «Социальной зрелости» кандидата педагогических наук Е.А. Куликовой [6, 6-8]. Расчёт данных выполнялся с помощью программы VORTEX. Данная методика позволила нам получить более полную информацию о проявлении социальной зрелости у учащихся 1 и 3 курсов колледжа НИЯУ МИФИ г. Новоуральска 2022гг. Всего в исследовании принимало 100 респондентов, 50 учащихся -1 курса и 50 учащихся -3 курса. Нами специально была сделана такая выборка

для того, чтобы мы смогли проследить, как меняется уровень социальной зрелости у студента, который первый год обучается в колледже и как меняется она у студента выпускника, влияет ли обучение и сама социальная среда учебного учреждения на обучающегося в нём.

С помощью расчётов коэффициентов корреляции и с помощью данной компьютерной программы мы получили довольно интересные данные.

Большая часть студентов 1 курса относится среднему уровню социальной зрелости (45%), к низкому уровню (25%), высоким уровнем социальной зрелости обладают 30% от числа опрошенных учащихся (см. рис. 1).

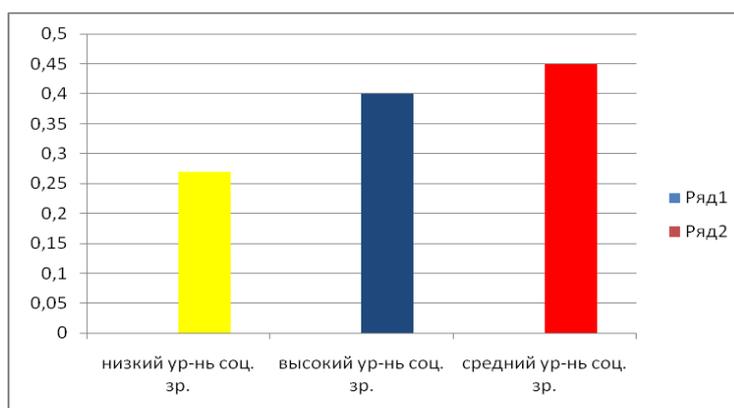


Рисунок 1 – Особенности проявления социальной зрелости у учащихся 1 курса колледжа НИЯУ МИФИ г. Новоуральска

Учащиеся 3 курса - 27% относятся к низкому уровню развития социальной зрелости, 30% - к среднему и 43% - к высокому (см. рис.2).

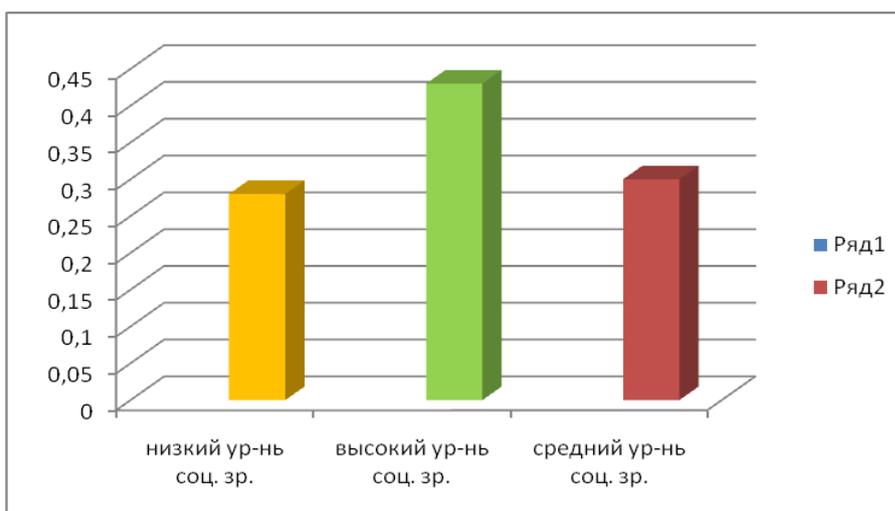


Рисунок 2 – Особенности проявления социальной зрелости у учащихся 3 курсов

Выявлено, что большая часть от числа всех опрошенных респондентов относится к группе, которая характеризуется низкой готовностью к взрослой жизни, около 44% от числа опрошенных может успешно адаптироваться к жизни в обществе. Поэтому, чтобы быть хорошо адаптированным к современным условиям жизни, нужно иметь желания и

возможности учиться. Для этого далее в своём исследовании мы постарались проанализировать особенности мотивации учащихся колледжа к процессу обучения.

Слово «мотивация» происходит от латинского глагола «movere», двигать. И действительно: мотивированным человеком, будто что-то движет, он упорен и сосредоточен на выполнении задачи, легко достигает интеллектуальных, спортивных и творческих успехов. [2,6-8]. Если отсутствует мотивация, все кажется тягостным: лекция по математике становится утомительной и нескончаемой, практические занятия превращаются в пытку. Арсенал трюков, которые используют родители, чтобы заставить своих детей учиться, велик: они «соблазняют» своих детей денежным вознаграждением за хорошие оценки, угрожают запретом на использования компьютера, просят, ругают – и часто приходят в отчаяние. Потому что без внутренней мотивации для обучения студентам данного колледжа не хватает энергии, внутреннего «двигателя», а его родители, к сожалению, не могут «запустить» усилием своей воли.

У каждого человека есть силы, благодаря которым он способен учиться, и очень досадно, что эти силы не всегда направлены на математику или географию, русский язык или историю. Но все можно изменить. Данное утверждение доказывают и полученные результаты нашего исследования.

Рассмотрим, полученные нами данные о том, как наши учащиеся 1 и 3 курса относятся к учёбе? Для этого обратим внимание на рис. 3.

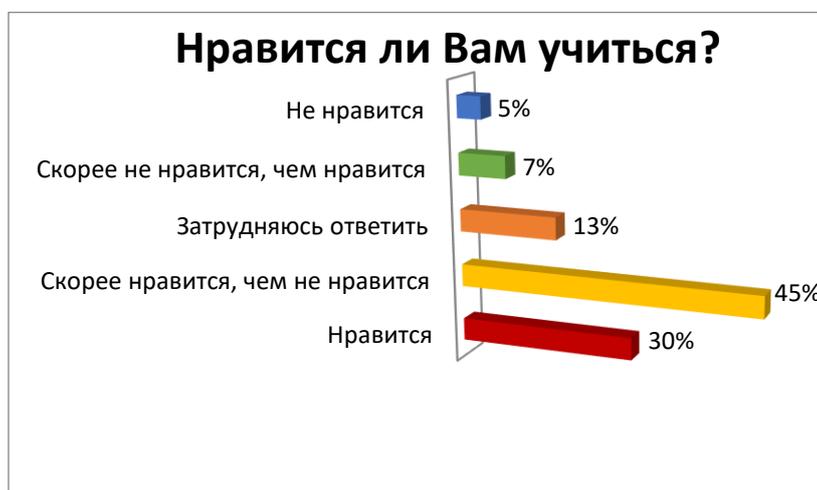


Рисунок 3 – Отношение учащихся 1-х курсов к учёбе в 2021-2022 гг.

Надо заметить, что по сравнению с прошлым учебным годом повысился процент учащихся 1-х курсов, которым нравится учиться. Если в начале 2021 учебного года утвердительно ответило, только 28% респондентов, то в начале второго семестра 2022 учебного года, утвердительного ответа придерживалось 30%. И это на наш взгляд, очень хорошо, пусть хоть на 2% этот результат вырос, значит, преподаватели колледжа НИЯУ МИФИ, стали больше внедрять современных учебных программ и форм обучения, которые

поднимают интерес учащихся к учебе, но опять и повысился пусть на немного, процент учащихся, которым не нравится учиться, в начале учебного года их было 4%, (см. рис. 4) в начале второго семестра 2022 года - 5%. Это говорит, о том, что есть учащиеся, которые посещают колледж, потому что это «надо», им не интересно учиться и именно они, как показал коэффициент корреляции входят в группы респондентов с низким уровнем социальной зрелости.



Рисунок 4 – Отношение учащихся 1-х курсов к учёбе в 2021- 2022-гг.

Далее проанализируем ответы на данный вопрос у учащихся 3-х курсов. Для этого обратимся к рис. №5.

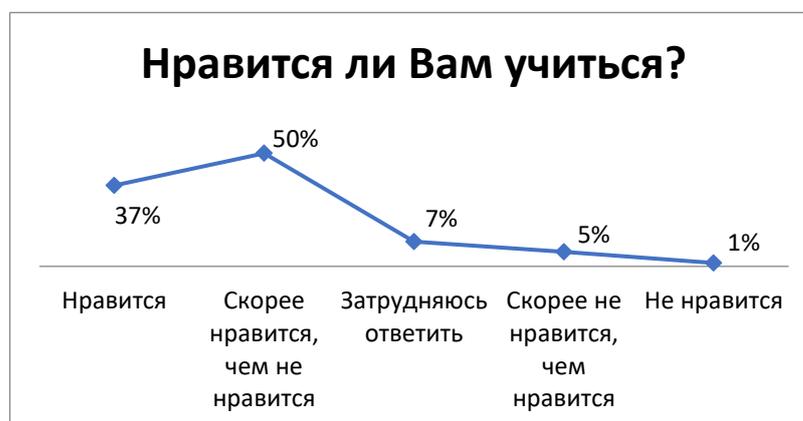


Рисунок 5 – Отношение учащихся 3-х курсов к учёбе в 2021-2022гг.

Так же как и учащихся 1-х курсов, в этом учебном году учащихся 3-х курсов вырос интерес к учёбе т.к. 37% утвердительно ответили, что им нравится учиться, в начале учебного года на этот вопрос утвердительно ответило 34%, так же меньше процентов учащихся затруднялись с ответами на данный вопрос (всего 7%, а в начале учебного года

было 10%.) (рис.6). Мы видим, что выпускники, т.е. учащиеся 3 курса серьезней относились к учёбе, для них важно каким будет их будущее.



Рисунок 6 – Отношение учащихся 11-х классов к учёбе в 2021- 2022-гг.

Анализируя данные исследования, мы согласились с точкой зрения Г.Б. Корнетова и М.И. Шиловой, которые утверждали, что в современном образовательном процессе, в котором, по мнению авторов, создаются достаточно благоприятные условия для интериоризации человеческого опыта, но возможности для индивидуализации учащегося в образовательном процессе, на наш взгляд, ограничены. [7,6-8]. Интериоризируя опыт человечества, студент колледжа должен выработать свою социальную позицию относительно основных сфер жизнедеятельности: сферы морали, гражданского общества, профессиональной деятельности. Эти выводы для нашего исследования будут весьма значимыми.

Интересные результаты были получены на ответ, на вопрос о «для чего необходимо учиться?» Самыми популярными ответами были:

Для студентов 1-х курсов и, что, на наш взгляд, очень интересно и для студентов 3-х курсов, самыми популярными вариантами ответов стали следующие варианты:

- «Хорошее образование позволяет получить престижную работу» такой ответ был у 42% первокурсников. Именно этот выбор ответа, на данный вопрос у третьекурсников составил 37% (см. рис 7,8). Из данных результатов мы видим, что наши выпускники ориентированы на получение престижной работы, а для этого нужны разносторонние и прочные знания.



Рисунок 7 – Ответы на вопрос «для чего необходимо учиться?» для 1-х курсов 2021-2022гг.

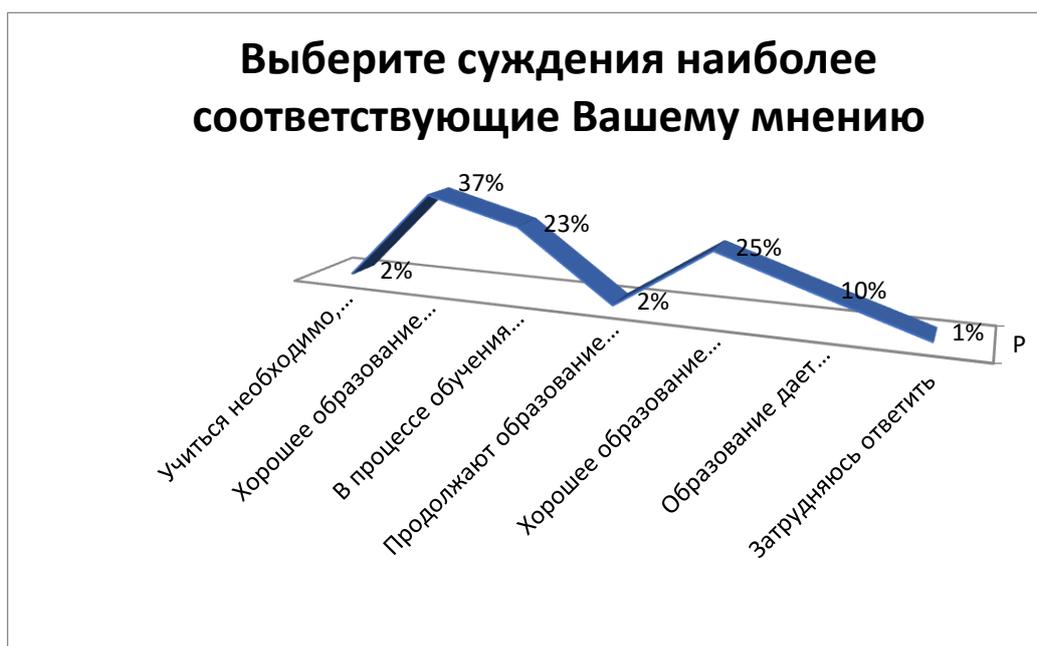


Рисунок 8 – Ответы на вопрос «для чего необходимо учиться?» для 3-х курсов 2021-2022 гг.

«Хорошее образование позволяет достичь высокого социального положения» - этот вариант занимает второе место по популярности у всех категорий учащихся колледжа НИЯУ МИФИ г. Новоуральска (25%), (см. рис.7,8). Особо заострять внимание на этом ответе мы не будем т.к. всё очень хорошо видно на графиках, а результаты в процентном отношении, примерно, такие как мы, рассмотрели выше. Лучше попытаемся проанализировать полученные данные по нашему исследованию дальше.

Данные свидетельствуют о том, что для всех учащихся важно качественное образование. Они понимают, что, только получив, образование они смогут, что-то достичь в жизни и неслучайно, чтобы получить престижную работу, данный ответ выбрало 14% учащихся 1-хх курсов, которым нравится учиться и 16% учащихся 3хх - курсов, которым тоже нравится учиться. И очень хорошо, что нынешние студенты данного колледжа понимают, что они смогут что-то достичь в жизни, если будут всесторонне образованы и грамотны.

Все учащиеся 2021-2022 учебного года считают, что их успех зависит от личной инициативы и знаний (см. табл. 1 и 2.), анализируя данные приведённых ниже таблиц, надо заметить, что учащиеся этого колледжа надеются не только на себе, но и немного надеются на помощь из вне.

*Таблица 1*

Факторы, влияющие на успех в жизни, для учащихся 1-хх курсов

	Родственники	Внешность физические данные, здоровье	Инициатива	От удачи	Подача себя	Знание	Затрудняюсь ответить
2021-2022 уч. год	7%	10%	30%	6%	20%	25%	2%

*Таблица 2*

Факторы, влияющие на успех в жизни, для учащихся 3-хх курсов

	Родственники	Внешность физические данные, здоровье	Инициатива	От удачи	Подача себя	Знание	Затрудняюсь ответить
2021-2022 уч. год	5%	8%	32%	9%	20%	25%	1%

Все учащиеся 1 и 3 курсов колледжа филиала НИЯУ МИФИ 2021-2022гг., считают себя готовыми к самостоятельной жизни т.к. 38% первокурсников и 35% - третьекурсников, ответили утвердительно «Да» Значит, у выпускников 3-х курсов есть доля сомнения о своем самостоятельном будущем. И это закономерно т.к. им нужно окончательно выбрать жизненный путь, выбрать ВУЗ или пойти работать, у них уже практически нет времени как у первокурсников, что-то кардинально поменять. Это, конечно, может вызывать долю сомнения. Эти данные подтверждают и результаты уровней социальной зрелости, которые мы рассмотрели ранее (в пункте №1). (рис. 9, 10).

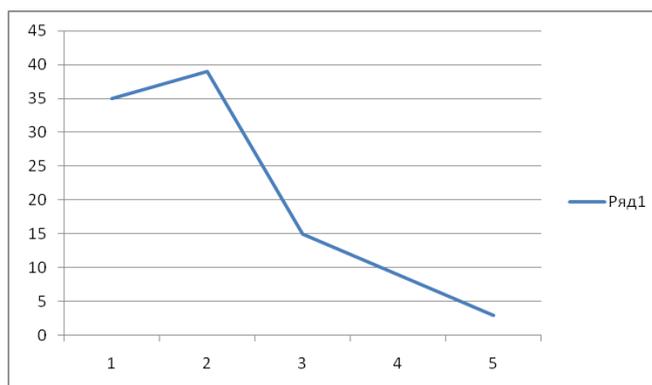


Рисунок 9 – Процент готовности к самостоятельной жизни у учащихся 1–х курсов

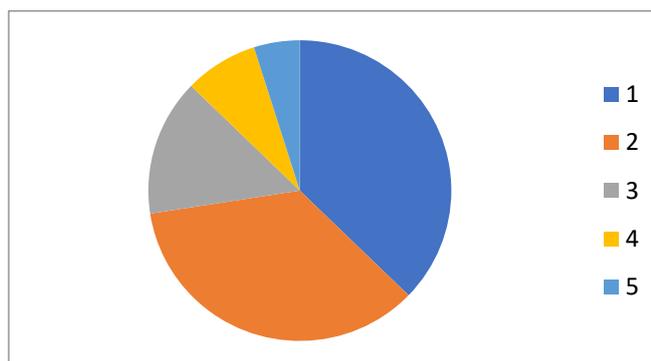


Рисунок 10 – Процент готовности к самостоятельной жизни у учащихся 3-х курсов

Таким образом, хочется отметить, что искусство воспитания все-таки заключается в создании правильного сочетания «понимаемых» мотивов учёбы и мотивов «реально действующих» и вместе с тем в умении вовремя придать более важное значение высокому результату успешной учебной деятельности студентов колледжа.

Рассмотрим и постараемся проанализировать уровень социальной зрелости у студентов 1-х курсов 2021-2022гг. Обратим внимание на рис. 11

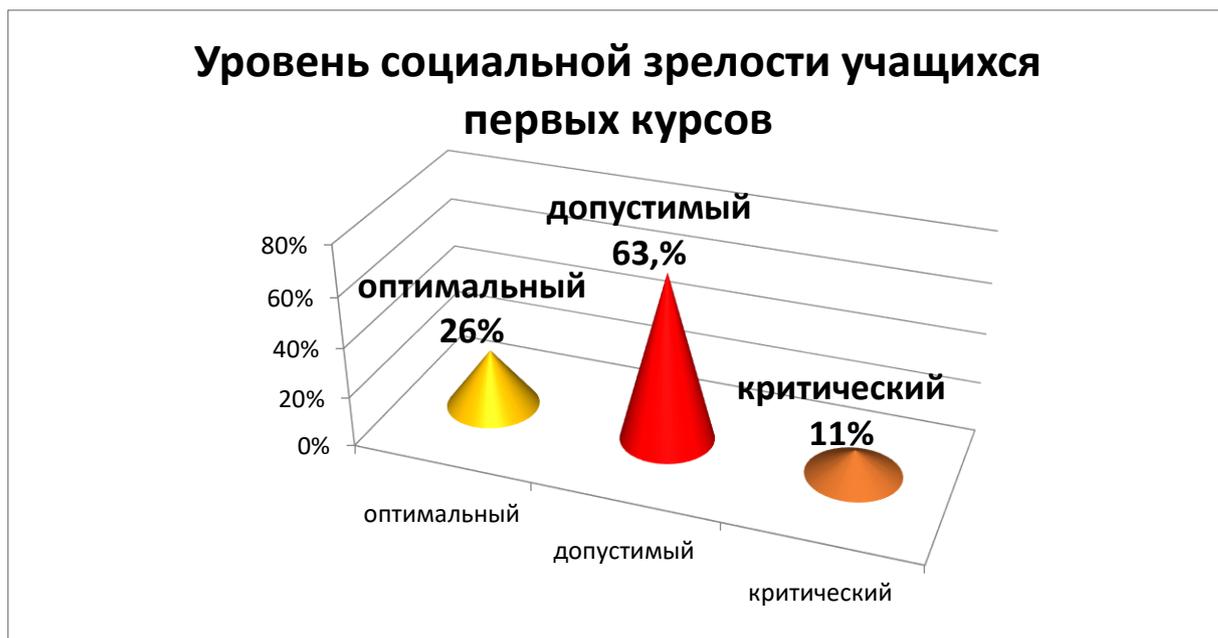


Рисунок 11 – социальная зрелость студентов 1-х курсов 2021-2022 гг.

Глядя на рис. 11 мы видим, что допустимый уровень, является преобладающим, значит в целом студентов 1-х курсов 2021-2022гг. характеризует неопределённость жизненного выбора, вследствие чего они подвержены ситуативному влиянию. Можно сказать, что учащиеся 1-х курсов 2021-2022гг. ещё не в полной мере готовы к самостоятельной «взрослой» жизни.

Далее рассмотрим и проанализируем динамику развития социальной зрелости у выпускников (рис. 12).

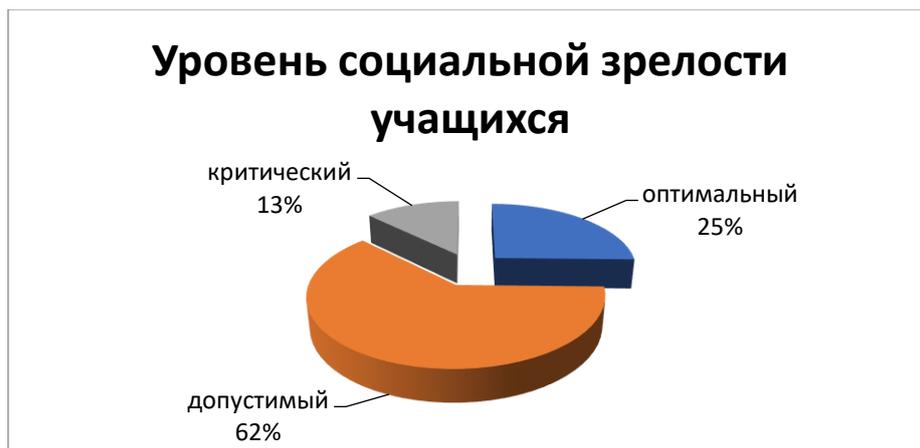


Рисунок 12 – социальная зрелость студентов 3-х курсов 2021-2022 гг.

Анализируя построенный нами график, мы видим, что оптимальный уровень средний. Поэтому мы можем сказать, что выпускники колледжа филиала НИЯУ МИФИ 2021-2022гг. характеризуются в целом, как личности умеющие принимать решения, как

правило, самостоятельно. Мы в праве вполне сделать вывод, что процесс обучения и социальная среда данного колледжа, оказывают влияние на уровень социальной зрелости учащихся, поэтому студенты третьих курсов наиболее подготовлены к самостоятельной «взрослой жизни».

Таким образом, развития социальной зрелости находится в норме, больших отклонений мы не наблюдали.

Исходя из вышеизложенного, мы можем утверждать, что социальная зрелость предполагает успешное решение социокультурных задач развития учащихся колледжа (накопление знаний и навыков в разных областях жизни) и реализацию социально-психологических задач, что конкретизируется в личной, самостоятельной социальной позиции студента. Все это позволяет нам сделать заключение, что социальная зрелость не является формальным делегированием студентов колледжа прав и обязанностей, а сопровождается осознанностью, пониманием значимости вступления во взрослую жизнь.

#### Литература:

1. Ананьев Б. Г. О проблемах современного человекознания. - М.: Педагогика, 1997-с. 305
2. Анастаси А. Психологическое тестирование - М.: Педагогика, 2012, с. 194
3. Багдасарян Н.Г. Ценность образования в модернизирующемся обществе // Педагогика. 2008. № 5
4. Битинас Б. П. Педагогическая диагностика: сущность, функции, перспективы // Педагогика, 2016. - №1. - С. 4 - 12.
5. Воскресенская Н. М. Реформы образования в современном мире: Глобальные и региональные тенденции. - М., 2019 - с 269
6. Корнетов Г.Б. Парадигмы базовых моделей образовательного процесса // Педагогика, 2019 - 3. – с 62
7. Фомин В. Н. Грани социальной зрелости. - Ужгород: Карпати. – 2019 – с 110

## ТРИ ГОДА ИЗ ЖИЗНИ ГОРОДА НОВОУРАЛЬСКА

**Жданов А.О.**

*Член клуба «Новоуральский краевед», г. Новоуральск*

[Jdan.projekt@gmail.com](mailto:Jdan.projekt@gmail.com)

**Аннотация:** В статье рассказывается о директоре УЭХК Морохове Игоре Дмитриевиче, его вкладе в развитие атомной промышленности, города Новоуральск.

**Ключевые слова:** Морохов И.Д., атомная промышленность, город Новоуральск.

Появление многих «закрытых» городов в стране связано с развитием атомной промышленности. Первый завод по обогащению урана Д-1 был построен на территории бывшего завода №261 НКПА СССР в Свердловской области. 17 марта 1954 г. засекреченный объект получил официальное название «город Новоуральск». Наибольший интерес для краеведов города представляют «белые пятна» истории градообразующего предприятия: производственная деятельность, биографии директоров, рационализаторов, их вклад в развитие города и страны. В статье рассказывается про Морохова Игоря Дмитриевича – директора завода №813 с 1957 по 1961 год.

Игорь Дмитриевич родился 19 августа 1919 года в городе Иваново Самарской области.

В 1942 году он окончил Московский авиационный институт, устроился на завод №41 Министерства авиационной промышленности мастером, затем стал начальником цеха. В марте 1948 года его перевели в Первое главное управление на работу в атомной промышленности. И.Д. Морохов получил назначение на комбинат №813 — первое в стране предприятие по газодиффузионному разделению изотопов урана и получению высокообогащенного урана для ядерных зарядов. 1948 год — один из сложных периодов в истории завода: поступление оборудования на строительную площадку, его последующий монтаж, пусконаладочные работы. И.Д. Морохов начал свою трудовую деятельность на комбинате с должности дежурного смены, вскоре став главным диспетчером цеха №21.

Осенью 1949 года на завод прибыл куратор «Атомного проекта СССР» Л.П. Берия. Игорь Дмитриевич сопровождал Лаврентия Павловича по цеху завода, который в длину имел более километра. Согласно одной из городских легенд, Л.П. Берия остался недоволен посещением: «Даю вам сроку три месяца, чтобы все закончить, но если вы не обеспечите за это время все, что от вас требуется, пеняйте не себя. Я заранее предупреждаю — готовьте сухари» [2]. Во время этого визита на объект Л.П. Берия принял ряд необходимых организационных мер по оказанию помощи заводу, в частности распорядился привлечь к решению возникших проблем некоторых крупных ученых, в том числе академиков А.Н. Фрумкина

и А.П. Виноградова, немецких специалистов. Первая продукция — уран-235 75%-го обогащения была получена в 1950 году.

В 1951 году И.Д. Морохов назначен начальником разделительного производства комбината. В этом же году на комбинате был пущен в эксплуатацию второй газодиффузионный завод по обогащению урана — Д-3, укомплектованный машинами серии Т.

24 сентября 1951 года на Семипалатинском полигоне была взорвана советская атомная бомба имплозивного типа второго поколения РДС-2 с составным зарядом из плутония и урана. Уран-235, использованный в начинке бомбы, был обогащен на заводе №813.

Производственные достижения работников комбината были высоко оценены руководством страны. Постановлением Совета Министров СССР от 6 декабря 1951 года «О награждении и премировании за выдающиеся научные работы в области использования атомной энергии, за создание новых видов изделий РДС, достижения в области производства плутония и урана-235...» Игорю Дмитриевичу в составе коллектива специалистов «за участие в работах по освоению производства урана-235» было присвоено звание лауреата Сталинской премии 2-й степени.

В 1954 году решением правительства И.Д. Морохов переведен в город Ангарск. Решение о строительстве в Ангарске комбината атомной промышленности было принято Советом Министров СССР 10 марта 1954 года. Комбинат был нацелен на крупномасштабное производство шестифтористого урана, обогащенного урана, применяемого в качестве топлива для АЭС и для изготовления ядерных боеголовок. 4 сентября 1954 года приказом министра Министерства среднего машиностроения директором предприятия был назначен В.Ф. Новокшенов, главным инженером — И. Д. Морохов. Промышленный комплекс комбината предусматривал объединение ряда химических переделов урана в единый технологический цикл. Однако в этой должности он проработал всего год, и в связи со сменой руководства УЭХК Игорь Дмитриевич вернулся в Свердловск-44 на комбинат в июне 1955 года на должность главного инженера. В 1956 году ему присвоена степень доктора технических наук.

В следующем году И.Д. Морохов назначен директором УЭХК. В этот период потребности в фильтрах для новых диффузионных заводов, вводимых на заводе №813 и строящихся в Сибири, не обеспечивались мощностями Московского комбината твердых сплавов и завода №12 в г. Электросталь. Успехи по совершенствованию фильтров, достигнутые комбинатом, ускорили принятие Минсредмашем решения об организации массового промышленного производства каркасных и керамических трубчатых фильтров непосредственно на комбинате.

В ноябре 1957 года приказом директора на базе действующего цеха каркасных фильтров было создано новое подразделение — завод фильтров. В 1958 году вводится в эксплуатацию первая очередь промышленного производства бескаркасных фильтров. Силами ремонтно-механического и электроремонтного цехов комбината было изготовлено все нестандартное оборудование. Основой технологии являлось электрохимическое и термохимическое диспергирование никеля, последующая непрерывная прокатка и спекание в атмосфере водорода никелевых порошков в пористую ленту толщиной около 90 мкм. За разработку этих фильтров и организацию их массового производства (до 60 млн шт./год) И.Д. Морохову и ряду работников комбината присуждена Ленинская премия за 1958 год.

При Игоре Дмитриевиче завершается строительство опытного центрифужного завода, основанного на передовой технологии разделения изотопов.

И.Д. Морохов лично участвовал в продвижении планов перевода комбината с производства обогащенного урана газодиффузионным методом на газоцентрифужный. Опытный завод на комбинате №813 по газоцентрифужному обогащению был выведен на расчетный режим в январе 1958 года — это был первый в мировой практике опыт массовой эксплуатации газовых центрифуг. В 1958 году приемная комиссия Министерства среднего машиностроения СССР во главе с академиком М.Д. Миллионщиковым, изучив опыт УЭХК, рекомендует развернуть массовое производство центрифуг.

На основе полученного опыта руководство комбината убедилось в перспективности промышленного применения газоцентрифужного метода и стало добиваться форсирования строительства полномасштабного промышленного завода. В январе 1960 года И.Д. Морохов направляет министру Е.П. Славскому письмо о недопустимости переноса сроков начала строительства промышленного газоцентрифужного завода на комбинате №813. Через восемь месяцев министерством было утверждено проектное задание на строительство первого в мире промышленного газоцентрифужного завода на этом комбинате.

26 августа 1960 года на базе Главного управления по использованию атомной энергии в народном хозяйстве Министерства среднего машиностроения был образован вне рамок Минсредмаша Государственный комитет Совета министров СССР по использованию атомной энергии. Игорь Дмитриевич назначен первым заместителем председателя Государственного комитета по использованию атомной энергии. Роланд Тимербаев в одной из своих книг вспоминает о И.Д. Морохове: «Познакомился я с ним вот при каких обстоятельствах. Первым советским членом Совета управляющих (СУ) МАГАТЭ был, как я уже писал, Василий Семенович Емельянов. Эту должность В.С., будучи заместителем министра среднего машиностроения и председателем Государственного комитета по

использованию атомной энергии, занимал с 1957 г. по 1965 г. Неожиданно для МИДа в конце 1965 или в начале 1966 года в министерство иностранных дел на подпись министра поступила из министерства среднего машиностроения записка в ЦК КПСС (так обычно назывались доклады или предложения, направляемые на утверждение Политбюро ЦК), уже подписанная министром Е.П. Славским. В записке предлагалось освободить Емельянова от должности управляющего от СССР в СУ Международного агентства и на его место назначить некоего Морохова И.Д. Меня вызвал к себе первый заместитель министра В.В. Кузнецов и спросил, почему освобождают Емельянова и назначают, не посоветовавшись с МИДом, никому не известного человека. Я пожал плечами и сказал, что мне ничего не известно. Нужно сказать, что Емельянова в МИДе хорошо знали и глубоко уважали, а с Кузнецовым они вообще знались с довоенных времен и между ними сложились добрые личные взаимоотношения. Кузнецов передал мне из рук в руки записку Славского и приказал подержать ее в моем сейфе, никому не показывая, до особого распоряжения.

Прошло что-то около двух месяцев, вызвал меня к себе Кузнецов вновь, предложил завизировать один из экземпляров этой записки и затем подписал ее оригинал, сказав, что следует срочно направить записку в ЦК. На мой недоуменный вопрос В.В. ответил без каких-либо пояснений, что решено назначить управляющим Морохова. Потом я узнал, что Кузнецов пытался отстоять Емельянова, но это ему не удалось. Вскоре мы с Мороховым познакомились, стали часто встречаться и выезжать в заграничные командировки, устраивать неизбежные совместные застолья, что особенно сближает. Был он к тому же большим жизнелюбом и, мягко выражаясь, отнюдь не чурался женщин. И.Д. оказался очень умным, а, главное, энергичным и инициативным человеком. Со временем мы с ним сдружились» [6].

В управлениях Госкомитета было сосредоточено руководство разработкой ядерных реакторов и реакторных установок для атомных электростанций, а также подготовка и обеспечение эксплуатации АЭС.

В октябре 1965 года ГКИАЭ был ликвидирован и преобразован в Главное управление по использованию атомной энергии МСМ, оставаясь структурой, осуществляющей международные связи по всем вопросам использования атомной энергии в мирных целях. И.Д. Морохов становится начальником Управления международных связей и научно-технической информации, членом Коллегии Министерства среднего машиностроения.

В 1971 году Игоря Дмитриевича назначают заместителем министра среднего машиностроения по науке. В этой должности он осуществлял руководство и контролировал

крупнейшие научно-исследовательские институты Минсредмаша, курировал международные научные связи. Им много было сделано для развития экспериментальной базы НИИ и КБ отрасли.

Неоценим вклад Игоря Дмитриевича в создание системы гарантий МАГАТЭ применительно к обязательствам не ядерных государств-участников ДНЯО. К этой проблеме он подключился в 1970 году. Переговоры проходили в Вене в течение нескольких месяцев осенью 1970 года и в начале 1971 года. И.Д. Морохов в тесном сотрудничестве с МИДом и Министерством обороны участвовал в выработке позиции по пороговому ограничению подземных ядерных испытаний и проведении переговоров, завершившихся подписанием Р. Никсоном и Л.И. Брежневым 3 июля 1974 года Договора об ограничении подземных испытаний ядерного оружия.

В 1975—1976 гг. И.Д. Морохов участвовал в переговорах о подземных ядерных взрывах в мирных целях, и соответствующий договор был подписан Л.И. Брежневым и Дж. Фордом 28 мая 1976 года. В 1977 году начались переговоры в Вашингтоне о полном запрещении ядерных испытаний, которые были продолжены в Женеве уже в трехстороннем формате с участием Великобритании. И.Д. Морохов был главой делегации на этих переговорах до 1978 года.

В 1980 году И.Д. Морохов перешел на работу в Институт металлургии им. А.А. Байкова РАН, где он занялся проблемой получения ультрадисперсных порошков (наноматериалов), которой он увлекся еще в 50-е годы при налаживании производства фильтров для диффузионных машин на заводе №813. Здесь он ведет научную работу, став соавтором ряда научных статей и патентов. С его участием были изданы книги «Хиросима» и «А-бомба», а также научный трактат «Ультрадисперсные металлические среды» (1977 г.).

Игорь Дмитриевич Морохов скончался в 2001 году.

Строительство новых цехов, модернизация технологических цепочек – ведущее направление градообразующего предприятия. Но наравне с этим, комбинат всегда оказывал помощь городу. Это и строительство нового жилья, магазинов, школ, и т.д. Чем запомнился жителям Новоуральска период с 1957 по 1960 гг.?

### **1) Строительство жилья**

В этот период шло интенсивное строительство улицы Ленина, Свердлова, Фурманова, Л. Толстого, Спортивная, Комарова, Театральный проезд. Особый вклад в строительстве принадлежит военным строителям. Кузнецов Николай Николаевич, строитель, прибывший в наш город в 1958 году, вспоминает: «Это было крупное военно-строительное подразделение, состоящее из производственных районов, носящих названия:

1-й район – занимался строительством промышленных объектов. Руководитель – полковник Скопинцев Станислав Антонович;

2-й район – вел строительство объектов жилья и соцкультбыта. Руководитель – Джилавын Завен Сумбатович;

3-й район – РПСМиК (раствор, песок, строительные материалы и конструкции). Руководитель – майор Палкин Леонид Елизарович» [1].

2 апреля 1959 года подписан приказ №137 директора завода «О газификации города»: «В целях улучшения бытовых условий трудящихся завода и города

**ПРИКАЗЫВАЮ:**

1. Представленный «Перспективный план газификации города на 1960 – 1965 гг.» - утвердить.
2. Для накопления опыта эксплуатации газовых установок газифицировать в 1959 году 500 квартир от индивидуальных газобаллонных установок. Ответственный т. Смекалкин Г.П.
3. Т.т. Мышко А.П., Горницкому Д.Л. обеспечить поставку оборудования и материалов для газификации указанных в п.2 квартир, согласно мною утвержденным сроком, а также по газификации города в 1960-1965 гг., в соответствии с перспективным планом.
4. Организовать в ц. 65 участок газоснабжения и аварийную службу. Срок – II квартал 1959 г. Ответственный т. Смекалкин Г.П.
5. Начальником участка газоснабжения назначить т. Макарова А.П., освободив его от работы в цехе 26.
6. Тов. Преображенскому А.А. произвести монтаж и наладку газовых плит в 500 квартирах. Срок – II кв. 1959 г.
7. Тов. Гороховскому Л.И. предусмотреть в 1960 году строительство газораздаточной станции для снабжения газом дворовых емкостей и обеспечить монтаж внутренних сетей газоснабжения во вновь строящихся домах на базе групповых емкостей.
8. Тов. Колесниченко А.В. укомплектовать штат службы газоснабжения цеха 65 по заявке цеха, в пределах утвержденной ЖКХ численности» [4].

## **2) Строительство учреждений здравоохранения**

20 ноября 1957 года был подписан приказ директора завода и начальника МСЧ-31 №545 «Об организации профилактория». В нем говорилось:

**ПРИКАЗЫВАЮ:**

1. Организовать на базе существующего дома отдыха ночной профилакторий на 50 мест. Принять к руководству и исполнению положение о профилактории, утвержденное министром здравоохранения.

2. Назначить главным врачом профилактория т. Котова Ю.Т.
3. Установить срок пребывания в профилактории 14 календарных дней, в т.ч. круглосуточного нахождения отдыхающих в профилактории по выходным и праздничным дням.
4. Назначить отборочную комиссию по решению вопросов направления в профилакторий в составе: зав. заводской поликлиникой т. Серебрякова В.И. – председатель; главного врача т. Котова Ю.Т. – член комиссии; представителя группкома профсоюза т. Нецвет Т.А. – член комиссии; от отдела №13 т. Миролюбова Г.В. и врача цеха, представляющего кандидатуру работника для направления в профилакторий. Комиссии в своей работе руководствоваться положением о профилакториях и отбор для направления в профилакторий производить работников основного производства и лиц, соприкасающихся с профвредностью.
5. Тов. Котову Ю.Т. открыть профилакторий для обслуживания I-ой очереди 21 ноября с.г.
6. Начальникам цехов и служб завода работников, работающих посменно при направлении в профилакторий обязательно переводить для работы в I-ю смену.
7. Тов. Смекалину Г.П. обеспечить:
  - а) к 25 ноября с.г. окончание всех работ по электромонтажу в лечебном корпусе профилактория.
  - б) бесперебойность работ бани – душа по графику в дни, установленные профилакторием.
8. Тов. Кривоногову Ю.Ф. выделить и закрепить автобус для перевозок рабочих с промплощадок в профилакторий и обратно по графику – расписанию, утвержденному главным врачом профилактория. Транспортные расходы по профилакторию бухгалтерии относить на общезаводские расходы.
9. Тов. Тимофееву В.А. удовлетворять потребности профилактория высококачественными продуктами в широком ассортименте» [4].

### **3) Строительство учреждений культуры**

Театр кукол открылся в городе в 1957 году. Премьера первых спектаклей «Гусенок» и «Колобок» состоялась 7 ноября в кинотеатре «Родина».

### **4) Строительство учреждений образования**

1 сентября 1957 года открыла свои двери новая специализированная школа №53 в Привокзальном районе – школа – интернат. В этот же день коллектив школы №45 переехал в новое специализированное здание на улице Свердлова, 7.

Значительные изменения произошли в детской технической станции – клубе юных техников дома культуры УЭХК. Из воспоминаний Доставаловой Валентины Никитичны:

«1957-1958 год. Освобождалось здание по улице Ленина, 39. Его отремонтировали и переоборудовали. На первом этаже были оборудованы и оснащены всем необходимым для работы технических кружков мастерские: токарно-слесарная, столярная, электротехнического моделирования, авиамоделизма. На втором этаже оборудованы: фотолаборатория, радиолaborатория, лаборатория изобразительного и прикладного искусства и другие.

Две смежные комнаты второго этажа были выделены для «Комнаты школьника». Туда могли приходить все желающие, в основном, младшие школьники, готовить домашнее задание и организовано проводить свое свободное время.

В 1959 году все технические кружки переехали в новое здание по улице Ленина, 39. Вновь была создана техническая станция детского сектора Дома Культуры им. Ленина. Создавались новые кружки, начинали работать новые руководители.

К 1960 году в ДТС работало 11 штатных руководителей кружков и три руководителя по совместительству. В 1960 году было утверждено штатное расписание и утверждена должность директора ДТС» [3].

Появление новых детских садов – большая радость для молодых семей. В 1958 году состоялось открытие детских садов №14, 16, 17. В следующем году были открыты детский сад №20, 21, 22.

#### **5) Введение новых специальностей в Уральском политехникуме**

В связи с модернизацией, проводимой на комбинате, с 1 сентября 1957 года в Уральском политехникуме были введены специальности, востребованные до 1960 года. На дневном отделении: «Электрические станции, сети и системы», «Электрооборудование промышленных предприятий и установок», «Производство аппаратуры автоматики и телемеханики», «Контрольно-измерительные и регулирующие приборы», «Технология специального производства (разделения)». На вечернем отделении: «Электрооборудование промышленных предприятий», «Монтаж и ремонт промышленного оборудования», «Производство аппаратуры автоматики и телемеханики», «Технология специального производства», «Промышленное и гражданское строительство».

#### **6) Оказание помощи совхозам, входящим в состав города, поселку – соседу Шурале.**

В архиве УЭХК сохранился приказ директора завода №304 от 12 июля «Об оказании помощи совхозу». В нем сказано: «В целях упорядочения и улучшения и постановки дела оказания помощи совхозу ОРСа со стороны завода, в соответствии с поступившими предложениями и по согласованию с общественными организациями завода

### ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Считать шефами центрального отделения совхоза в Тарасках – коллектив работников цеха №33, отделения совхоза в Пальниках – коллектив работников отд.№16, отделения совхоза в Починках – коллектив работников цеха №58, отделения совхоза в Шурале – коллектив работников цеха №54. Над механизаторами совхоза (мастерские, автогараж и пр.) – коллектив отделов №9, 10, 17.
2. Цехам и отделам, осуществляющим шефскую работу на основе всестороннего изучения и знания состояния дел в подшефных подразделениях совхоза всеми имеющимися в распоряжении цехов – отделов силами и средствами оказывать помощь в лучшей организации общественной деятельности и высококачественной хозяйственной работы отделений, обеспечивающих выполнение и перевыполнение ими плановых заданий и безубыточную рентабельную работу.
3. Для выполнения всей организационной работы по шефству разработки и помощи в осуществлении мероприятий по механизации в совхозе, создать комиссию в составе:

Т. Желтковского Н.Ю.	– председатель
Т. Гужагина В.Н.	– зам. председателя
Т. Кривоногова Ю.Ф.	– член комиссии
Т. Кириллина	– от парткома завода
Т. Воробьева	– от завкома завода
Т. Томилина И.В.	– цех №32
Т. Климина А.А.	– цех №33

Председателю комиссии все намеченные планы и мероприятия по механизации в совхозе представлять на рассмотрение и утверждение мне.

4. Начальникам цехов – отделов, осуществляющих шефство над отделениями совхоза, по согласованию с общественными организациями создать в течение 10 дней для выполнения всей организационной работы по шефству шефские комиссии в составе 5-9 человек и оказывать всемерное содействие в их работе, осуществляя лично систематический контроль за ходом дел по шефству.

И. Морохов» [4].

В 1959 году в селе Тарасково в приспособленном деревянном доме был открыт детский сад на две группы. Первым директором учреждения назначена Долганова О.И. Вместе с ней работали воспитатели Пирогова Р. П., Сырова З., Хафизова Ф.П., медсестры Бакулина Т. П., Березюк Е.А., нянечки Малышева А. М., Щекалева Т.И.

19 мая 1960 года Морохов И.Д. подписал приказ №2017 «О шефстве над Детским домом в Шурале». «В проведенном общественном смотре работы детских домов по Российской Федерации, наш завод по постановке шефской работы отмечен Министерством просвещения РСФСР и республиканским комитетом профсоюза работников просвещения, высшей школы и научных учреждений РСФСР в числе передовых награждением почетной грамотой возглавлявшего дело шефства над Шуралинским детским домом зам. директора завода тов. Мышко А.П.

Отмечая правильное понимание поставленной задачи в шефской работе по воспитанию детей, оставшихся без попечения родителей, и четкое выполнение задания в благородном деле организации заботы коллектива завода над подшефным Шуралинским детским домом, по согласованию с общественными организациями завода, -

**ПРИКАЗЫВАЮ:**

1. За хорошее выполнение задания по организации шефства над детским домом т. Мышко А.П. объявить благодарность.
2. За активное и добросовестное выполнение заданий в шефской работе над детским домом объявить благодарность нач. цеха №35 т. Выдревич М.С., нач. цеха №37 тов. Кривоногову Ю.Ф. и премировать по 300 руб. каждого.
3. Всем начальникам служб и цехов завода в целях дальнейшего повышения уровня забот над детьми, оставшимся без попечения родителей – помощи подшефному Шуралинскому детскому дому – оказывать всемерное содействие в работе созданной шефской комиссии в составе:
  1. Лысикова В.А. – председатель комиссии
  2. Катасонова В.А. – член комиссии
  3. Тютиной О.А. – член комиссии
  4. Улазовской А.А. – член комиссии
  5. Камышковой А.П. – член комиссии
  6. Медведевой А.К.

И. Морохов» [4].

**7) К услугам населения**

В 1957 году на улице Привокзальной (сейчас ул. Гагарина), 16 открылся филиал свердловского ателье №15 по ремонту телерадиоаппаратуры. Начальником телеателье назначен Смарыгин Н.Е.

В 1958 году открыто ателье №1, позднее получившее название «Элегант». Первой заведующей стала Кротова В.П.. В ателье высшего разряда могли выполнить любой заказ:

пошив женского пальто, костюма, брюк; здесь работал «модный» цех. Шили на выставку, на продажу. Позднее за ателье закрепилась репутация самого модного в городе.

В 1958 году при овощной базе организован цех по очистке картофеля и овощей (руководитель Казаренко З.И.). В 1959 году внедрен кольцевой завоз товаров в магазины и столовые, что значительно удешевило доставку.

В 1957 году открыт ресторан «Урал».

## **8) Благоустройство города**

В 1957 году состоялось «обновление» обелиска Героям Гражданской войны в Привокзальном районе. Вместо металлического обелиска был установлен бетонный четырехгранный (высотой 7,6 м.), окруженный металлической оградой.

В 1958 году по инициативе комсомольцев комбината разбит сквер Дружбы на улице Белинского.

### Литература:

1. В одном строю. Воспоминания ветеранов военно-строительных частей. /сост.: В. Бардала – Верхний Тагил: Уральское провинциальное издательство (ИП Чумаков С.В.), 2015. – 208 с., илл.
2. Е.Т. Артемов, А.Э. Бедель. Укрощение урана. Екатеринбург: Издательство ООО «СВ-96», 1999. – 352 с.
3. История Новоуральской школы. Факты и воспоминания. Часть II/сост.: З. Бушманова, Т. Мухамедзянова. – Верхний Тагил: Уральское провинциальное издательство (ИП Чумаков С.В.), 2015. – 124 с., илл.
4. Наш город в цифрах и фактах (1955-1960 г.г.). Сборник документов – Новоуральск, 1995. – 87 с.
5. Новоуральск. Шаги времени. /сост. Л. Гольшева, О. Жидкова, В. Лазарева, Л. Семянникова, М. Сергеева. – ООО «Компания «Реал-Медиа», 2008. – 504 с., илл.
6. Сайт <http://magazines.russ.ru/zvezda/2006/8/ni5.html>
7. Сайт <http://xn----8sbanercnjfnps8bzb7hyb.xn>  
[p1ai/index.php/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%B2\\_%D0%98%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C\\_%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87](http://xn----8sbanercnjfnps8bzb7hyb.xn/p1ai/index.php/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%B2_%D0%98%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C_%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87)

# ФАКТОР ГЕНДЕРА В СФЕРЕ СОВРЕМЕННОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ

Дронишинец Ю.А.

*ФГБОУ ВО Дипломатическая академия МИД России, Москва*

[julia.dr01@gmail.com](mailto:julia.dr01@gmail.com)

**Аннотация:** В работе анализируется влияние гендерного фактора на мировую торговую политику. Автор приходит к выводу, что несмотря на то, что целый ряд международных и национальных организаций принял документы о расширении прав и возможностей женщин в экономике, в том числе и в сфере международной торговли, однако гендерные различия всё ещё сохраняются на пути построения инклюзивной и процветающей экономики и общества.

**Ключевые слова:** гендерный фактор, мировая торговля, дискриминация женщин, гендерное неравенство.

В последние годы все большее внимание уделяется влиянию гендера на торговую политику. Многие страны включили в содержание национальной и международной политики обязательство продвигать концепцию гендерного равенства, воплощенную, например, в Цели 3 раунда развития тысячелетия Организации Объединенных Наций: содействие гендерному равенству и расширению прав и возможностей женщин [1].

В документах Всемирной торговой организации (ВТО) отмечается, что фактические данные свидетельствуют о том, что женщины сталкиваются с более серьезными препятствиями в сфере международной торговли, чем мужчины, с дискриминацией при предоставлении финансирования, сохраняющегося гендерного цифрового разрыва и пробелов в знаниях о торговле и торговых правилах. Актуальность этой проблемы усилилась во время кризиса COVID-19, когда в докладе ВТО было подтверждено, что женщины подвергаются большему риску пострадать от сбоя в торговле, вызванных пандемией, чем мужчины [2].

Несмотря на принятие целого ряда международных и национальных документов о расширении прав и возможностей женщин гендерные различия всё ещё сохраняются на пути построения инклюзивной и процветающей экономики и общества. В Докладе «Глобальный индекс гендерного неравенства» за 2021 год [3] отмечается, что пандемия COVID-19 создала новые барьеры в достижении гендерного равенства, кризис остановил прогресс в ряде стран и отраслей промышленности. В Докладе «Глобальный индекс гендерного неравенства» оценивается эволюция гендерного неравенства по четырем ключевым измерениям (экономическое участие и возможности, уровень образования, здоровье и выживание, а также расширение политических прав и возможностей) и отслеживается прогресс в устранении этих разрывов с течением времени. В 2021 году

показатели Глобального индекса гендерного неравенства среди 156 стран предоставляли инструмент для сравнения между странами и определения приоритетов наиболее эффективной политики, необходимой для устранения гендерного разрыва. Методология Индекса остается стабильной с момента его первоначальной концепции в 2006 году, измеряя баллы по шкале от 0 до 100, и баллы интерпретируются как расстояние до паритета (т. е. процент ликвидированного гендерного неравенства).

В глобальном масштабе за 2021 год среднее расстояние, пройденное до паритета, составляет 68%, что является шагом назад по сравнению с 2020 годом (-0,6 % пункта). Эти показатели в основном обусловлены снижением показателей ведущих стран. При его нынешней траектории теперь потребуется 135,6 лет, чтобы ликвидировать гендерный разрыв во всем мире.

Гендерный разрыв в экономическом участии и возможностях остается вторым по величине из четырех ключевых измерений, отслеживаемых Индексом. Согласно результатам Индекса 2021 года, 58% этого разрыва было на сегодняшний день ликвидировано. Этот разрыв незначительно сократился после выпуска отчета 2020 года, и в результате по оценкам Индекса для его устранения потребуется еще 267,6 года.

Разработка и осуществление торговой политики, учитывающей гендерные аспекты, может способствовать обеспечению гендерного равенства, в том числе посредством соглашений ВТО, разработанных с учетом гендерных особенностей. Политика может также охватывать финансовые и нефинансовые стимулы, государственные закупки и наращивание торгового потенциала. Непропорциональное воздействие пандемии на женщин-предпринимателей и трудящихся привело к призывам к активизации инициатив на местном, национальном и региональном уровнях. С 2016 года Секретариат ВТО работает над включением гендерных вопросов в свою повестку дня на основе Плана действий по торговле и гендерным вопросам на 2017-2020 годы и последующего плана на 2021-2026 годы. Эта работа проводится Отделом ВТО по торговле и гендерным вопросам, целями которого являются содействие работе членов, проведение исследований с помощью Центра гендерных исследований ВТО, поддержка реформы Помощи в торговле, обучение правительственных чиновников и женщин-предпринимателей, а также повышение осведомленности о связях между торговлей и гендерным равенством. Члены ВТО все чаще учитывают эти аспекты в своих Обзорах торговой политики, было организовано большое количество исследований и семинаров для дальнейшего информирования о работе в ВТО.

Центр гендерных исследований ВТО был создан 31 мая 2021 г. для расширения сотрудничества и обмена информацией между исследователями в области торговли и гендерной проблематики. Центр также стал платформой для диалога между

исследователями и Неофициальной рабочей группой по торговле и гендерным вопросам, созданной в ВТО в сентябре 2020 года. Основными участниками Исследовательского центра ВТО являются Организация экономического сотрудничества и развития, Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию, Международный валютный фонд, Группа Всемирного банка, Центр международной торговли, Экономическая комиссия ООН для Латинской Америки и Карибского бассейна, участники академических кафедр ВТО Программы, а также ряд ученых из различных стран и регионов. Другие эксперты будут приглашены принять участие на специальной основе.

“Я считаю, что запуск этой инициативы особенно важен сегодня из-за экономических и социальных потрясений, с которыми столкнулись миллионы женщин по всему миру из-за пандемии COVID-19”, - заявила координатор ВТО по торговле и гендерным вопросам Ануш дер Богосян, которая координирует деятельность Центра и вносит значительный вклад в этот процесс [4].

Центр позволит обмениваться информацией о торговых и гендерных исследованиях, развивать исследовательские партнерства и продвигать сравнительные исследования между регионами. Будут приняты меры для того, чтобы информация была общедоступной в Интернете. Основной целью работы Центра является создание основы для дискуссий между органами ВТО, включая Неофициальную рабочую группу ВТО по торговле и гендерным вопросам. Кроме того, его деятельность направлена на поддержку усилий по сбору финансирования исследований и подведению итогов усилий каждые два года в рамках международной исследовательской конференции.

1 января 2018 года Европейский союз (ЕС), Организация "ООН-женщины" и Международная организация труда (МОТ) начали трехлетнюю программу "МЫ РАСШИРЯЕМ ВОЗМОЖНОСТИ: содействие расширению экономических прав и возможностей женщин на рабочем месте посредством ответственного ведения бизнеса в странах G7" [5]. Этот проект направлен на поддержку устойчивого, инклюзивного и справедливого экономического роста путем содействия расширению экономических прав и возможностей женщин в государственном и частном секторах в странах G7 и может являться примером попытки сокращения гендерного разрыва. Партнеры по программе будут способствовать продвижению гендерной повестки дня G7 путем проведения диалогов с участием многих заинтересованных сторон и обмена знаниями об опыте, извлеченных уроках и передовой практике в ключевых областях занятости, равной оплаты за труд равной ценности, баланса между работой и личной жизнью, ухода за детьми и инвестирования с учетом гендерных факторов.

"Большая семерка" признает, что гендерная повестка- это один из ключевых факторов инновационного роста и создания рабочих мест, частный сектор играет решающую роль в создании условий, в которых женщины могут более активно участвовать в экономике. Для достижения этой цели были выдвинуты конкретные задачи.

Проект направлен на поддержку устойчивого и справедливого экономического роста путем содействия расширению прав и возможностей женщин в государственном и частном секторах в странах G7. Для этого в рамках проекта будет применен двухступенчатый подход:

Направление 1: Диалоги по вопросам политики и управление знаниями между странами G7.

Направление 2: Вовлечение частного сектора с учетом Руководящей платформы проекта «Принципы расширения прав и возможностей женщин для устранения гендерного неравенства», с которым сталкиваются работающие женщины.

250 лучших практик и тематических исследований, которые будут подготовлены в рамках программы, поспособствуют реализации Дорожной карты G7 по созданию экономической среды, учитывающей гендерные аспекты. Дорожная карта G7 была принята на Саммите 2017 года в Таормине. Кроме того, программа способствует укреплению связей между ассоциациями женщин-предпринимателей в Европе и ассоциациями женщин-предпринимателей в странах "Большой семерки". Программа предусматривает расширение деловых контактов 400 женщин-предпринимателей в странах "Большой семерки". Поскольку многие многонациональные корпорации имеют свои штаб-квартиры в странах G7, создание положительных примеров и результатов для расширения экономических прав и возможностей женщин на самом высоком уровне в корпорациях может иметь важные волновые эффекты для их международных торговых операций и цепочек поставок по всему миру.

В рамках программы "МЫ РАСШИРЯЕМ ВОЗМОЖНОСТИ" партнеры вносят свой вклад в продвижение гендерного равенства во всем мире с помощью передовой практики. Программа ставит расширение экономических прав и возможностей женщин в центр повестки дня "Будущее труда" и поможет укрепить связи между ассоциациями женщин-предпринимателей в Европе и ассоциациями других стран G7.

Таким образом, целый ряд международных и национальных организаций принял документы о расширении прав и возможностей женщин в экономике, в том числе и в сфере международной торговли, однако гендерные различия всё ещё сохраняются на пути построения инклюзивной и процветающей экономики и общества.

## Литература

1. Isabel Coche, Barbara Kotschwar, José Manuel Salazar-Xirinachs. Gender Issues in Trade Policy-Making\\ [http://www.sice.oas.org/genderandtrade/genderissuesintp\\_e.asp](http://www.sice.oas.org/genderandtrade/genderissuesintp_e.asp)
2. Women and trade  
\\https://www.wto.org/english/thewto\_e/minist\_e/mc12\_e/briefing\_notes\_e/bfwomen\_and\_trade\_e.htm
3. Global Gender Gap Report 2021. Insight Report. March 2021\\[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GGGR\\_2021.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GGGR_2021.pdf)
4. WTO launches Gender Research Hub to promote cooperation on trade and gender issues\\ [https://www.wto.org/english/news\\_e/news21\\_e/iwgtg\\_31may21\\_e.htm](https://www.wto.org/english/news_e/news21_e/iwgtg_31may21_e.htm)
5. WE EMPOWER G7\\<https://www.empowerwomen.org/en/projects/we-empower-g7>

## ФОРМИРОВАНИЕ НОВОГО ОТНОШЕНИЯ МИРОВОГО СООБЩЕСТВА К ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Дронишинец Ю.А.

*ФГБОУ ВО Дипломатическая академия МИД России, Москва*

[julia.dr01@gmail.com](mailto:julia.dr01@gmail.com)

**Аннотация:** В статье проанализированы документы ООН об изменении климата, Конвенция о биологическом разнообразии, Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием, Цели устойчивого развития ООН. Исследование показало, что изменение климата – это вызов для всего человечества. Автор пришел к выводу, что целый ряд стран, международных организаций приняли новые стратегии, меры и действия для решения проблемы изменения климата и участия в глобальном управлении климатом. В результате происходит формирование приоритетного отношения мирового сообщества к окружающей среде, формируются предпосылки нового вектора развития.

**Ключевые слова:** изменение климата, глобальные экологические проблемы, нехватка природных ресурсов, экологические вызовы.

Анализ Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Парижского соглашения, Конвенции о биологическом разнообразии, Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием, Целей устойчивого развития и других международных документов показывает, что *изменение климата — это вызов для всего человечества*. Устойчивое развитие всех наций и будущее планеты зависят от успешного решения этой проблемы. Фактически все страны мира придают большое значение своему реагированию на изменение климата. Глобальные экологические проблемы, в первую очередь, нехватка природных ресурсов и изменение климата в сочетании с политическими и социальными причинами ведут к дестабилизации ситуации в отдельных регионах мира и даже к вооруженным конфликтам. В ответ на глобальные экологические вызовы международное сообщество, государства и компании разрабатывают и реализуют природоохранные стратегии. Руководители и политические деятели многих стран рассматривают экологию как одно из центральных направлений своей политики. Природоохранный аспект становится все более важным фактором конкурентоспособности и стратегии развития международного бизнеса. Крупные компании меняют отношение к экологии и вместе с национальными правительствами активнее участвуют в разработке и реализации новой стратегии развития общества, ставшей насущной необходимостью [1].

В Глазго 13 ноября 2021 г. завершилась Конференция сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP26), в которой принимали участие почти 200 государств. Конференция продолжалась две недели, и потребовались дополнительные сутки для согласования итогового документа — Климатического пакта Глазго. Переговорщики от

разных стран боролись за каждое слово в пакте: так, Индия (второй в мире импортер угля) в последний момент попросила заменить в финальном тексте «постепенное прекращение» использования угля, увеличивающего чистые выбросы парниковых газов в атмосферу, на «постепенное сокращение». В итоговый документ также было добавлено уточнение — не любого угля, а только такого, который не предусматривает нивелирования вредных выбросов через технологии улавливания углекислого газа. Иными словами, призыв «ускорить усилия» по сокращению использования угля в энергогенерации не распространился на уголь, совмещаемый с технологией улавливания и хранения углерода.

Часть стран подписали соглашение о переходе от использования угольных электростанций к чистой энергии. Главным инициатором соглашения была хозяйка саммита Великобритания. К договоренности присоединились около 50 стран, а также компании и организации. Впрочем, среди подписавших ее нет таких крупных потребителей угля, как Россия, Китай, США (к соглашению присоединились лишь два штата – Гавайи и Орегон, а также некоторые американские компании).

Тем не менее, даже со смягченными формулировками обещание двигаться к миру без сжигания угля и без углеводородных субсидий является «историческим и беспрецедентным», отметил научно-популярный журнал *New Scientist*. Климатический пакт признает, что для достижения «цели 1,5 градуса Цельсия» потребуется сократить общемировые выбросы углекислого газа на 45% к 2030 году относительно уровня 2010-го и довести чистые выбросы до нуля примерно к середине текущего столетия.

По оценкам независимой научной организации *Climate Action Tracker*, обещания, данные сторонами на COP26, позволят лишь ограничить глобальное потепление уровнем 2,4 градуса Цельсия к концу века — это лучше, чем 2,7 градуса Цельсия, прогнозировавшиеся до конференции, но явно недостаточно для достижения целей, поставленных Парижским соглашением [2].

Обязательство стать углеродно – нейтральными к 2060 году взяли на себя Китай, Индия, Россия. Россия приняла Стратегию низкоуглеродного развития до 2050 года. *В 2020–2021 годах в России произошла настоящая зеленая революция*. Давний скепсис по отношению к глобальному потеплению отступил – слишком очевидны стали локальные проявления последнего. Частые и разрушительные наводнения на Дальнем Востоке, обвалы зданий на Крайнем Севере, техногенные аварии из-за таяния вечной мерзлоты, острые засухи в южных регионах – все это непрерывно намекало, что конспирологических объяснений борьбы с изменением климата становится явно недостаточно. В результате Россия четко сформулировала свои климатические приоритеты, впервые включила климатические угрозы в Стратегию национальной безопасности, приняла индикативный

план по достижению целей, заявленных в низкоуглеродной стратегии, а также инициировала первые проекты в области зеленого перехода [3].

Декларация лидеров 141 страны мира в Глазго о лесах и землепользовании гласит о необходимости коллективно работать над тем, чтобы *остановить и обратить вспять потерю лесов и деградацию земель к 2030 году*, обеспечивая при этом устойчивое развитие и способствуя инклюзивным преобразованиям в сельских районах. Лидеры этой группы стран обязались содействовать политике в области торговли и развития на международном и внутреннем уровнях, которая способствует устойчивому развитию и устойчивому производству и потреблению сырьевых товаров, которые работают на взаимную выгоду стран и которые не приводят к обезлесению и деградации земель. Главы этих государств обязались снизить уязвимость, повысить устойчивость и улучшить условия жизни в сельских районах, в том числе, за счет расширения прав и возможностей общин, развития прибыльного, устойчивого сельского хозяйства и признания многочисленных ценностей лесов при одновременном признании прав коренных народов, а также местных общин, в соответствии с национальным законодательством и международными документами [4].

На конференции в Глазго два главных эмитента парниковых газов, США и Китай, подписали декларацию о сотрудничестве в борьбе с изменениями климата, что стало неожиданностью для мирового сообщества. Страны обязуются в следующие девять лет вместе бороться за то, чтобы средняя температура на планете выросла не больше чем на 1,5 градуса Цельсия. Как сообщил глава китайской делегации Се Чженьхуа, достижению договоренности предшествовали 30 виртуальных встреч с американцами в течение десяти месяцев. В частности, две державы договорились о совместных шагах в сокращении выбросов метана, при том, что к глобальному соглашению в этой сфере Китай не присоединился. Соединенные Штаты и Китай намерены созвать совещание в первой половине 2022 года, чтобы сосредоточиться на особенностях улучшения измерений и смягчения последствий выбросов метана, в том числе с помощью стандартов по сокращению выбросов метана из секторов ископаемых и отходов, а также стимулов и программ по сокращению выбросов метана из сельскохозяйственного сектора. Соединенные Штаты поставили перед собой цель достичь 100 %-ной выработки электроэнергии, не загрязняющей окружающую среду, к 2035 году. Китай постепенно сократит потребление угля в течение 15-й пятилетки и приложит все усилия для ускорения этой работы [5, 8].

Еще один пример формирования нового отношения мирового сообщества к окружающей среде – это *подписанный в Милане в 2015 г. пакт о городской продовольственной политике*, объединяющий мэров из Банжула и Барселоны, Киото и

Кито в поисках решений на местном уровне с целью положить конец крайней нищете и недоеданию, сократить пищевые отходы и адаптироваться к изменению климата. Города занимают всего 3 % суши на Земле, но в них проживает около 3,5 миллиарда человек - то есть более половины всего человечества. И эти цифры растут. Стремительная урбанизация оказывает давление на продовольственные системы и природные ресурсы, создавая необходимость поиска новых решений, которые делают города более открытыми, безопасными и устойчивыми.

7-й Глобальный форум Миланского Пакта о городской продовольственной политике прошел в Барселоне с 19 по 21 октября 2021 г. Мероприятие проходило под девизом "Растущая устойчивость: устойчивое питание для решения чрезвычайной климатической ситуации" и станет отличной возможностью для (повторного) подключения, обмена опытом, проблемами, знаниями и передовым опытом, чтобы вдохновляться общей целью улучшения наших городских продовольственных систем при решении чрезвычайной климатической ситуации [6,7].

Уже сейчас многие города реагируют на вызовы изменения климата и стремительной урбанизации. Некоторые из них уже сегодня внедряют инициативы по сокращению пищевых отходов или проекты, направленные на преобразование городских продовольственных пустынь в центры местной свежей продукции. Все в большей степени города становятся центрами производства продуктов питания, способствуя улучшению доступа к здоровой и недорогой пище в результате экономии на транспортировке. Это может внести существенный вклад в продовольственную безопасность домохозяйств, особенно в периоды кризиса или нехватки продовольствия. Города также находят нестандартные пути сокращения пищевых отходов и борьбы с голодом, трансформируя продовольственные остатки и хорошие, но неказистого внешнего вида продукты в питательные блюда для уязвимых граждан.

Таким образом, целый ряд стран, международных организаций приняли новые стратегии, меры и действия для решения проблемы изменения климата и участия в глобальном управлении климатом. *В результате происходит формирование приоритетного отношения мирового сообщества к окружающей среде, формируются предпосылки нового вектора развития.* Все эти усилия позволяют достичь целей Парижского соглашения, включая снижение уязвимости к последствиям изменения климата и удержание повышения глобальной средней температуры значительно ниже 2°C и продолжение усилий по ограничению ее до 1,5°C. Вместе государства смогут добиться успеха в борьбе с изменением климата, обеспечении устойчивого и инклюзивного роста, а также остановке и обращении вспять процесса утраты лесов и деградации земель.

## Литература

1. Пискулова Н.А. Экологический вектор развития мировой экономики. Автореферат дис. доктор экономических наук: 08.00.14 - Мировая экономика. Москва. 2011. 52 с.
2. Лихачева А. Встреча зеленых пессимистов. Чего добивается Россия на климатическом саммите в Глазго. – URL: <https://carnegie.ru/commentary/85687> (дата обращения: 11.12.2021).
3. О чем 200 стран договорились по итогам климатического саммита в Глазго: . – URL: <https://www.rbc.ru/economics/15/11/2021/618e742f9a794783e59910b8> (дата обращения: 12.12.2021).
4. Glasgow leaders' declaration on forests and land use. - URL <https://ukcop26.org/glasgow-leaders-declaration-on-forests-and-land-use/> (дата обращения: 13.12.2021).
5. An official website of the United States Government. U.S.- China Joint Glasgow Declaration on Enhancing Climate Action in the 2020s. –URL: <https://www.state.gov/u-s-china-joint-glasgow-declaration-on-enhancing-climate-action-in-the-2020s/> (дата обращения: 11.12.2021).
6. Feeding the cities of the future. – URL: <https://www.fao.org/news/story/en/item/446763/icode/> (дата обращения: 13.12.2021).
7. FAO. 2021. Climate-smart agriculture case studies 2021 – Projects from around the world. Rome. - URL:<https://doi.org/10.4060/cb5359en> (дата обращения: 13.11.2021).
8. Responding to Climate Change: China's Policies and Actions. The State Council Information Office of the People's Republic of China. October 2021. – URL: <http://www.scio.gov.cn/zfbps/32832/Document/1715506/1715506.htm> (дата обращения: 10.12.2021)

## ФОРМИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ И НАЦИОНАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ СРЕДСТВАМИ КРАЕВЕДЕНИЯ

**Жданов А.О.**

*Член клуба «Новоуральский краевед», г. Новоуральск*

[Jdan.projekt@gmail.com](mailto:Jdan.projekt@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассмотрены возможности использования краеведения в соответствии со Стратегией развития воспитания в Свердловской области до 2025 года.

**Ключевые слова:** краеведение, национальная идентичность, патриотическое воспитание, региональная идентичность.

Включение в школьный курс регионального компонента «Краеведение» как самостоятельной дисциплины вызвало неоднозначную реакцию среди учителей-предметников. Если еще недавно вопрос включения регионального компонента в школьный курс решался сотрудничеством образовательного учреждения с учреждениями культуры (библиотеки, музеи), то в настоящее время многие учреждения среднего образования испытывают дефицит в учителе дисциплины «Краеведение», который смог бы на постоянной основе вести уроки с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта – 2021. Основными трудностями, с которыми столкнулись общеобразовательные организации стали:

- отсутствие учебника и готовых рабочих тетрадей по дисциплине «Краеведение»;
- отсутствие методических разработок по проведению указанного урока;
- достоверность исторических фактов об истории своего края, города.

Если обратиться к нормативным документам в Свердловской области, то можно увидеть, что 7 декабря 2017 года было утверждено Постановление «Об утверждении Стратегии развития воспитания в Свердловской области до 2025 года». Указанный документ предусматривает следующее термина «региональная идентичность». Региональная идентичность – осознание человеком себя как части регионального сообщества, самоощущение принадлежности к определенной территориальной целостности. Таким образом, формирование региональной идентичности является одной из ступеней формирования национальной идентичности. Национальная идентичность не является прирожденной чертой. Она проистекает из приобретённого осознания общности культуры, истории, языка с определённой группой людей. К этому может добавиться чувство принадлежности к определённому государству, приверженность его государственной идентичности, национальной идее и государственным символам. Для достижения результатов Стратегии развития патриотического воспитания, по мнению

автора, является включение дисциплины «Краеведение» в школьный курс учебных дисциплин при соблюдении «единства» источников краеведческой информации,

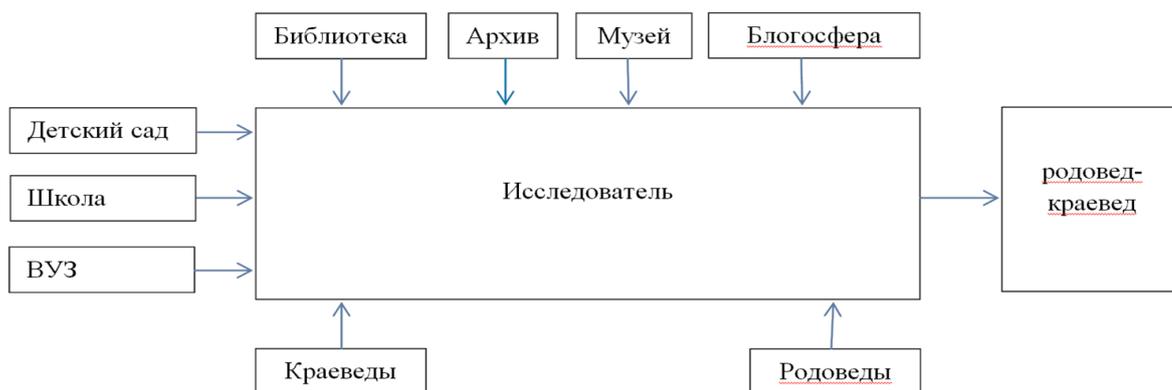


Рисунок 1

Стратегическими направлениями развития системы воспитания являются:

1. развитие семейного воспитания;
2. развитие воспитания в системе образования;
3. расширение воспитательных возможностей информационных ресурсов;
4. поддержка общественных объединений в сфере воспитания (в том числе Российского движения школьников);
5. гражданское воспитание;
6. патриотическое воспитание и формирование российской идентичности;
7. духовное и нравственное воспитание детей на основе российских традиционных ценностей;
8. приобщение детей к культурному наследию;
9. популяризация научных знаний среди детей;
10. физическое развитие и формирование культуры здоровья;
11. трудовое воспитание и профессиональное самоопределение;
12. экологическое воспитание.

Ниже представлены основные положения в реализации Стратегии развития воспитания в Свердловской области до 2025 года, рассматривающие вопросы краеведения – как пути к формированию региональной идентичности.

**Направление 1 «Развитие семейного воспитания».** Поддержка семейного воспитания включает:

- 1) содействие развитию культуры семейного воспитания детей на основе традиционных семейных духовно-нравственных ценностей;
- 2) возрождение значимости больших многопоколенных семей, профессиональных династий;

3) расширение инфраструктуры семейного отдыха, семейного образовательного туризма и спорта, включая организованный отдых в каникулярное время.



Рисунок 2

**Направление 2 «Развитие воспитания в системе образования».** Поддержка развития воспитания в системе образования предполагает:

1) обновление содержания воспитания, внедрение форм и методов, основанных на лучшем педагогическом опыте в сфере воспитания и способствующих совершенствованию и эффективной реализации воспитательного компонента федеральных государственных образовательных стандартов, а также рабочих программ воспитания;

2) полноценное использование в образовательных программах воспитательного потенциала учебных дисциплин, в том числе гуманитарного, естественнонаучного, социально-экономического профилей;

3) содействие разработке и реализации программ воспитания обучающихся в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, которые направлены на повышение уважения детей друг к другу, семье и родителям, учителю, старшим поколениям, а также на подготовку личности к семейной и общественной жизни, трудовой деятельности;

4) развитие вариативности воспитательных систем и технологий, нацеленных на формирование индивидуальной траектории развития личности ребенка с учетом его потребностей, интересов и способностей;

5) использование чтения, в том числе семейного, для познания мира и формирования личности;

6) совершенствование условий для выявления и поддержки одаренных детей;

7) развитие форм включения детей в интеллектуально-познавательную, творческую, трудовую, общественно полезную, художественно-эстетическую, физкультурно-спортивную, игровую деятельность, в том числе на основе использования потенциала системы дополнительного образования детей и других организаций сферы физической культуры и спорта, культуры;

- 8) создание условий для повышения у детей уровня владения русским языком, языками народов России, иностранными языками, навыками коммуникации;
- 9) знакомство с лучшими образцами мировой и отечественной культуры.



Рисунок 3

**Направление 3 «Расширение воспитательных возможностей информационных ресурсов».** Поддержка расширения воспитательных возможностей информационных ресурсов предусматривает:

- 1) создание условий, методов и технологий для использования возможностей информационных ресурсов, в первую очередь сети Интернет, в целях воспитания и социализации детей;
- 2) информационное организационно-методическое оснащение воспитательной деятельности в соответствии с современными требованиями;
- 3) воспитание в детях умения совершать правильный выбор в условиях возможного негативного воздействия информационных ресурсов;
- 4) обеспечение условий защиты детей от информации, причиняющей вред их здоровью и психическому развитию.



Рисунок 4

**Направление 4 «Поддержка общественных объединений в сфере воспитания (в том числе Российского движения школьников)».** Поддержка общественных объединений в сфере воспитания предусматривает:

- 1) улучшение условий для эффективного взаимодействия детских и иных общественных объединений с образовательными организациями общего, профессионального и дополнительного образования в целях содействия реализации и

развития лидерского и творческого потенциала детей, а также другими организациями, осуществляющими деятельность с детьми в сферах физической культуры и спорта, культуры и иных сферах;

2) поддержку общественных объединений, содействующих воспитательной деятельности в образовательных и иных организациях;

3) привлечение детей к участию в социально значимых познавательных, творческих, культурных, краеведческих, спортивных и благотворительных проектах, волонтерском движении.



Рисунок 5

**Направление 5 «Гражданское воспитание».** Гражданское воспитание включает:

1) создание условий для воспитания у детей активной гражданской позиции, гражданской ответственности, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества;

2) формирование приверженности идеям интернационализма, дружбы, равенства, взаимопомощи народов;

3) воспитание уважительного отношения к национальному достоинству людей, их чувствам, религиозным убеждениям;

4) развитие в детской среде ответственности, принципов коллективизма и социальной; солидарности;

5) разработку и реализацию программ воспитания, способствующих правовой, социальной и культурной адаптации детей, в том числе детей из семей мигрантов.



Рисунок 6

**Направление 6 «Патриотическое воспитание и формирование российской идентичности».** Патриотическое воспитание детей и молодежи на региональном уровне предусматривает:

1) создание системы комплексного методического сопровождения деятельности педагогов и других работников, участвующих в воспитании подрастающего поколения, по формированию российской гражданской идентичности;

2) формирование у детей патриотизма, чувства гордости за свою Родину, готовности к защите интересов Отечества, ответственности за будущее России на основе развития программ патриотического воспитания детей, в том числе военно-патриотического воспитания;

3) повышение качества преподавания гуманитарных учебных предметов, обеспечивающего ориентацию обучающихся в современных общественно-политических процессах, происходящих в России и мире, а также осознанную выработку собственной позиции по отношению к ним на основе знания и осмысления истории, духовных ценностей и достижений нашей страны;

4) развитие у подрастающего поколения уважения к таким символам государства, как герб, флаг, гимн Российской Федерации, государственным символам Свердловской области, историческим символам и памятникам Отечества и малой родины;

5) развитие поисковой и краеведческой деятельности, детского познавательного туризма.

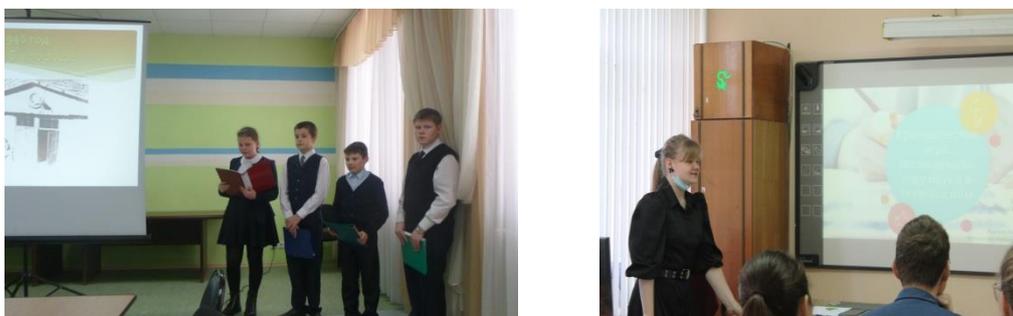


Рисунок 7

**Направление 7 «Духовное и нравственное воспитание детей на основе российских традиционных ценностей».** Духовно-нравственное развитие осуществляется за счет:

1) развития у детей нравственных чувств (чести, долга, справедливости, милосердия и дружелюбия);

2) формирования выраженной в поведении нравственной позиции, в том числе способности к сознательному выбору добра;

3) содействия формированию у детей позитивных жизненных ориентиров и планов.



Рисунок 8

**Направление 8 «Приобщение детей к культурному наследию».** Приобщение детей к культурному наследию малой и большой родины предполагает:

1) эффективное использование уникального российского культурного наследия, в том числе литературного, музыкального, художественного, театрального и кинематографического;

2) создание равных для всех детей возможностей доступа к культурным ценностям;

3) воспитание уважения к культуре, языкам, традициям и обычаям народов Российской Федерации;

4) увеличение доступности детской литературы для семей, приобщение детей к классическим и современным высокохудожественным отечественным и мировым произведениям искусства и литературы;

5) создание условий для доступности музейной и театральной культуры для детей;

6) развитие музейной и театральной педагогики;

7) поддержку мер по созданию и распространению произведений искусства и культуры, проведению культурных мероприятий, направленных на популяризацию российских культурных, нравственных и семейных ценностей;

8) создание и поддержку производства художественных, документальных, научно-популярных, учебных и анимационных фильмов, направленных на нравственное, гражданско-патриотическое и общекультурное развитие детей;

9) повышение роли библиотек, в том числе библиотек в системе образования, в приобщении к сокровищнице мировой и отечественной культуры, в том числе с использованием информационных технологий;

10) создание условий для сохранения, поддержки и развития этнических культурных традиций и народного творчества.



Рисунок 9

**Направление 9 «Популяризация научных знаний среди детей».** Популяризация научных знаний среди детей подразумевает:

- 1) содействие повышению привлекательности науки для подрастающего поколения, поддержку научно-технического творчества детей;
- 2) создание условий для получения детьми достоверной информации о передовых достижениях и открытиях мировой и отечественной науки, повышения заинтересованности подрастающего поколения в научных познаниях об устройстве мира и общества.



**Направление 10 «Физическое развитие и формирование культуры здоровья».** Физическое развитие и формирование культуры здоровья детей на региональном уровне предполагает:

- 1) формирование у подрастающего поколения ответственного отношения к своему здоровью и потребности в здоровом образе жизни;
- 2) содействие проведению массовых общественно-спортивных мероприятий и привлечение к участию в них детей.



Рисунок 11

### **Направление 11 «Трудовое воспитание и профессиональное самоопределение».**

Трудовое воспитание и профессиональное самоопределение детей и молодежи на региональном уровне предполагают:

- 1) воспитание у детей уважения к труду и людям труда, трудовым достижениям;
- 2) развитие навыков совместной работы, умения работать самостоятельно, мобилизуя необходимые ресурсы, правильно оценивая смысл и последствия своих действий;
- 3) содействие профессиональному самоопределению, приобщение детей к социально значимой деятельности для осмысленного выбора профессии.

**Направление 12 «Экологическое воспитание».** Экологическое воспитание включает:

- 1) развитие у детей и их родителей экологической культуры, бережного отношения к родной земле, природным богатствам Урала, России и мира;
- 2) воспитание чувства ответственности за состояние природных ресурсов, умений и навыков разумного природопользования, нетерпимого отношения к действиям, приносящим вред экологии.

С методическими авторскими разработками краеведческих игр, квестов, фестивалей можно познакомиться в сборниках Колпинских краеведческих чтений по краеведению и туризму, размещенных на сайте Ресурсного центра дополнительного образования Санкт-Петербурга [1].

#### Литература

1. Колпинские чтения по краеведению и туризму. - URL:[http://rc-dtdm.spb.ru/?page\\_id=1281](http://rc-dtdm.spb.ru/?page_id=1281) (дата обращения: 19.12.2021 г.)
2. Постановление от 07.12.2017 г. №900-ПП Правительства Свердловской области 2Об утверждении Стратегии развития воспитания в Свердловской области до 2025 года». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/446498752> (дата обращения: 19.12.2021 г.)

**II АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ  
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ  
ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ЭКОНОМИКЕ  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

**АЛГОРИТМ БЕЗДАТЧИКОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВУНАПРАВЛЕННОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**Александров И. В.**

*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,*

*Новосибирск*

[alexandrov.i2018@gmail.com](mailto:alexandrov.i2018@gmail.com)

**Аннотация:** показан алгоритм управления выходными токами и напряжением звена постоянного тока активного, параллельного с сетью преобразователя для четырехпроводных сетей. Показана структурная схема алгоритма и выражение, из которого она следует. Анализ алгоритма управления произведен с помощью имитационного моделирования в среде *Matlab/Simulink* и на экспериментальном макете. Результаты исследования подтверждают работоспособность алгоритма.

**Ключевые слова:** алгоритм управления выходными токами и напряжением, четырехпроводная сеть переменного тока, способ обеспечения синхронизации, имитационное моделирование.

Двунаправленный преобразователь, подключенный параллельно сети переменного тока, в настоящее время находит применение в электроэнергетике для построения на его основе накопителей электрической энергии для обеспечения безаварийной работы генераторов электрической энергии с высокой инерцией таких как атомные электростанции, в качестве активного компенсатора реактивной мощности, активного силового фильтра высших гармоник тока нелинейной нагрузки [1-2].

Такой преобразователь, для случая четырехпроводных распределительных сетей, представляет собой инвертор напряжения с дополнительной транзисторной стойкой и накопителем энергии в звене постоянного тока (ЗПТ), подключаемый к сети переменного тока через малое сопротивление фазных дросселей и дросселя нулевого проводника [3].

Управление преобразователя преимущественно осуществляется путем формирования кривых тока фазных дросселей в зависимости от задачи, устанавливаемой в алгоритме управления [4]. Основные из них: формирование тока в противофазе с напряжением сети (сброс энергии в сеть), заряд и поддержание заданного напряжения на накопителе в ЗПТ, формирование тока высших гармоник нелинейной нагрузки, формирование реактивного тока нелинейной нагрузки [5]. Для решения указанных задач используются дополнительные алгоритмы, позволяющие осуществить оценку угла поворота от начала координат или формы кривых фазных напряжений сети для

синхронизации работы контура тока с электрической сетью, на рисунке 1 показан алгоритм синхронизации фазных токов с использованием вектора сетевого напряжения [6].

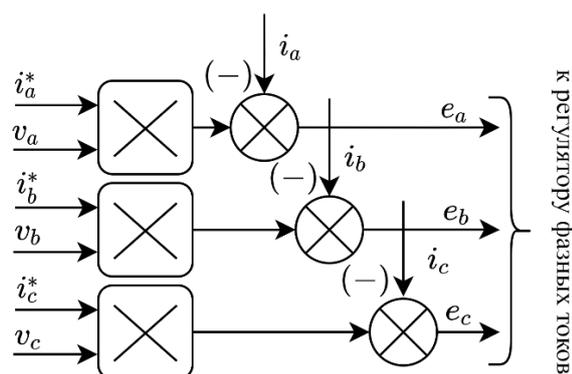


Рисунок 1 – Пример алгоритма синхронизации фазных токов с сетевым напряжением

В данной работе рассмотрен способ обеспечения синхронизации, основанный на способе, представленном на рисунке 1 без использования датчиков сетевого напряжения.

### Способ синхронизации без датчиков сетевого напряжения

Показанный на рисунке 1 способ основывается на умножении сигнала задания на фазный ток ( $i_a^*$ ,  $i_b^*$ ,  $i_c^*$ ), представляющего собой амплитудное значение желаемого тока фазного дросселя на соответствующий направляющий сигнал ( $v_a$ ,  $v_b$ ,  $v_c$ ), имеющий синусоидальную форму, единичную амплитуду и желаемый фазовый сдвиг относительно соответствующего фазного напряжения сети. Для минимизации реактивной мощности фазовый сдвиг этих сигналов выбирается равным нулю или  $-180^\circ$ . Получить такой сигнал возможно напрямую из информации о сетевом напряжении.

Таким образом, задачей предлагаемого алгоритма управления является оценка кривой фазного напряжения по измерению токов фазных дросселей, напряжения звена постоянного тока и модулирующим сигналам, полученным на выходе регуляторов фазных токов по цифровой математической модели инвертора по следующему соотношению:

$$v_n[k] = \frac{1}{E_1} \cdot \left( L \cdot \frac{(i_{\phi n}[k] - i_{\phi n}[k-1]) + (i_N[k] - i_N[k-1])}{T_k} + \frac{m_n[k-1] \cdot u_k[k]}{2} \right) \quad (1)$$

где  $n$  – индекс фазы  $a, b, c$ ;

$N$  – индекс фазного проводника;

$k$  – номер такта расчета;

$T_k$  – период расчета;

$E_1$  – амплитуда основной гармоники сетевого напряжения;

$L = L_a = L_b = L_c = L_N$  – индуктивности фазных дросселей и нулевого;

$i_N[k] = i_a[k] + i_b[k] + i_c[k]$ ,  $u_k[k]$  – измеренное напряжение звена постоянного тока;

$m_n[k-1]$  – выход регулятора фазного тока на предыдущем такте расчёта.

Если в схеме отсутствует дроссель в нулевом проводе, то из вычислений исключаются все переменные, относящиеся к его току. На рисунке 2 показана блок-схема алгоритма, построенная по **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

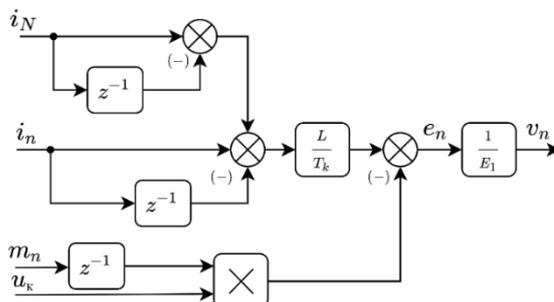


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма синхронизации

Величина  $E_1$  может быть получена по следующему соотношению

$$E_1 = \sqrt{e_a^2[k] + e_b^2[k] + e_c^2[k]} \quad (2)$$

где  $e_{a,b,c}[k]$  – оценки фазных ЭДС сети на  $k$ -ом такте работы преобразователя.

### Оценка работоспособности алгоритма

Оценка работоспособности алгоритма была произведена моделированием в среде *Matlab/Simulink* и с использованием макетного образца инвертора, подключенного параллельно сети. Компьютерное моделирование позволило оценить работоспособность алгоритма управления при условиях максимально приближенных к реальным, а реализация алгоритма в макете позволила продемонстрировать работоспособность алгоритма в целом.

В таблице 1 показаны параметры модели, использованные при проверочном моделировании системы.

Таблица 1

Параметры модели

Шаг моделирования, с	$5 \cdot 10^{-7}$
Период коммутации преобразователя, с	$4 \cdot 10^{-5}$
Период расчета алгоритма, сек	$2 \cdot 10^{-5}$
Частота сетевого напряжения (номинальная), Гц	50,00
Напряжение сети (номинальное) ( $U_{сети}$ ), кВ	0,38
Напряжение звена постоянного тока ( $U_c$ ), В	760,00
Индуктивность сети ( $L_c$ ), мкГн	170,00
Индуктивность преобразователя ( $L_\phi$ ), мкГн	1070,00
Емкость фильтра на стороне постоянного тока ( $C$ ), мФ	3,00
Полоса пропускания контура тока ( $f_{c.i}$ ), кГц	3,40
Полоса пропускания контура напряжения ( $f_{c.u}$ ), кГц	0,30

На рисунке 3 показан процесс сброса энергии из звена постоянного тока в сеть путем регулирования напряжения звена постоянного тока. Полученный коэффициент гармоник тока составил  $K_T \approx 5\%$ , а  $\cos(\varphi) \approx 0,99$ .

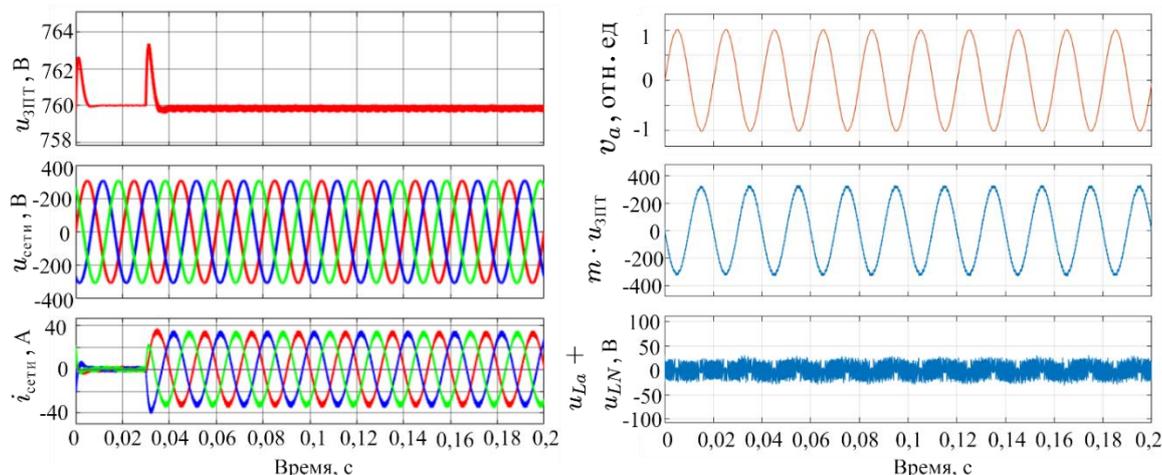


Рисунок 3 – Процесс сброса энергии в сеть, посредством управления напряжением на конденсаторе ЗПТ с помощью предлагаемого способа

На рисунке 4 показан процесс компенсации токов высших гармоник нелинейной нагрузки, подключенной к сети параллельно преобразователю. Данный режим характерен наличием высших гармоник (3-я, 5-я, 7-я, ...) в токах фазных дросселей ( $i_a, i_b, i_c$ ) и в модулирующих сигналах ( $m_a, m_b, m_c$ ).

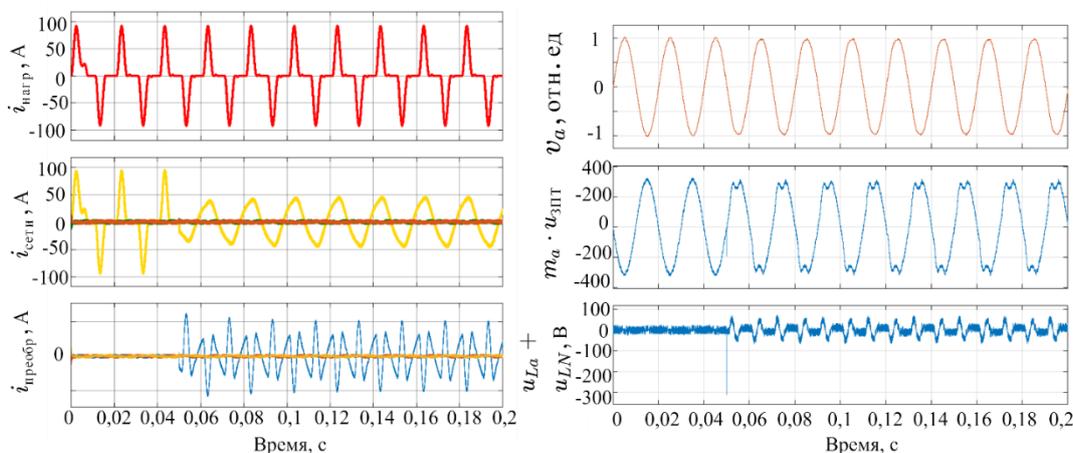


Рисунок 4 – Процесс работы активного силового фильтра с предложенным способом синхронизации

Как видно из показанных осциллограмм, сигнал синхронизации  $u_a$  сохраняет синусоидальную форму даже при наличии высших гармоник в сигналах токов дросселей ( $i_a, i_b, i_c$ ) и модулирующего сигнала ( $m_a, m_b, m_c$ ).

При экспериментальной проверке с использованием макета преобразователя были получены осциллограммы токов и напряжений сети, нагрузки и преобразователя, показанные на рисунке 4. Подключение к сети осуществлялось через трехфазный трансформатор с выводом нулевой точки вторичной обмотки, напряжение на вторичной

обмотке ( $U_{сети}$ ) составило 15 В, напряжение ЗПТ ( $U_c$ ) составило 40 В. Остальные параметры идентичны представленным в таблице 1.

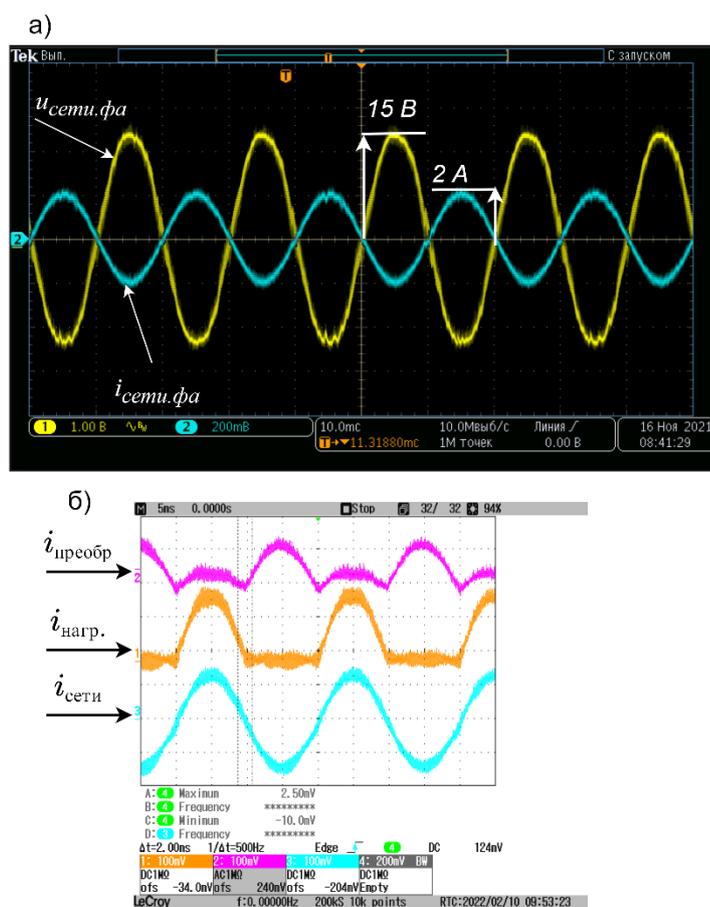


Рисунок 4 – Экспериментальные зависимости токов и напряжений (а – режим сброса электроэнергии в сеть, б – режим активного силового фильтра)

В работе представлен алгоритм бездатчиковой синхронизации двунаправленного преобразователя с четырехпроводной сетью переменного тока основанный на потактовой оценке направляющего вектора по встроенной математической модели. Показанный способ позволяет осуществить регулирование токов дросселей в системе параллельного с сетью преобразователя и напряжения звена постоянного тока, тем самым позволяет реализовать режимы сброса электрической энергии в сеть, регулирования напряжения на накопительном конденсаторе и режим активного силового фильтра.

При проведении имитационного моделирования преобразователя с таким алгоритмом синхронизации было показано, что обеспечивается низкий коэффициент гармоник тока сети (равный или менее 5%) и заданный фазовый сдвиг фазного тока относительно сетевого напряжения. Алгоритм сохраняет устойчивость и при наличии высших гармоник в токах дросселя и в модулирующем сигнале. Полученные выводы подтверждены экспериментально.

## Литература

1. Крамской, Ю. Г. Интеграция возобновляемых источников электроэнергии в электрические сети с применением силовой электроники / Ю. Г. Крамской // Энергия единой сети. – 2017. – № 1(30). – С. 54-68.
2. Гецман, Е. М. Применение систем накопления энергии в энергосистеме Республики Беларусь / Е. М. Гецман, Н. А. Попкова // Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник научно-технических статей конференции, Нижний Новгород, 17 декабря 2021 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2021. – С. 331-336. – DOI 10.46960/44170389\_2021\_331.
3. Патент на полезную модель № 207731 U1 Российская Федерация, МПК H02J 3/01, H02M 1/12. Трехфазный силовой фильтр высших гармоник тока: № 2021119910: заявл. 07.07.2021: опубл. 12.11.2021 / И. В. Александров, О. В. Нос.
4. Жуков, Н. А. Имитационное моделирование систем управления активными фильтрами / Н. А. Жуков // Электротехнические системы и комплексы. – 2017. – № 4(37). – С. 27-31. – DOI 10.18503/2311-8318-2017-4(37)-27-31.
5. Нос, О. В. Алгоритм управления выходными токами активного силового фильтра с использованием гиперкомплексных чисел / О. В. Нос, В. В. Панкратов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 33-39.
6. Blaabjerg F., Teodorescu R., Liserre M., Timbus A. V. Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics, № 53(5), 2006, pp. 1398–1409. doi:10.1109/TIE.2006.881997.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМОБИЛЯХ

**Матвеев В. Е.**

*МАУ ДО «СЮТ», Новоуральск*

[actorsieben@mail.ru](mailto:actorsieben@mail.ru)

**Аннотация:** в статье рассматриваются средства, применяемые в автопилотах автомобилей и их уровни автономности. Так же рассматриваются применяемые алгоритмы сегментации при использовании нейронных сетей.

**Ключевые слова:** беспилотный автомобиль, нейронная сеть, алгоритмы сегментации, автономность.

Беспилотный автомобиль — транспортное средство, оборудованное системой автоматического управления, которое может передвигаться без участия человека. Автопилот — устройство или программно-аппаратный комплекс, ведущий транспортное средство по определённой, заданной ему траектории. Наиболее часто автопилоты применяются для управления летательными аппаратами (в связи с тем, что полёт чаще всего происходит в пространстве, не содержащем большого количества препятствий), а также для управления транспортными средствами, движущимися по рельсовым путям [1]. Современный автопилот позволяет автоматизировать все этапы полёта или движения и другого транспортного средства.

Чтобы приехать в пункт назначения, беспилотный автомобиль должен знать маршрут, понимать окружающую обстановку, соблюдать ПДД и корректно взаимодействовать с пешеходами и другими участниками дорожного движения. Чтобы соответствовать этим требованиям, беспилотник использует следующие технологии [2]:

- Камеры: визуальное обнаружение объектов, например, дорожная разметка и знаки;
- Радар: определение препятствий и объектов впереди и сзади, а также определение расстояния до них;
- Лидар: похож на радар, но гораздо чётче и позволяет обнаруживать объекты вокруг автомобиля (полный обзор 360 градусов);
- AI (искусственный интеллект): мозг машины. Обработывает данные с камер и сенсоров, управляет автомобилем и принимает решения.

## **Уровни автономности**

Классификация автоматизации автомобилей разработана Сообществом автомобильных инженеров (SAE) и содержит шесть уровней или классов автономности [3]:

Уровень 0. Никакой автоматизации, водитель выполняет всю работу.

Уровень 1, «hands on», «помощь водителю». Водитель и система вместе управляют автомобилем. Пример: водитель рулит, а система регулирует мощность двигателя, сохраняя

заданную скорость (круиз-контроль) или регулирует мощность двигателя и управляет тормозом, сохраняя заданную скорость, а при необходимости снижая, чтобы соблюдать дистанцию (адаптивный круиз-контроль). Другим примером является автоматическая парковка (en:Automatic Parking), когда скорость определяется водителем, а руление автоматическое.

Уровень 2, «hands off», «частичная автоматизация». Система полностью управляет автомобилем, осуществляя ускорение, торможение и рулёжку. Водитель следит за ездой и готов вмешаться в любой момент, если система не может правильно отреагировать. Несмотря на название «hands off», такие системы часто требуют от водителя держать руки на руле, как подтверждение готовности вмешаться.

Уровень 3, «eyes off», «условная автоматизация». От водителя не требуется немедленной реакции. Он может, например, писать сообщения или смотреть фильм. Система сама реагирует на ситуации, требующие немедленных действий, таких как экстренное торможение. От водителя требуется готовность вмешаться в течение какого-то ограниченного времени, определённого производителем.

Уровень 4, «mind off», «широкая автоматизация». Отличается от уровня 3 тем, что от водителя не требуется постоянного внимания. Например, он может лечь спать или покинуть место водителя. Полностью автоматическое вождение осуществляется лишь в некоторых пространственных областях (геозонах) или в некоторых ситуациях, например, в пробках. Вне таких мест или ситуаций система способна прекратить вождение и припарковать машину, если водитель не взял управление на себя.

Уровень 5, «steering wheel optional», «полная автоматизация». Никакого человеческого вмешательства не требуется.



Рисунок 1 – Уровни автономности

### Классическая блок-схема

На рисунке 2 представлена краткая блок-схема того, что вообще бывает в автомобиле. В схеме имеется perception, который отвечает за то, какой мир вокруг нас [4]. Есть карты и локализация, которые отвечают за то, где автомобиль в мире расположен. Обе эти компоненты подаются на вход компоненте motion planning — она принимает решения, куда ехать, какую траекторию строить, принимая во внимание мир вокруг. Наконец, motion planning передает траекторию в компоненту vehicle control, которая выполняет траекторию с учетом физики автомобиля. Vehicle control — это больше про физику. Компонент perception — больше про анализ данных, в ближайшем будущем это самая трудоемкая часть на всем фронте работ по беспилотникам. Остальные компоненты тоже очень важны, но чем лучше мы мир вокруг распознаем, тем проще будет делать все остальное.

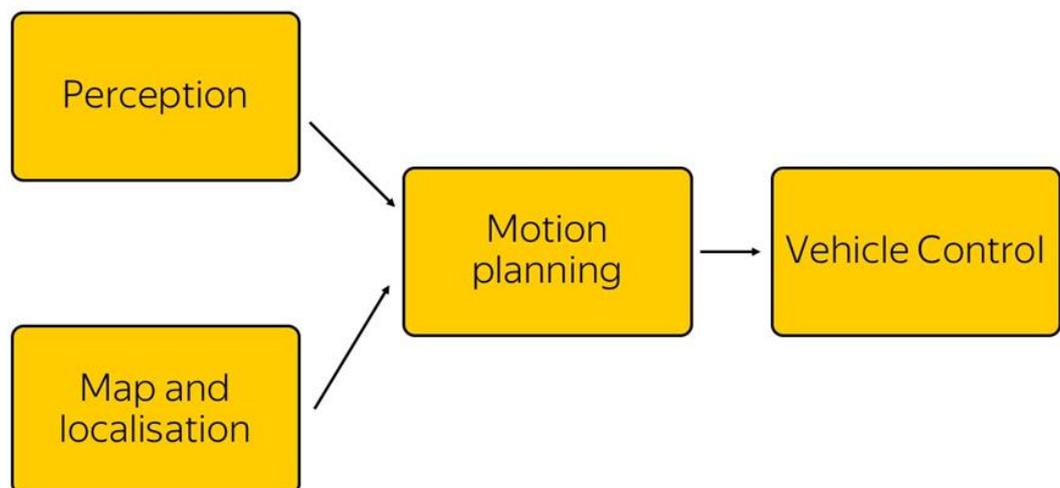


Рисунок 2 – Краткая блок-схема классического подхода

В автомобиле содержатся сенсоры, которые собирают множество данных для него. Самые широко используемые — камеры, радары и лидары.

Радар — это уже продакшен-сенсор, который активно используется в адаптивных круиз-контролях. Это сенсор, который говорит, где находится автомобиль по углу. Он очень хорошо работает на металлических вещах, таких как автомобили. На пешеходах работает хуже. Отличительной особенностью радара является то, что он не только позицию, но еще и скорость выдает. Зная Доплеровский эффект, мы можем узнать радиальную скорость.

Некоторые системы полагаются на инфраструктурные системы (например, встроенные в дорогу или около неё), но более продвинутые технологии позволяют имитировать присутствие человека на уровне принятия решений о изменении положения руля и скорости, благодаря набору камер, сенсоров, радаров и систем спутниковой навигации.

Термин «лидар» – это аббревиатура. Полное выражение на английском языке: light identification, detection and ranging. Перевод: световое обнаружение и идентификация дальности.

В основе технологии лежит получение и обработка данных о различных удаленных объектах при помощи оптической системы. Локатор использует свойство света отражаться и рассеиваться в зависимости от степени прозрачности среды.

С лидаром несколько проблем. Первая — он достаточно дорого стоит. Вторая — он все время крутится, и рано или поздно открутится. Надежность их оставляет желать лучшего. Обещают лидары без движущихся частей и дешевле, а другие обещают, что сделают все на компьютерном зрении только на камерах.

Камеры фиксируют всё, что происходит вокруг автомобиля. Полученная картинка позволяет определять границы проезжей части, положение других машин и людей, считывать дорожную разметку и распознавать знаки.

Чтобы машина могла различать объекты, ей нужно показать десятки тысяч примеров размеченных изображений, где выделен каждый объект [5].

Плюсы:

- Только камеры могут распознавать дорожную разметку и знаки.
- У камер хорошее разрешение по углу, то есть камера хорошо «понимает» объекты, которые двигаются поперек движения автомобиля (переходящий дорогу пешеход).
- По картинке с камеры возможна прямая классификация объектов («собака»-«ребенок»-«взрослый»-«велосипед»-«машина»-«грузовик»).
- Доступная цена.

Минусы:

– У камер плохое разрешение по дальности, они с трудом понимают расстояние до препятствия или скорость сближения (стереокамеры отчасти решают проблему).

– Нет прямого измерения скорости объектов, ее можно понять по серии кадров, и все равно измерение нечеткое.

– Сильно влияние погодных и дорожных условия

Обработка данных с камер занимает время: задержка тем больше, чем сложнее система камер.

### **Алгоритм сегментации по водоразделам (WaterShed)**

Сегментация изображения — это разбиение изображения на множество покрывающих его областей. Сегментация применяется во многих областях, например, в производстве для индикации дефектов при сборке деталей, в медицине для первичной обработки снимков, также для составления карт местности по снимкам со спутников. Рассмотрим пару методов из библиотеки компьютерного зрения OpenCV [6].

Метод водоразделов – один из основных алгоритмов наращивания областей, рекурсивно выполняющих процедуру группировки пикселей в подобласти по заранее заданным критериям [7].

Данный метод включает в себя следующие три базовых концепции:

- Обнаружение и устранение разрывов;
- Пороговая обработка;
- Обработка областей;

Благодаря данным концепциям метод водоразделов позволяет получать более стабильные результаты сегментации (в том числе непрерывные границы областей). Этот подход так же позволяет включать в процесс сегментации добавочные ограничения.

Понятие водораздела основано на представлении изображения как трехмерной поверхности, где в качестве высоты используется уровень яркости пикселя. В этом случае на поверхности можно обнаружить три типа точек:

- точки локального минимума;
- точки, находящиеся на склоне, с которых вода сливается к центру водоема;
- точки, находящиеся на гребне возвышенности.

Линии, образованные точками-гребнями, представляют собой линии водоразделов, поэтому основной задачей данного метода является именно поиск линий водоразделов.

Алгоритм работает с изображением как с функцией от двух переменных  $f=I(x,y)$ , где  $x,y$  – координаты пикселя:

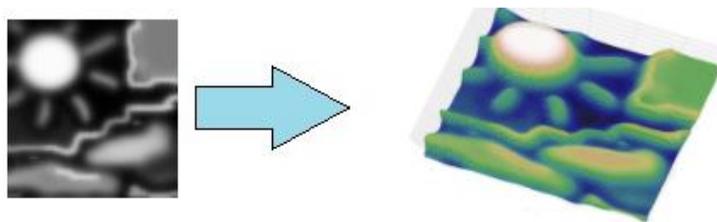


Рисунок 3 – Перевод двумерного изображения в трехмерное

Значением функции может быть интенсивность или модуль градиента. Для наибольшего контраста можно взять градиент от изображения. Если по оси  $OZ$  откладывать абсолютное значение градиента, то в местах перепада интенсивности образуются хребты, а в однородных регионах – равнины. После нахождения минимумов функции  $f$ , идет процесс заполнения “водой”, который начинается с глобального минимума. Как только уровень воды достигает значения очередного локального минимума, начинается его заполнение водой. Когда два региона начинают сливаться, строится перегородка, чтобы предотвратить объединение областей. Вода продолжит подниматься до тех пор, пока регионы не будут отделяться только искусственно построенными перегородками (рис.4).

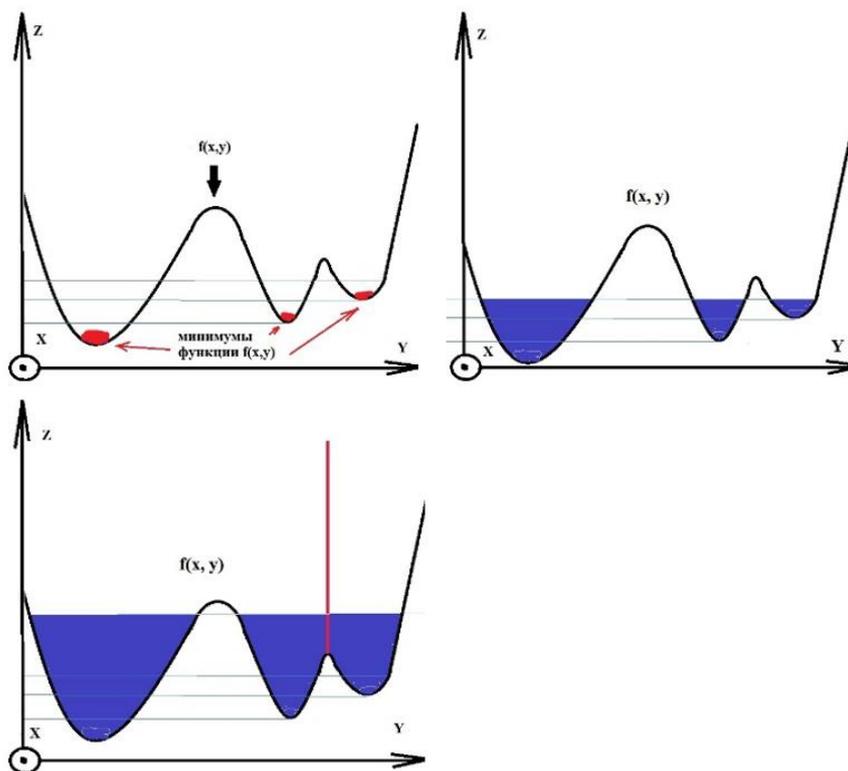


Рисунок 4 – Иллюстрация процесса заполнения водой

Такой алгоритм может быть полезным, если на изображении небольшое число локальных минимумов, в случае же их большого количества возникает избыточное разбиение на сегменты. Например, если непосредственно применить алгоритм к рис. 5, получим много мелких деталей рис. 6.



Рисунок 5 – Исходное изображение

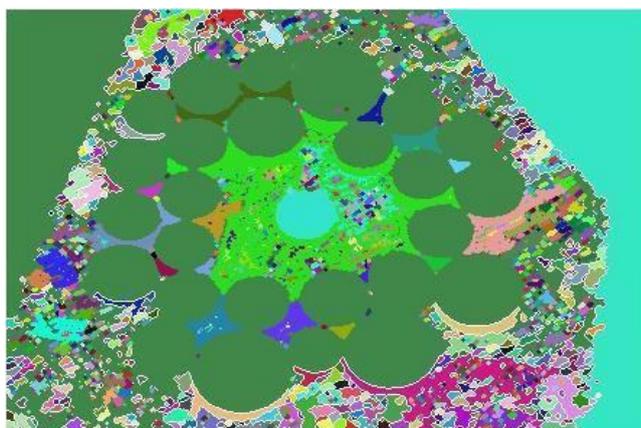


Рисунок 6 – Изображение после сегментации алгоритмом WaterShed

### **Алгоритм GrabCut**

Данный алгоритм стал основой большинства современных наилучших алгоритмов интерактивной сегментации. Данный алгоритм трактует всё изображение, как граф. Но в данном случае к вершинам, соответствующим пикселям изображения, добавляются две терминальные вершины, называемые истоком и стоком. Вершины, соответствующие соседним пикселям, связываются рёбрами с весом. Пользователь указывает несколько пикселей, принадлежащих объекту (т.н. семена объекта), и несколько пикселей фона (семена фона). Вершины графа, соответствующие семенам объекта и фона, связываются соответственно с истоком и стоком рёбрами с бесконечно большим весом.

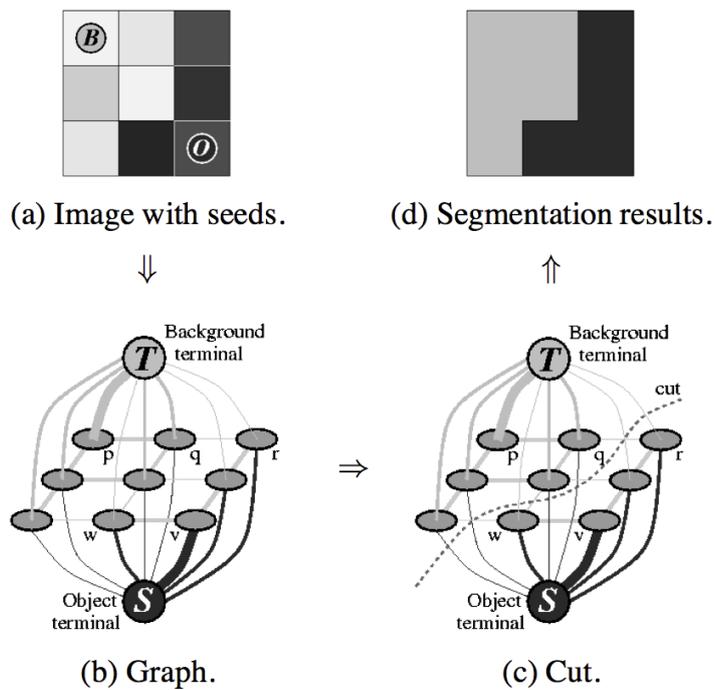


Рисунок 7 – Иллюстрация алгоритма GraphCut. (a) - исходное изображение, O,B - семена объекта и фона; (b) - финальная сегментация; (c) - построенный граф, T и S - сток и исток соответственно; (d) - найденный минимальный разрез;

Главной целью разработчиков GrabCut-а было уменьшение взаимодействия алгоритма с пользователем, а именно они хотели сделать достаточным задание ограничивающего прямоугольника вокруг объекта для получения изначального приближения. Для этого они ввели итеративную схему сегментации [8].

Исходя из цветового распределения внутри и снаружи ограничивающего прямоугольника, строится первая цветовая статистика объекта и фона. В качестве цветовой модели используется смесь гауссиан со статически заданным количеством компонент. Затем поочередно производится сегментация (GraphCut-ом, использующим цветовую статистику) и уточнение цветовой статистики. После каждого уточнения цветовой статистики, граф (в котором ищется минимальный разрез) перевзвешивается. Если пользователь не удовлетворен получившейся сегментацией, он может, также, как и в GraphCut-е, отметить некоторые пиксели, которые обязаны принадлежать объекту или фону.

Типичный процесс сегментации с помощью GrabCut-а продемонстрирован на рисунке 8.



Рисунок 8 – Простые примеры сегментации GrabCut-ом. Цвета объекта и фона заметно различаются, поэтому алгоритму достаточно одного ограничивающего прямоугольника вокруг объекта.

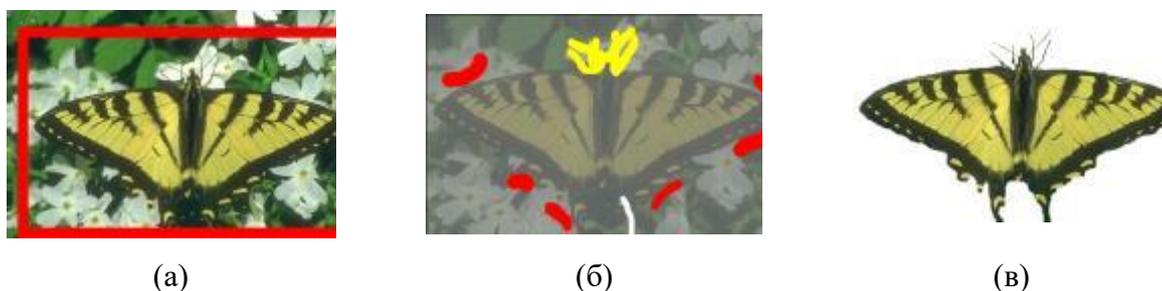


Рисунок 9 – Сложные примеры сегментации GrabCut-ом.

Цветовые распределения объекта и фона пересекаются, из-за чего алгоритму требуется дополнительные указания со стороны пользователя. На рисунке 9: (а) - исходное изображение с указанными пользователем ограничивающими прямоугольниками; (б) - дополнительный пользовательский ввод; (в) - финальная сегментация.

GraphCut значительно упрощает действия пользователя по сравнению с остальными алгоритмами. Главным недостатком является значительное время реакции на дополнительный ввод для больших изображений (в несколько мегапикселей). Также стоит отметить, что алгоритм требует достаточно много оперативной памяти.

GrabCut обладает самым удобным интерфейсом среди всех алгоритмов, т.к. позволяет получить первое приближение по одному ограничивающему прямоугольнику. Однако в случаях, когда цветовые распределения фона и объекта сильно перекрываются, первое приближение часто выдаёт неправильный результат. Сложнее остальных алгоритмов для реализации.

### **Классификация объектов**

Решение задачи классификации является одним из важнейших применений нейронных сетей. Задача классификации представляет собой задачу отнесения образца к одному из нескольких попарно не пересекающихся множеств.

При решении задач классификации необходимо отнести имеющиеся статические образцы к определённым классам. Возможно несколько способов представления данных. Наиболее распространённым является способ, при котором образец представляется вектором. Компоненты этого вектора представляют собой различные характеристики образца, которые влияют на принятие решения о том, к какому классу можно отнести данный образец. Например, для медицинских задач в качестве компонентов этого вектора могут быть данные из медицинской карты больного. Таким образом, на основании некоторой информации о примере, необходимо определить, к какому классу его можно отнести. Классификатор таким образом относит объект к одному из классов в соответствии с определённым разбиением  $N$ -мерного пространства, которое называется пространством входов, и размерность этого пространства является количеством компонент вектора.

Для построения классификатора необходимо определить, какие параметры влияют на принятие решения о том, к какому классу принадлежит образец. При этом могут возникнуть две проблемы. Во-первых, если количество параметров мало, то может возникнуть ситуация, при которой один и тот же набор исходных данных соответствует примерам, находящимся в разных классах. Тогда невозможно обучить нейронную сеть, и система не будет корректно работать (невозможно найти минимум, который соответствует такому набору исходных данных). Исходные данные обязательно должны быть непротиворечивы. Для решения этой проблемы необходимо увеличить размерность пространства признаков (количество компонент входного вектора, соответствующего образцу). Но при увеличении размерности пространства признаков может возникнуть ситуация, когда число примеров может стать недостаточным для обучения сети, и она вместо обобщения просто запомнит примеры из обучающей выборки и не сможет корректно функционировать. Таким образом, при определении признаков необходимо найти компромисс с их количеством.

Далее необходимо определить способ представления входных данных для нейронной сети, т.е. определить способ нормирования. Нормировка необходима, поскольку нейронные сети работают с данными, представленными числами в диапазоне  $0..1$ , а исходные данные могут иметь произвольный диапазон или вообще быть нечисловыми данными. При этом возможны различные способы, начиная от простого линейного преобразования в требуемый диапазон и заканчивая многомерным анализом параметров и нелинейной нормировкой в зависимости от влияния параметров друг на друга [9].

### **Распознавание дорожных знаков с помощью CNN**

Маппинг, классификация изображений, построение маршрута для дронов и беспилотных автомобилей — множество задач, связанных с генерацией, классификацией,

сегментацией изображений могут быть эффективно решены с помощью свёрточных нейронных сетей [10].

Свёрточные нейронные сети (convolutional neural networks, CNN) и глубокие свёрточные нейронные сети (deep convolutional neural networks, DCNN) сильно отличаются от других видов сетей. Типичным способом применения CNN является классификация изображений: если на изображении есть человек, сеть выдаст “человек”, если есть машина — “машина”. Такие сети обычно используют “сканер”, не парсящий все данные за один раз.

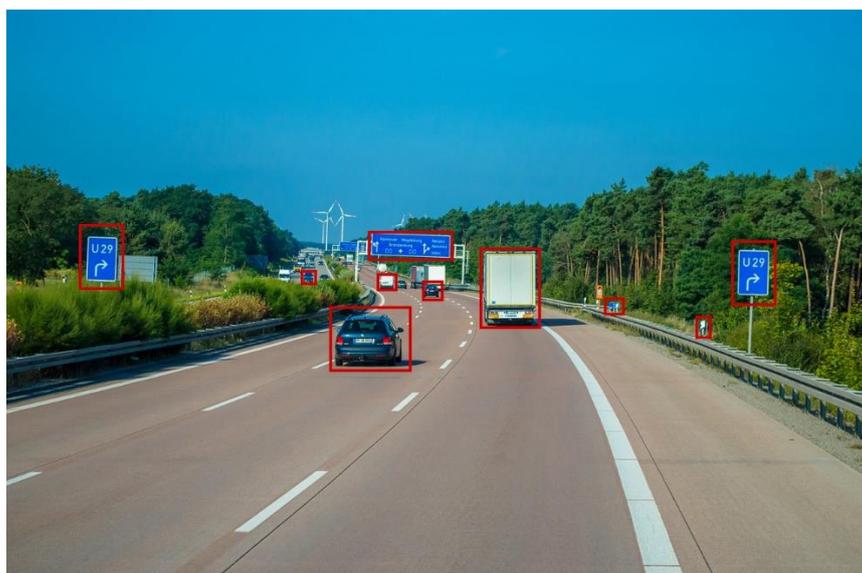


Рисунок 10 – Распознавание дорожных знаков

Например, если у вас есть изображение  $200 \times 200$ , вы не будете сразу обрабатывать все 40 тысяч пикселей. Вместо это сеть считает квадрат размера  $20 \times 20$  (обычно из левого верхнего угла), затем сдвинется на 1 пиксель и считает новый квадрат, и т.д. Эти входные данные затем передаются через свёрточные слои, в которых не все узлы соединены между собой. Эти слои имеют свойство сжиматься с глубиной, причём часто используются степени двойки: 32, 16, 8, 4, 2, 1. На практике к концу CNN прикрепляют FFNN для дальнейшей обработки данных. Такие сети называются глубокими (DCNN) [11].

В последнее время стало ясно, что современные автоматические алгоритмы не способны решать произвольные задачи сегментации с гарантированным результатом. Более того, по всей видимости, в ближайшее время такие алгоритмы не появятся. Поэтому всё большее и большее внимание стало уделяться интерактивной сегментации изображений.

#### Литература

1. Автопилот [Электронный ресурс] // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Автопилот> (дата обращения: 07.02.22)

2. Беспилотные автомобили для начинающих [Электронный ресурс] // Хабр: Коллективный блог. URL: <https://habr.com/ru/post/431758> (дата обращения: 07.02.22)
3. Как работает беспилотный автомобиль? [Электронный ресурс] // Яндекс Дзен: Издательская платформа. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5aa68a0d9e29a29a15012d13/kak-rabotaet-bespilotnyi-avtomobil-5d58ad73027a1500ae2d2d5c> (дата обращения: 07.02.22)
4. Технологии беспилотных автомобилей. Лекция Яндекса [Электронный ресурс] // Хабр: Коллективный блог. URL: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/350414> (дата обращения: 07.02.22)
5. 5 датчиков автопилота и их неразрешимые трудности [Электронный ресурс] // Хабр: Коллективный блог. URL: <https://habr.com/ru/post/396185/> (дата обращения: 07.02.22)
6. Обзор алгоритмов сегментации [Электронный ресурс] // Хабр: Коллективный блог. URL: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/266347> (дата обращения: 08.02.22)
7. Метод водоразделов (Сегментация) [Электронный ресурс] // Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана. URL: [https://ru.bmstu.wiki/index.php?title=Метод\\_водоразделов\\_\(Сегментация\)](https://ru.bmstu.wiki/index.php?title=Метод_водоразделов_(Сегментация)) (дата обращения: 08.02.22)
8. Вадим Конушин, Владимир Вежнев. Методы сегментации изображений: интерактивная сегментация // URL: <http://masters.donntu.org/2010/fknt/deputat/library/article3.htm> (дата обращения: 08.02.22)
9. Практическое применение нейронных сетей для задач классификации [Электронный ресурс] // MD-IT: информационный портал. URL: <http://md-it.ru/articles/html/article56.html> (дата обращения: 08.02.22)
10. Распознавание дорожных знаков с помощью CNN: Инструменты для препроцессинга изображений [Электронный ресурс] // Хабр: Коллективный блог. URL: <https://habr.com/ru/company/newprolab/blog/334618/> (дата обращения: 09.02.22)
11. Шпаргалка по разновидностям нейронных сетей. Часть первая. Элементарные конфигурации [Электронный ресурс] // Tproger: Информационный портал. URL: <https://tproger.ru/translations/neural-network-zoo-1> (дата обращения: 09.02.22)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ НА РЕЖУЩЕЙ КРОМКЕ  
ИНСТРУМЕНТА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ  
ОБОРУДОВАНИЯ

**Цайхнер С.А., Пельц Д.А., Закураев В.В\*., Тесля В.И.**

*АО «КЗТС», г. Кировград, Свердловская обл.*

*\* Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУ ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[postmaster@kzts.ru](mailto:postmaster@kzts.ru)

**Аннотация:** Представлены результаты исследований влияния дефектов на режущей кромке СМП из твердого сплава с CVD покрытием на характеристики работы пластины при точении в условиях переменной жесткости токарного станка. Установлено, что износостойкость пластин в значительной мере зависит от жесткости станка и наличия дефектов в режущей кромке. Показан характер разрушения покрытия при наличии дефектов.

**Ключевые слова:** CVD покрытие, износостойкость, дефекты, режущая кромка, переменная жесткость

### **Введение**

В машиностроении и других областях производства, при изготовлении изделий различного назначения, значительную часть в технологическом процессе занимают операции механической обработки резанием.

Наиболее распространенным материалом для обработки резанием, на данный момент, являются твердые сплавы. Это обусловлено их высокой износостойкостью, высокой твердостью, а также теплостойкостью.

На поверхность сменных многогранных пластин (СМП) из твердых сплавов методами CVD и PVD наносят износостойкие покрытия для увеличения рабочего ресурса пластин [1]. Эксплуатационные свойства инструмента с защитными покрытиями существенно зависят от двух групп факторов. Первая группа факторов обусловлена технологическими условиями нанесения покрытия. В частности, состоянием поверхности твердого сплава непосредственно перед нанесением покрытия. Вторая группа факторов – это состояние технологической системы при работе инструмента, а именно – уровень жесткости системы.

При контроле серийно выпускаемых СМП замечено, что на режущей кромке некоторых пластин могут присутствовать сколы, образовавшиеся в местах контакта СМП с оснасткой. После нанесения покрытий в этих местах остаются участки, не покрытые защитным слоем (рисунок 1).

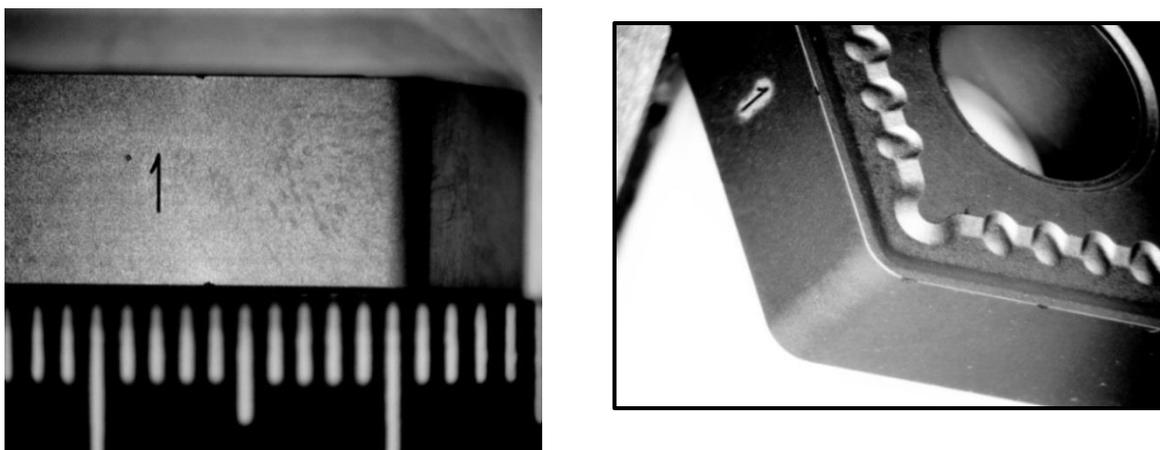


Рисунок 1 – Сколы на поверхности СМП с CVD покрытием

На поверхности режущей кромки могут присутствовать дефекты в виде сколов, образовавшихся до напыления и покрытых сформированным покрытием. Кроме того, поверхность твердого сплава, предназначенная для нанесения покрытия, может иметь повышенную шероховатость и содержать достаточно глубокие дефекты, которые закрываются нанесенным слоем покрытия.

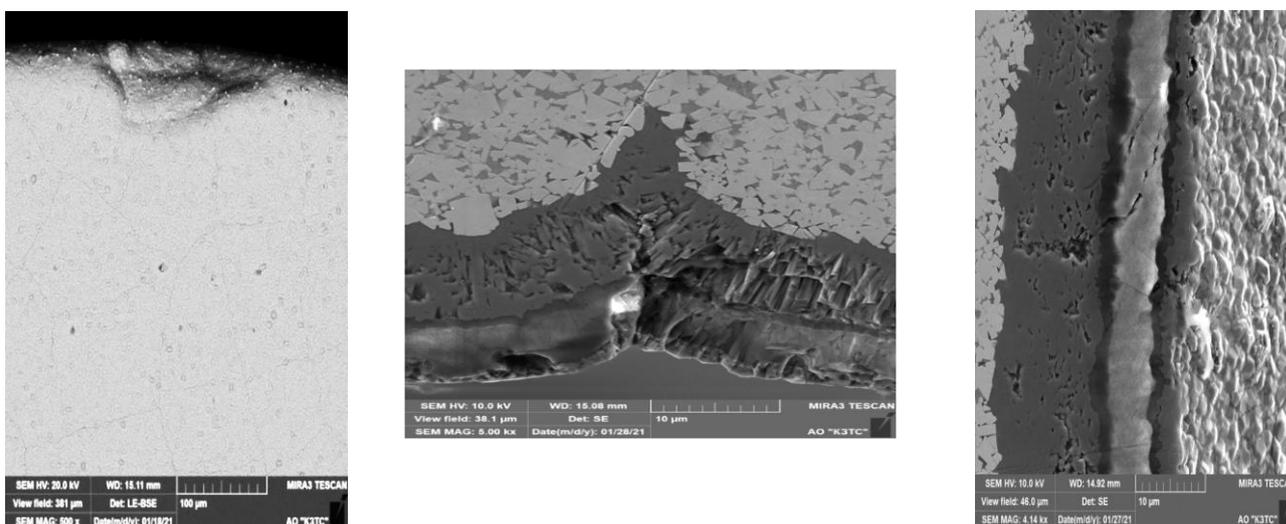


Рисунок 2 – Дефекты на поверхности режущей кромки

В связи с этим, с целью оценки влияния наблюдаемых на режущих кромках дефектов на износостойкость инструмента проводились испытания специально выбранных СМП с дефектами в условиях переменной жесткости токарного станка.

#### Методика исследований

Нанесение CVD покрытия по рецепту РТ ( $\text{TiN-TiCN-Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$ ) общей толщиной 18-20 мкм проводили на установке химического осаждения из паровой фазы Verpex PRO

промышленного масштаба. В качестве подложек использовались режущие пластины с геометрией CNMG-190616 PН [2].

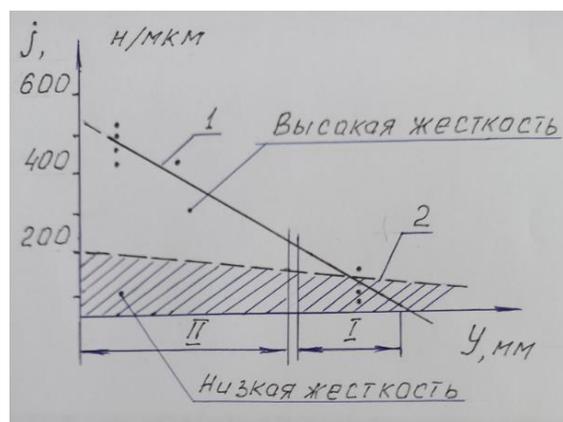
Микроструктура поверхности СМП до и после испытаний изучалась с помощью оптического микроскопа (бинокля) и сканирующего электронного микроскопа MIRA3 фирмы Tescan.

Оценка влияния уровня жесткости станка на период работы твердосплавного инструмента выполнялась на токарном станке 16K20 при обработке заготовки с продольными пазами (рисунок 3а). Предварительно проводилась оценка статической жесткости станка. График изменения уровня жесткости представлен на рисунке 3б. Штриховая линия показывает минимально допустимый уровень жесткости в соответствии с ГОСТ 24684-82. Скорость резания на токарном станке составляла 120 м/мин при подаче 0,15 мм/об и глубине 1,5 мм. Используемый для испытаний станок имел две зоны жесткости. В зоне крепления стальной заготовки в кулачках передней бабки (II) сохранялась высокая жесткость, что обеспечило при испытаниях основную ударную нагрузку за счет нанесенных проточек на обрабатываемой заготовке. В зоне крепления заготовки задней бабкой (I) наблюдалось повышенное биение заготовки, что приводило к повышению ударной нагрузки на режущую кромку испытываемой пластины.

За основной критерий оценки ресурса работы СМП выбиралась длина прохода резца (число циклов вращения) в момент появления царапин на поверхности обрабатываемой заготовки, свидетельствующий о начале разрушения режущей кромки (появлении сколов).



а



б

Рисунок 3 – Общий вид технологической системы оборудования

а – внешний вид станка; б – схема распределения жесткости станка при испытании

### Экспериментальная часть

Результаты испытаний представлены в таблице 1. Из полученных данных видно, что износостойкость СМП в зоне низкой жесткости значительно ниже, чем стойкость в зоне

высокой жесткости станка. Средняя длина прохода в зоне низкой жесткости составила 54,2 мм (min 10 – max 250 мм), в зоне высокой жесткости она оказалась равной 397 мм (min 52 – max 707 мм), т.е. более чем в 7 раз. В условиях испытаний при низкой жесткости станка, т.е. при повышенной ударной нагрузке на режущую кромку пластины, разброс значений длины прохода почти в два раза превышает разброс значений, полученных при испытании в зоне высокой жесткости станка.

Таблица 1

Результаты испытаний СМП

№ пластины, СМП/режущая кромка	Зона высокой жесткости станка		№ пластины, СМП/режущая кромка	Зона низкой жесткости станка	
	Длина прохода, мм	Число циклов, №ц		Длина прохода, мм	Число циклов, №ц
1 – 1	298	15 893	2 – 1	20	1 067
3 – 1	276	14 720	5 – 1	10	533
4 – 1	370	19 733	1 – 2	86	4 586
3 – 2	707	37 700	2 – 2	10	533
4 – 2	500	26 666	5 – 2	86	4 586
6 – 1	52	2 773	6 – 2	250	13 333
7 – 1	462	24 580	7 – 2	25	1 333
8 – 1	580	30 933	8 – 2	10	533
9 – 1	65	3 466	9 – 2	18	960
10 – 1	660	35 200	10 – 2	27	1 440

Основное различие в износостойкости режущей кромки СМП при двух видах испытаний проявилось в том, что в условиях высокой жесткости станка разрушение сопровождалось плавным послойным износом покрытия. В то время как в условиях низкой жесткости станка, разрушение режущей кромки во всех случаях сопровождалось сколом покрытия и выкрашиванием твердого сплава (рисунок 4 а, б).

При сравнении характера износа режущих кромок видно, что износ покрытия на режущих кромках пластин №3-2 и 10-1, отработавших в условиях высокой жесткости станка, был равномерным. Особенностью равномерной работы износостойкого покрытия является поэтапное снятие слоев. Это можно увидеть по обнаженному слою оксида алюминия, который находился под слоем нитрида титана. В процессе работы слой нитрида титана истирается, обнажая при этом следующий слой оксида алюминия, который продолжает дальнейшую работу.



а



б

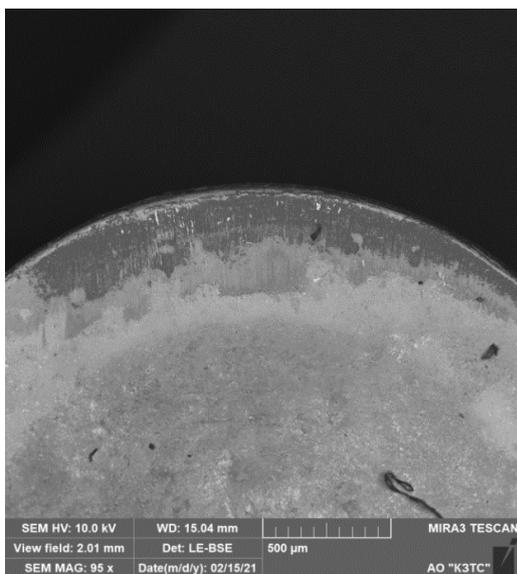
Рисунок 4 – Внешний вид режущей кромки после испытаний:

а – высокая жесткость станка; б – низкая жесткость станка.

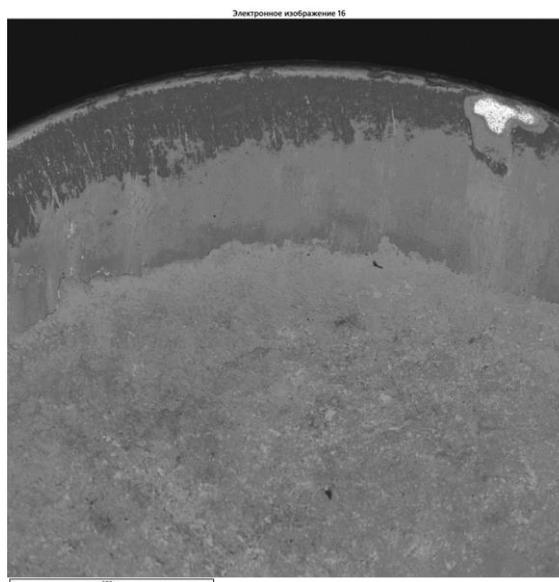
Отдельное внимание было уделено пластине №3, которая изначально имела дефект в покрытии (рисунок 5б). Износостойкость кромки 3-1 оказалась более чем в два раза ниже износостойкости второй режущей кромки (3-2) этой же пластины.

При низкой жесткости станка пластина №6-2 (одна из лучших по эксплуатации в изучаемой группе пластин) некоторое время работала стабильно. Об этом свидетельствует обнаженный слой оксида алюминия, расположенный под слоем нитрида титана. Однако, при достигнутом ресурсе работы (длина прохода 250 мм) произошло разрушение режущей кромки. Этому способствовала повышенная ударная нагрузка на режущую кромку пластины при резании заготовки.

У пластины 10 разрушение вершины режущей кромки 2 произошло значительно быстрее. Длина прохода у неё составила 27 мм, что на порядок меньше, чем у кромки 2 пластины №6. Это подтверждается отсутствием в зоне износа площадки слоя оксида алюминия (рисунок 6).



а



б

Рисунок 5 – Внешний вид режущей кромки пластины 10-1 (а) и 3-1 (б) после испытания

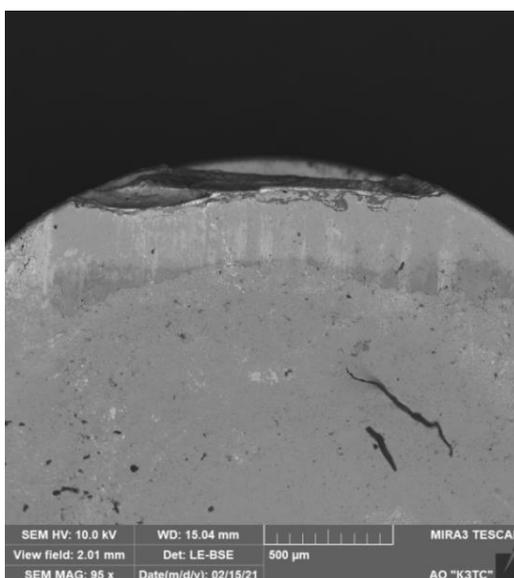


Рисунок 6 – Внешний вид режущей кромки 2 пластины 10

Следовательно, испытание СМП в условиях повышенной ударной нагрузки, что реализовано в проведенных экспериментах в зоне резания с пониженной жесткостью станка, способствует выявлению влияния дефектов и позволяет сравнить режущие свойства инструмента.

### Выводы

Показано, что характер разрушения СМП с CVD покрытием зависит от условий резания обрабатываемой детали, состояния режущего оборудования и наличия дефектов на режущей кромке пластины.

1. При гладком точении и незначительной ударной нагрузке в условиях высокой жесткости станка износ поверхности пластин проходит равномерно. Вначале изнашивается слой CVD покрытия из нитрида титана, а затем из окиси алюминия.

2. Состояние поверхности обрабатываемой детали и характер разрушения пластины существенно изменяются при обработке на станке с низкой жесткостью, а также при наличии в режущей кромке сколов или при образовании в ней участков оголенного твердого сплава. В этом случае износостойкость СМП значительно снижается.

3. Износостойкость выбранных для исследований СМП с дефектами при точении в зоне низкой жесткости выбранного для работы токарного станка оказалась ниже более чем в 7 раз по сравнению с износостойкостью пластин, работавших в зоне повышенной жесткости.

4. Установлено, что износостойкость СМП из твердого сплава в значительной мере зависит от наличия дефектов в режущей кромке пластин. Показано, что в таких случаях стойкость инструмента может уменьшиться в несколько раз ниже.

5. На основании полученных данных в АО «КЗТС» выданы рекомендации по технологическим требованиям к изготовлению режущих пластин с целью повышения качества состояния поверхности.

#### Литература

1. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы: Учебник. - изд. «Лань», 2014- 304с.

2. Металлорежущий инструмент АО «КЗТС» [Электронный ресурс] : [www.kzts.ru](http://www.kzts.ru) (дата обращения 11.02.2022).

# КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**Гусев А.В., Чумичева Е. А.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[antosha21@list.ru](mailto:antosha21@list.ru)

[echumi4eva@yandex.ru](mailto:echumi4eva@yandex.ru)

Повышение эффективности металлообработки является одним из основных направлений развития современного машиностроения. По мере прогресса техники, с одной стороны, непрерывно улучшаются эксплуатационные характеристики материалов и, с другой, повышается производительность и экономичность их обработки. Последнее, как правило, обеспечивается назначением более выгодного из режимов резания.

Под более выгодными режимами резания понимают такое сочетание глубины резания  $t$ , подачи  $S$  и скорости резания  $v$ , при которых в данных условиях производства обеспечивается максимальная производительность обработки. [1]

Существует проблема отсутствия автоматизированного метода определения оптимальных режимов и контроля процессов резания.

Конечно, в наше время есть устройства, которые могут подобрать режим – калькуляторы режимов механической обработки. Но в данном случае выбор режима будет основан лишь на усредненных параметрах, так как каждый производитель имеет свою технологию производства инструмента. Отсюда вытекает большой недостаток, а именно, такие калькуляторы не всегда подходят для инструментов разных производителей. То есть нет универсального калькулятора, который мог бы подобрать точные данные для дальнейшей работы токаря независимо от производителя инструмента.

Выбор эффективного режима особенно актуален на начальной стадии запуска изделий в производство (период освоения). Обычно «стартовый» вариант режима резания устанавливается по справочнику или рекомендациям фирм-производителей инструмента. При этом невозможно учесть многие факторы, имеющиеся в реальном производстве. Поэтому, чаще всего режимы устанавливаются экспериментально при отладке процесса. В таких условиях появилась насущная необходимость создания метода определения режимов резания на основе получения необходимой информации непосредственно из зоны резания от работающего станка. Создание такого метода на базе вычислительной техники должно обеспечить снижение трудоемкости механической обработки.

Ранее на кафедре Технологии Машиностроения нашего института проводилась работа по определению режимов токарной обработки конструкционных сталей на основе контроля процесса стружкообразования, по которой исследователи получили Патент РФ №2514251. Моя работа является некоторым продолжением и дополнением к ранее проводимым исследованиям.

**Целью работы** является создание автоматизированного метода и средств контроля эффективных режимов токарной обработки на основе установления связи вибросигналов.

Разработка основ создания автоматизированных методов определения режимов резания, непосредственно на работающих станках, ведется продолжительное время. Разработка методов контроля режимов резания базируется на комплексе физических явлений, высокоскоростной деформации и разрушения материалов.

**Основные задачи исследования:**

1. Обоснование возможности определения эффективных режимов токарной обработки путем установления значений деформационных характеристик процесса;
2. Выявление информативных параметров стружкообразования, а также корреляционных связей деформационных характеристик процесса с колебаниями, генерируемыми в технологической системе;
3. Практическая реализация предлагаемого метода контроля процесса точения для повышения его эффективности в условиях автоматизированной обработки.

**По результатам исследования:**

1. Разработана методика процесса идентификации деформационных параметров стружкообразования посредством определения спектральных (информационных) характеристик вибросигналов, генерируемых в зоне резания.

2. Разработан способ выбора оптимальных режимов резания (Патент РФ №2514251);

3. Предложен и реализован алгоритм, на основе которого разработана программа работы и управления процессом резания, представленная в виде виртуального прибора – пульт оператора;

4. Разработан программный продукт для сбора и обработки информации с вибропреобразователя, а также человеко – машинный интерфейс для оценки оператором эффективных режимов токарной обработки.

Анализируя итоги исследования, можно предположить, что на основе разработанной методики процесса идентификации деформационных параметров стружкообразования посредством определения спектральных (информационных) характеристик вибросигналов, генерируемых в зоне резания можно создать такой калькулятор по определению оптимальных режимов механической обработки, который базировался бы на

предложенном алгоритме, основанном на установлении связи вибросигналов. При таком методе нужен будет всего один пробный проход материала на инструменте, для дальнейшей полной и точной корректировки работы на станке, без каких-либо дальнейших настроек.

Одной из задач нового проекта является, проверка данных калькулятора Американской компании производителя. Подходит ли данный калькулятор для инструментов других производителей со схожими конструкциями инструмента? Инструмент для проверки работы калькулятора предложенный заказчиком – АО КЗТС.

Так же следует подобрать аналоги к импортным инструментам и посмотреть расчетные режимы калькулятора для харвитула, на сколько они применимы для инструмента АО КЗТС.

Как следствием предыдущей задачи, можно выделить еще одну глобальную задачу – это создание нового универсального калькулятора, который бы не зависел от производителя, и являлся бы универсальным для любого инструмента как на отечественном производстве, так и зарубежном.

На данном этапе, для решения поставленной цели и задач, происходит обработка и сбор информации, связанной с главной темой работы: определение оптимальных режимов механической обработки и токарного производства в целом.

# КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОМЫВКИ БУРОВЫХ КОРОНОК ШТЫРЕВОГО ТИПА

**Заббаров И.Ш.<sup>1,2</sup>, Гупалов Б.А.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>АО «Кировградский завод твердых сплавов», г. Кировград;

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

<sup>3</sup>Новоуральский технологический институт НИЯУ «МИФИ», г. Новоуральск

[zabbarov@gmail.com](mailto:zabbarov@gmail.com)

[gupalov\\_b@mail.ru](mailto:gupalov_b@mail.ru)

**Аннотация:** Статья посвящена вопросам конструирования эффективной системы промывки буровых коронок штыревого типа. Рассмотрены составные конструктивные элементы системы, проведен сравнительный анализ известных подходов оценки их эффективности. По результатам анализа предложен новый вариант станда, для проведения сравнительных испытаний эффективности системы отвода шлама буровых коронок разных конструкций.

**Ключевые слова:** Буровые коронки штыревого типа; бурение шпуров; система промывки; отвод шлама.

В современной горной промышленности, при добыче полезных ископаемых в породах, крепость которых не позволяет использовать комбайны, используется буровзрывной способ прохождения выработок [1].

При проходке горных выработок буровзрывным способом в забое с помощью пневмо/гидроперфоратора бурятся шпуры (скважины), затем заряжаются взрывчатым веществом, и производится взрыв с отбивкой горной породы. После отгрузки отбитой горной массы начинается новый цикл проходки: бурение, зарядание, взрыв, чистка забоя. Дальше цикл повторяется.

Для бурения шпуров и скважин в скальных горных породах (гранитах, пироксенитах, мраморах, гнейсах, кварцитах, песчаниках и др.) наиболее эффективным является ударно-поворотный способ бурения.

Обычно глубина шпуров 1,4 – 5 метров. Наиболее распространенными являются диаметры 40 – 45 мм. Бурение ведут в породах, имеющих коэффициент крепости  $f$  от 6 до 20 по шкале профессора Протодьяконова.

Разрушающим инструментом, при ударно-поворотном способе бурения является буровая коронка (БК). На сегодняшний день, буровые коронки штыревого типа (Рисунок 7) являются наиболее распространенными, за счет своей эффективности. Лидирующие положения в разработке буровых коронок занимают компании из США, Японии, Швеции: Sandvik [2], Mitsubishi, Robit, Epiroc (Atlas Copco). В России основными производителями БК являются АО «КЗТС», АО «Машиностроительный холдинг», ГК «Сталь-Трест».



Рисунок 7 – Современная буровая коронка штыревого типа Sandvik, серия Speedy [2]

Буровая коронка штыревого типа состоит из нескольких конструктивных элементов (см. рисунок 2).

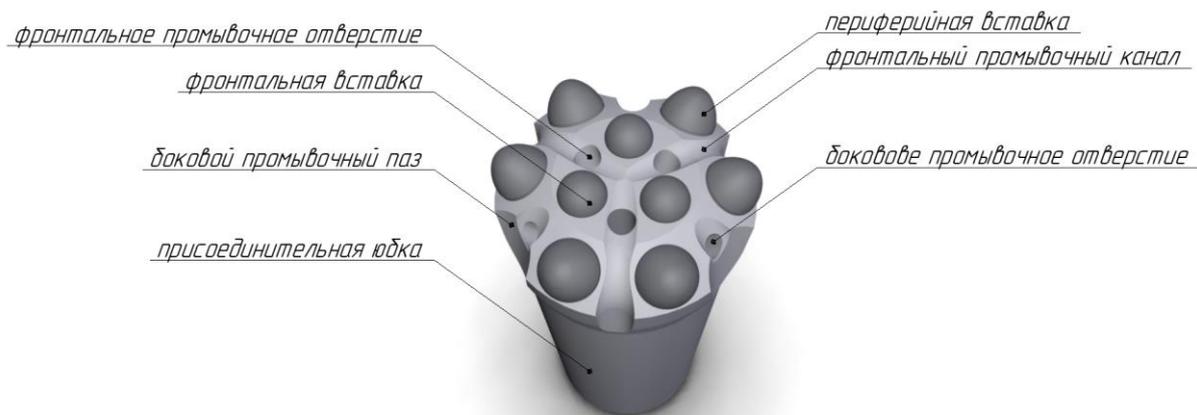


Рисунок 8 – Конструктивные элементы буровой коронки

Головная часть буровой коронки оснащена запрессованными породоразрушающими твердосплавными вставками. Крепление коронки к буровой штанге происходит через присоединительную юбку. При работе, коронка совершает удары головной частью, с одновременным вращением, тем самым разрушая породу. По внутреннему каналу штанги, в коронку, подается вода или воздух (3-6 атм.). За счет системы промывки, вода подводится к забою образованного отверстия, и через зазоры между коронкой и стенками шпура, истекает наружу, увлекая частицы разрушенной породы (шлам). Под системой промывки будем понимать совокупность следующих конструктивных элементов:

- 1) Боковые и фронтальные промывочные отверстия;
- 2) Фронтальные промывочные каналы;
- 3) Боковые промывочные пазы.

Проектирование конфигурации и устройства системы промывки (СП), является одним из важнейших этапов конструирования буровой коронки.

СП должна обеспечивать своевременное удаление продуктов бурения, это позволяет избежать переизмельчения бурового шлама. Эффективная СП повышает скорость бурения и уменьшает износ твердосплавного вооружения. Также функцией СП является охлаждение бурового инструмента в процессе работы.

На стадии проектирования необходимо определить:

- 1) Количество промывочных отверстий их диаметр, угол наклона к оси коронки и расположение в пространстве;
- 2) Количество, размер, форму боковых промывочных пазов;
- 3) Количество, размер, форму фронтальных промывочных каналов.

Очевидно, что размещение этих элементов должно быть согласовано с прочими компонентами конструкции БК. Несмотря на плотную компоновку головной части, параметры СП можно менять достаточно в широком диапазоне, а значит нужно решать задачу оптимизации с множеством переменных. Именно здесь возникает проблема нахождения зависимости эффективности СП от параметров ее конфигурации.

Одним из подходов к выявлению искомым зависимостей является использование современных CAE-систем [3,4] в функционал которых входит вычислительная гидрогазодинамика CFD — Computational Fluid Dynamics на основе численных методов для моделирования движения жидкостей и газов. Например, пакет Flow Simulation САПР Solidworks, позволяет производить CFD-расчеты, используя метод конечных объемов (Рисунок 9).

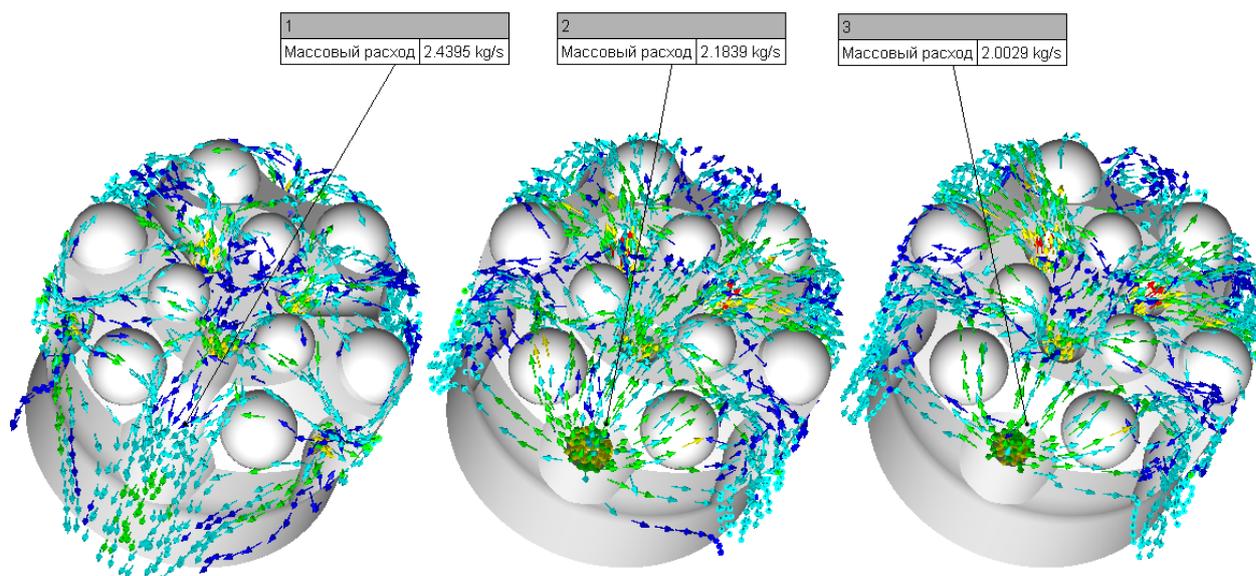


Рисунок 9 – Пример визуализации расчета для сравнения трех вариантов СП

Данные расчеты, позволяют производить визуальную субъективную оценку возникающей картины потоков, определять мертвые зоны, зоны завихрений, промываемость по объему.

Численно можно сравнивать разные конструкции, например, по скорости истекания или массовому расходу жидкости.

Расчетные работы CFD, позволяют получать зависимость целевых данных от конструктивных параметров СП. Данные, полученные в результате расчетов, применяются

для обоснования выбора наиболее эффективной конструкции из рассматриваемых вариантов.

Главным недостатком данного метода, является отсутствие в модели, частиц породы. Визуализируются идеальные потоки воды, без влияния частиц шлама. Моделировать адекватный объем взвеси разрушенной породы невозможно, по причине ограниченности расчетных возможностей.

Таким образом, адекватность полученных данных, относительно эффективности конструкции СП необходимо в реальных горных условиях верифицировать испытаниями, которые являются объемными в плане временных и финансовых затрат и не обеспечивают идентичности условий эксперимента.

Испытание СП на специальном лабораторном стенде – способ, предложенный Хруцким А.А. Его работа [5] является одной из наиболее фундаментальных работ освещающей вопросы оптимизации параметров СП и конструирования буровых коронок в целом.

Автор данной работы сравнивает эффективность различных конфигураций промывки, учитывая возникающую завихренность очистного агента. Данный критерий рассчитывается с использованием 3d-модели, численными методами в плоскости забоя с помощью специального ПО. Также, в ходе работы проводились натурные испытания. Были созданы деревянные макеты с разными конфигурациями пазов и отверстий.

Данные модели помещались в трубу имитирующую скважину, в которую заранее загружалась эталонная порция шлама. Осуществлялась импульсная продувка воздухом, определенной длительности. После чего, производилась оценка удаленного шлама, путем взвешивания.



Рисунок 10 – Макеты корпуса и конфигураций промывочных пазов Хруцкого А.А.

В результате работы, Хруцкий А.А. обобщает полученные данные и дает общие рекомендации, по конфигурации каждого элемента промывки, в зависимости от параметров требуемой БК.

Несмотря на большое количество проведенных опытов А.А. Хруцким, полученные им результаты не получили широкого применения, по ряду причин:

- 1) Рассмотрено ограниченное количество конфигураций СП коронки;
- 2) Длительность импульса продувки была менее 1 секунды, поэтому влияние переходных процессов при установлении потока может быть достаточно велико для искажения получаемого результата;
- 3) При испытаниях на стенде применялась порция шлама массой всего 10г. Данное значение было рассчитано, как масса породы, разрушаемая за один удар БК;
- 4) Одним из ключевых критериев заявляется завихренность потока, но не обосновывается его решающее влияние на качество промывки;
- 5) При лабораторных испытаниях на стенде, применялись упрощенные модели коронок. В них отсутствовали вставки, которые так же имеют влияние на образуемые потоки, являясь препятствием при вымывании частиц породы;
- б) Испытания в реальных условиях неоднозначны, так как испытывались БК с разным количеством твердосплавных вставок. Невозможно утверждать однозначно, что прирост эффективности БК произошел именно по причине оптимизации СП.

При ознакомлении с состоянием вопроса изученности процесса СП и влияния элементов буровой коронки на ее эффективность, можно заключить следующее. На текущий момент, нет единой обоснованной теории и методики по проектированию СП, а также ее целевом применении с учетом разных горно-геологических условий.

Информация от ведущих производителей, предоставляемая в открытый доступ в основном, имеет рекламный характер.

Таким образом, используя существующие методы оценки эффективности СП, можно лишь получать вероятностный прогноз эффективности применяемой конструкции. Эта ситуация делает невозможным уйти от необходимости создания опытной партии БК для проведения испытаний в реальных условиях.

В свою очередь, сложность и длительность процесса производства буровых коронок, а также планируемая загрузка линейных подразделений, не позволяет оперативно получать штучные опытные образцы, необходимые для проведения испытаний и НИР.

Обычно процесс создания новой продукции от замысла до точки SOP (Start of Production) имеет итерационный характер и предполагает создание прототипов или опытных образцов нескольких серий «А», «Б», «В» и более, в зависимости от сложности

объекта разработки. На завершающей стадии (предсерийные) образцы изделия, как правило, изготавливаются с использованием специальной оснастки, разработанной для условий промышленного производства. Однако для ранних стадий разработки серий «А», «Б», когда образ изделия не определен окончательно, использование дорогостоящей оснастки чрезвычайно затратно. Как правило, в процессе испытаний и доводки конфигурация изделия претерпевает значительные изменения, и оснастка, изготовленная для производства прототипов, оказывается непригодной для серийного производства.

Для постановки любой единицы продукции в план, необходимо создать полный комплект конструкторской документации, пройти стадию согласования и утверждения чертежей. Если необходимо сравнить, к примеру, 4 варианта конструкции, трудозатраты возрастают пропорционально.

На этапе выполнения научно-исследовательской работы необходимо быстро получить прообраз изделия. Решать задачу быстрого прототипирования, призваны современные АМ-технологии (Additive Manufacturing).

Новым подходом в испытаниях БК в части СП, можно считать применение специального стенда (Рисунок 11). Он должен иметь модель шпура, функцию подачи воды с требуемым давлением, устройство подачи модели буровой коронки с постоянным усилием, возможность размещения эталонной порции шлама в призабонном пространстве, а также испытываемую модель БК.

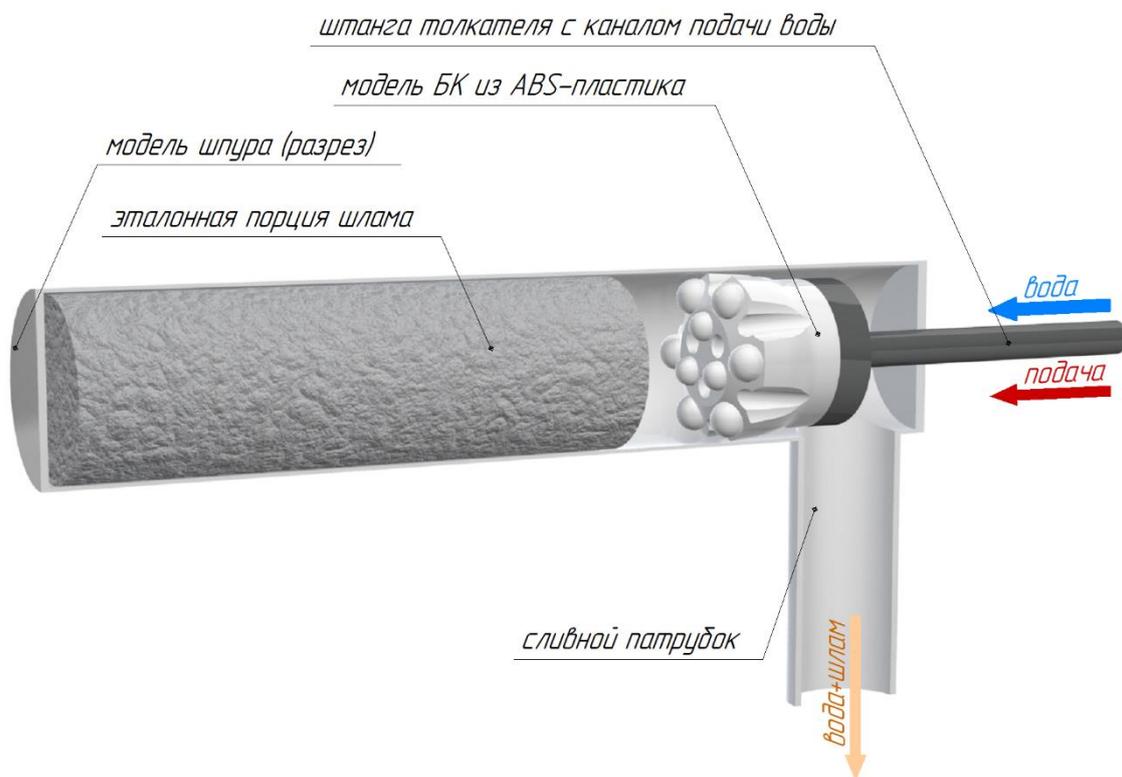


Рисунок 11 – Схематическая модель испытательного стенда

Принцип работы стенда следующий. В модель шпура загружается эталонная порция бурового шлама. Через штангу на БК подается усилие подачи от толкателя (не изображен на схеме), а по внутреннему каналу штанги – вода с рабочим давлением. Вода проходит через СП БК и вымывает шлам через боковые пазы из призабойного пространства в пространство сливного патрубка. Критерием оценки эффективности принимается время полного вымывания эталонной порции шлама.

В качестве моделей БК для данного стенда, целесообразно использовать модель головной части из ABS-пластика, напечатанную по FDM-технологии. Так как на этапе лабораторных испытаний, важными являются лишь отработка геометрии изделия, оценка эффективности конструкции, проверка правильности примененных решений. Изготовление модели буровой коронки, по «обходной технологии», позволит существенно сократить сроки разработки изделия.

Использование прототипов, изготовленных по АМ-технологии, для исследовательских работ по изучению и оптимизации системы промывки буровых коронок позволит:

- 1) Снизить общие затраты на данную деятельность примерно в 15 раз. Например, стоимость серийной БК около 1500 Р, себестоимость напечатанной модели из ABS-пластика около 100 Р.
- 2) Ускорит процесс разработки также примерно в 15 раз. Например, от времени согласования КД до получения готового изделия проходит от 15 дней. Модель из ABS-пластика можно печатать по 3d модели, без создания КД, срок – 1 день.

Данные выгоды обуславливают основные преимущества применения предлагаемого стенда в целом. Его реализация позволит:

- 1) Испытывать СП БК в условиях приближенных к реальным более чем в методах, рассмотренных ранее.
- 2) Проводить испытания на территории предприятия-производителя без каких-либо значительных финансовых затрат.
- 3) Оперативно получать исследовательские данные, ускоряя процесс разработки.

#### Литература

1. Малевич Н.А. Горнопроходческие машины и комплексы. М.: Недрa, 1980, 384 с.
2. Новые буровые коронки от Sandvik // Уголь. – 2010. – № 3(1007). – С. 33.

3. Шарипов, Р. Х. Моделирование напряженно-деформированного состояния буровой коронки MITSUBISHI / Р. Х. Шарипов, И. С. Туркин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2012. – Т. 1. – № 70. – С. 74-77.
4. Investigation of heating of the drilling bits and definition of the energy efficient drilling modes / A. Dreus, A. Kozhevnikov, A. Sudakov, K. Lysenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3. – No 7(81). – P. 41-46. – DOI 10.15587/1729-4061.2016.71995.
5. Жуков И.А. Разработка научно-методических основ исследования и совершенствования ударных систем (на примере машин, применяемых при разрушении хрупких сред) : дис. ... докт. техн. наук. Новокузнецк, 2009. 238 с.
6. Хруцкий А. А. Обоснование конструктивных параметров штыревых коронок улучшенного выноса бурового шлама: дис. канд. техн. наук. Кривой Рог, 2008. 212 с.

## НЕВОЗМОЖНОГО НЕТ, НЕТ АБСОЛЮТНЫХ ИСТИН

**Орлов Ю. В.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[orlove79@yandex.ru](mailto:orlove79@yandex.ru)

Аннотация: Многие известные нам истины при изменении некоторых дополнительных условий могут оказаться неверными, может не наступить абсолютно ожидаемое событие либо наступить то, чего вроде бы быть никогда не могло. Поэтому все строгие утверждения и теоремы на самом деле кроме точного описания ВСЕХ условий всё же должны иметь более осторожный вид вывода «скорее всего получим...», «почти никогда не получим...».

Ключевые слова: Утверждения, теорема, истина, ложь, посыл, заключение, не следует, следует, импликация, практически невозможное, практически достоверное, нарушение закона.

Большинство людей уверены, что есть единственная *истина, правда* и она объективна, не зависит от того, кто её наблюдает. На самом деле это далеко не так – прежде верное высказывание при некотором изменении дополнительных условий может оказаться ложным, либо при тех же условиях теоремы можно получить совсем другой результат.

Классическим примером такой истины можно взять решение квадратных уравнений, где при отрицательном дискриминанте учителя средней школы часто говорят: «Решений нет». На самом деле следует говорить: «Нет действительных решений», т.к. в институтах будут введены комплексные числа, на которых многочлен любой конечной степени  $n$  имеет такое количество корней с учётом их кратностей (числа повторений). Тогда квадратное уравнение на множестве комплексных чисел всегда имеет два решения (сопряженных при рациональных коэффициентах и отрицательном дискриминанте). Возможно, и этот полный ответ когда-то будет расширен с введением нового числового множества и новых правил нахождения корней.

Иногда получается, что при нахождении в одном месте несколько человек по-своему видят один и тот же предмет, некоторый объект (см. Рис.1). А как же объективность восприятия? Как же единственность истины?

Печально, что часто обладающие властью или могуществом люди или группа людей считают, что именно им известна истина. Других, кто не согласен с этим вариантом истины, они воспринимают, как врагов, достойных уничтожения. Того, что именно их вариант истины может на самом деле быть неверным, они даже допустить не могут. Примерами

такого отношения к инакомыслящим может быть и разгул инквизиции, и истребление во Франции гугенотов и советские гонения как на генетику, так и на кибернетику.

Даже когда мнение кого-то кажется абсурдным и абсолютно неверным, следует каждый раз в глубине души помнить фразу (рис.1.1) «То, что ты прав, не означает, что он ошибается. Ты просто не видишь жизнь так, как видит её он».



Рисунок 1.1 Оба человека наблюдают одну и ту же вещь, результаты наблюдения различны, и оба при этом правы!

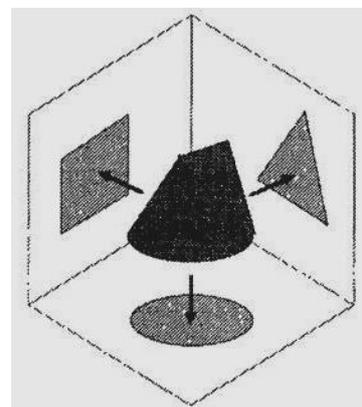


Рисунок 1.2 А так будет прав каждый из трёх наблюдателей – с разных сторон объект выйдет и как квадрат, и как треугольник и как круг.

В классической логике допускается *только два* значения переменных величин – либо истина, либо ложь (либо 1, либо 0; белое либо чёрное; ...). На самом деле, в реальных случаях всё гораздо сложнее – часто кроме двух крайних позиций существует множество промежуточных. Даже в монохромном случае кроме белого и чёрного цветов имеется огромное количество полутонов, а в случае многоцветовой палитры их ещё больше. То, что некоторый человек не является плохим, не следует, что он хороший – существует множество промежуточных оценок для людей.

В теории вероятностей в качестве основы вводятся невозможные и достоверные события. *Невозможное* событие не может произойти ни в одном испытании (опыте), *достоверное* наблюдается в каждом испытании. В реальных случаях мне неизвестны ни абсолютно невозможные, ни абсолютно достоверные события. Обычно говорят о *практически невозможных*, когда их вероятность меньше порогового значения  $\varepsilon$ , и о *практически достоверных* событиях с отличием их вероятности от 100% менее того же  $\varepsilon$ .

Ранее в качестве практически невозможного события я приводил падение метеорита в институт за рассмотренную лекцию. Вероятность этого события хоть и не нулевая, но очень мала. А потом 15 февраля 2013 года во время первой пары над Челябинском взорвался

метеорит (почти мгновенно сбылось чьё-то пожелание в день святого Валентина достать с неба звезду).

При просьбе привести пример события, которое произойдёт со 100%-ной достоверностью, большинство людей приводит в пример фразу «утром Солнце встанет». Тут можно привести несколько контрпримеров:

Достаточно уехать на север за *Полярный круг*. Там ночь длится несколько месяцев и Солнце никогда не появляется из-за горизонта, даже утром. А в полярный день там при круглосуточной светимости Солнца нет привычного заката, нет и привычного восхода;

Если за час до рассвета сесть в самолёт и лететь с обычной скоростью около 900 км/ч *на запад*, то восхода не увидим ни через час, ни через пять и так, пока самолёт не сядет и не дождётся восхода на этой долготе;

Опустившись в шахту или другое не связанное с внешним миром убежище, мы не будем достоверно знать, что Солнце на самом деле взошло, и мы уже не сможем утверждать, что это действительно произошло. Возможно, в силу каких-либо катаклизмов это произойдёт в другое время или не наступит уже никогда...

Обобщая уже приведённые и будущие примеры можно сформулировать правило: очень сложно привести пример абсолютно достоверного и абсолютно невозможного событий. Обобщая, можно сформулировать его и так «Неизвестно абсолютно верных и абсолютно ложных высказываний». Фразы здесь применяются осторожные, так как и к ним сказанное тоже относится.

Рассмотрим случаи нарушения заученных с детства истин.

#### *Примеры*

Всем привычное правило «Дважды два равно четыре» считается эталоном незыблемой, абсолютной истины. Но и оно может нарушаться:

Вспомним, что оборот «дважды» обычно заключается в двукратном повторении некоторого действия. Тогда дважды записывая двойку, получим 4, « $2 \cdot 2 = 4$ », что является неверным.

Если при обычном умножении чисел применить четверичную систему счисления с применением только цифр 0,1,2,3 невозможно одной цифрой описать число 4 (которого не существует), получим полный разряд (четвёрку) и нулевой остаток. Тогда  $2 \cdot 2 = 10_4$ .

В троичной системе с цифрами 0,1,2 для записи чисел результатом станет полный один разряд (тройка) и остаток 1, что выглядит так  $2 \cdot 2 = 11_3$ .

Для обычного человека эти верные записи кажутся неверными.

Продолжая прошлый пример, можно вспомнить не всем понятную шутку программистов «Типов людей только 10 – те, кто разбирается в *двоичной* системе, и те, кто не разбирается».

Если отпустить из руки камень, то он полетит к центру Земли и вскоре упадёт на её поверхность. Если бросить его под углом к горизонту, то камень будет двигаться по параболе и вскоре упадёт на Землю». Это утверждение кажется абсолютно верным, мы твёрдо уверены, что это верно всегда.

Если камень отпустить на космической станции в условии невесомости, то он останется на месте и утверждение о его падении на Землю станет *неверным*.

Если присвоить камню первую космическую скорость под углом к горизонту, то камень выйдет на эллиптическую орбиту, какое-то время будет вращаться вокруг планеты в качестве её спутника, не падая на неё (пока не снизится скорость).

Мы твёрдо уверены, что вода замерзает при температуре 0°C. На самом деле, дистиллированная вода с отсутствием центров кристаллизации может быть охлаждена до -25 градусов Цельсия без её замерзания, получая переохлаждённую воду. Далее достаточно легкого удара по емкости с ней, чтобы начался быстрый процесс её оледенения.

Имеется и другой парадокс – горячая вода с сохранением одинаковых внешних условий (вопреки многим законам физики) замерзает быстрее, чем холодная. Этот эффект до сих пор физики не могут объяснить, но хоккейное поле заливают именно горячей водой, что существенно уменьшает время его застывания и позволяет уложиться в 15-минутный перерыв между периодами.

Как считаете, верно ли такое высказывание «*Если Париж – столица России, то  $2+3=0$* »?

Большинство людей хором ответят, что нет, неверно! Но это не так! Оно имеет вид импликации  $A \rightarrow B$ , где посыл  $A$ -*Париж является столицей России*, что неверно. *Импликация* становится *неверной* со значением 0 *только когда* верному посылу соответствует неверное заключение, чего здесь не наблюдается. Тогда при любом логическом значении заключения. В такая импликация имеет значение 1, она является верной!

С детства мы выучили фразу «От перестановки слагаемых сумма не меняется», позднее такую же фразу заучили и для неизменности произведения при перестановке множителей.

Во фразах «Пришёл и заболел» и «Заболел и пришёл» совсем разный смысл, в них от *перестановки* слагаемых результат *меняется*.

Да, это не совсем слагаемые и результат совсем не их арифметическая сумма, но после перестановки изменяется результат. И в химии при смешивании веществ важно, какое вливают – в другом порядке реакция может быть иной.

Для знакомых с высшей математикой напомним:

При бесконечном числе слагаемых и *условной сходимости* полученного ряда можно подобрать перестановку и группировку слагаемых так, что новая сумма может стать любым числом;

Перестановка сомножителей тоже иногда даёт иной результат: в случае перемножения матриц *обычно*  $A \cdot B \neq B \cdot A$  (хотя иногда возможно и равенство);

Для векторного произведения векторов  $\vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{b} \times \vec{a})$  (с результатом по правилу буравчика), при перестановке множителей результат изменит знак и направление на противоположное.

В этих примерах перестановка векторов *всегда* меняет знак векторного произведения, а вот при перестановке матриц в их произведении результат может отсутствовать, при его получении он скорее всего отличается от исходного либо не отличается!!!! Вот такое странное правило даже в высшей математике!

В математике любое утверждение формулируется в виде *теоремы* вида  $A \Rightarrow B$  и требует доказательства. При этом  $A$  – посыл (набор условий), одновременное выполнение которых должно приводить к выполнению заключения  $B$ .

Теорема, утверждение являются *верными* (непротиворечивыми), если при одновременном выполнении всех условий её заключение обязательно окажется верным. Если посыл содержит логические переменные, то можно в условиях добавить, что утверждение справедливо при любых их логических значениях.

Например, Теорема «Сумма внутренних углов треугольника равна  $180^\circ$ » оперирует с произвольным треугольником и может формулироваться «Для любого треугольника сумма его внутренних углов равна  $180^\circ$ »; Другая теорема «Сумма чётных чисел является чётным числом» может формулироваться «Для любого конечного количества чётных целых чисел их сумма является чётным числом» и т.д.

Теорема является *неверной* (противоречивой), если найдётся хотя бы один набор значений переменных, при котором все части посыла окажутся верными, но заключение при этом окажется неверным (не выполнится).

Если для, казалось бы, верной теоремы при изменении какого-либо условия (как учтённого, так и не учтённого в посыле), произойдёт нарушение заключения, то теорема или утверждение в этом виде являются неверными.

Пока рассмотрены примеры с невыполнением того, что вроде бы обязательно должно выполняться. Можно привести и такие примеры, когда выполняется то, чего не должно никак произойти. В качестве примера советую читателю попробовать из шести спичек или равных по длине карандашей сложить 4 равных треугольника (концы спичек должны быть встык, ломать их не разрешается). Советую здесь сделать паузу и попробовать это выполнить, не читая пока следующего предложения.

Да, на плоскости это выполнить невозможно, но если вспомнить о трёхмерном пространстве, то задача решается элементарно – спички должны стать рёбрами трёхгранной пирамиды (тетраэдра).

Можно вспомнить и задачу о трёх домах и трёх колодцах: требуется три дома соединить с тремя колодцами дорожками так, чтобы они не пересекались. В теории графов доказывается, что требуемый граф  $K_{3,3}$  не является планарным (плоским) и его невозможно изобразить ни на плоскости, ни на сфере без пересечения рёбер. Но если нельзя, но очень нужно, то для хотя бы одной дорожки придётся сделать мостик над другой дорожкой. Здесь, как и в задаче со спичками поможет переход в третье измерение.

Вместо применения мостиков можно граф  $K_{3,3}$  уложить на торе (бублике) без пересечения рёбер (см. Рис.2).

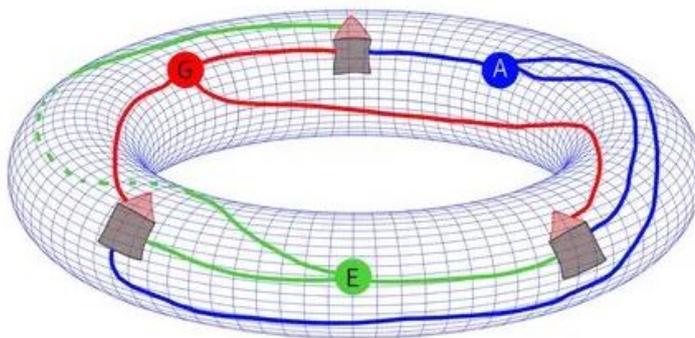


Рисунок 2 – Укладка графа  $K_{3,3}$  на торе

Можно привести ещё немало примеров задач, которые кажутся нерешаемыми. Расширяя некоторые понятия или применяя новые измерения, неизвестные ранее приёмы нерешаемая задача может всё же получить решение.

Читатель с обсуждаемой фразой может сразу не согласиться. Как же нет абсолютных истин? А аксиомы математики, начала термодинамики, различные физические константы? Они-то верны и константы неизменны!

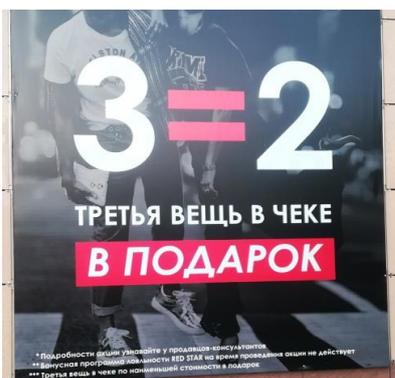


Рисунок 3

Другие рекламные объявления часто кричат « $1+1=3$ ». И никто этому не удивляется, не протестует, хотя это ложь.

- Скорость света считается постоянной. На самом деле, это выполняется только в вакууме, она *меняется* в разных средах, что определяет преломление света на границах этих сред.

- Фильм с названием «Самый лучший фильм» по мнению многих посмотревших его таковым на самом деле не является.

- Ещё одна корректировка общепринятой информации, на Рис. 4 указана продолжительность земных суток. Даже это значение не совсем точно. Планета не идеально точно вращается, в паре с Луной и длительность суток (полного оборота вокруг её оси) меняется для некоторых суток до нескольких секунд.



Рисунок 4 Сутки  $\neq$  24 ч?

- Ранее единицы измерения времени были привязаны к периодичности вращения Земли, что предполагалось постоянным и неизменным.

- По рис. 4.1 видно, что коррекция годов проводится достаточно часто.

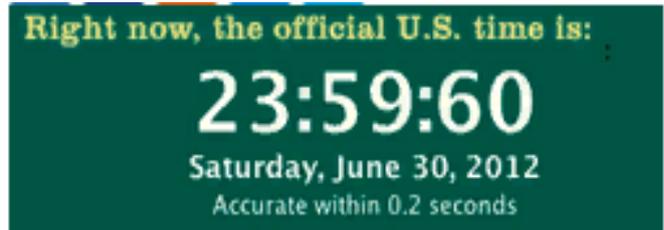
Год	30 июня 23:59:60	31 декабря 23:59:60
1972	+1 секунда	+1 секунда
1973		+1 секунда
1974		+1 секунда
1975		+1 секунда
1976		+1 секунда
1977		+1 секунда
1978		+1 секунда
1979		+1 секунда
1981	+1 секунда	
1982	+1 секунда	
1983	+1 секунда	
1985	+1 секунда	
1987		+1 секунда
1989		+1 секунда
1990		+1 секунда
1992	+1 секунда	
1993	+1 секунда	
1994	+1 секунда	
1995		+1 секунда
1997	+1 секунда	
1998		+1 секунда
2005		+1 секунда
2008		+1 секунда
2012 <sup>[1]</sup>	+1 секунда	
2015 <sup>[2]</sup>	+1 секунда	
2016 <sup>[3]</sup>		+1 секунда

Прежде считали, что *секунда* составляет 1/86400 от суток (времени полного оборота планеты вокруг своей оси).

На самом деле оказалось, что это вращение имеет изменяющийся период. При этом в среднем каждые сутки на планете Земля длиннее предыдущих суток на 0,00000002 секунды, что составляет 13 секунд за столетие! В частности, и из-за этого астрономы вынуждены вносить в некоторые годы дополнительную коррекционную секунду (см. Рис.4.2).

Рисунок 4.1 – Коррекция времени

Сейчас считается, что *Секунда* — время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 (Википедия).



Захват экрана часов UTC с [time.gov](http://time.gov) с дополнительной секундой, 30 июня 2012 года, 23:59:60.

Рисунок 4.2

- В геометрии Евклида сумма внутренних углов любого треугольника всегда даёт сумму 180°.

Одна из аксиом геометрии Евклида говорит о *единственной* прямой, проходящей через заданную точку параллельно заданной прямой.

Отказ от этой аксиомы привёл к созданию неевклидовых геометрий Лобачевского, Римана, Миньковского и т.д. В них немного иначе описывается определение прямой линии и их параллельность. В них изменяется и вид треугольников.

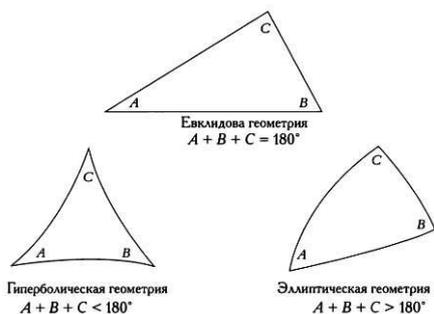


Рисунок 5

Из рис.4 видно, что сумма внутренних углов треугольника оказывается или меньше или больше  $180^\circ$ .

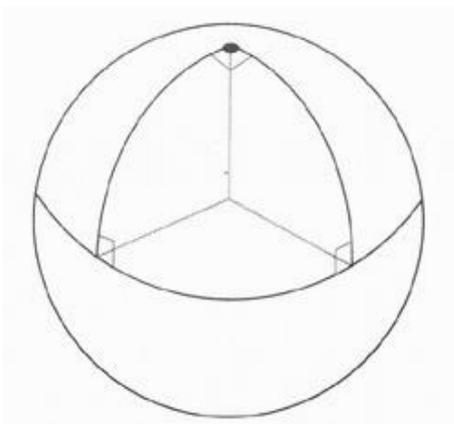


Рисунок 6

Возьмём арбуз, разрежем ножом от его макушки (северного полюса) по прямой и дойдём до его экватора. От этой точки вдоль экватора станем резать под углом  $90^\circ$  к первому надрезу. Пройдя четверть экватора, снова повернём на  $90^\circ$  и вернёмся в начальную точку, вырежем кусок арбуза (см. Рис.5). Его корка будет в форме *сферического треугольника* и все три его угла будут по  $90^\circ$ . То есть сумма внутренних углов у этого «треугольника» вместо  $180^\circ$  станет  $270^\circ$ .

- Для довольно «продвинутых» читателей, хорошо изучавших алгебру на границе 10-11 классов, удастся вспомнить *геометрический смысл производной*. Многие учебники формулируют его так «Производная функции в точке равна тангенсу угла наклона касательной в соответствующей точке её графика».

На самом деле это не совсем так! В самом начале учебника обычно присутствует фраза, что далее графики будем строить в *декартовой* системе координат, где оси перпендикулярны и единичные отрезки имеют *равные длины* (о чём позднее все забывают).

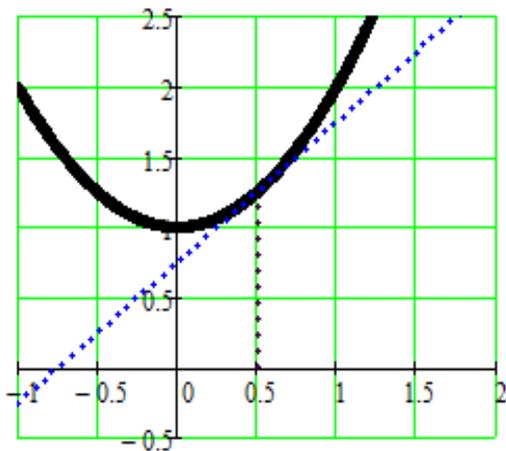


Рисунок 6.1

Тогда прямая  $y = x$  проходит через начало координат под углом  $45^\circ$ .

Если же длины единичных отрезков различны, то та же прямая  $y = x$  с прохождением через точку  $A(1;1)$ . Рисунок 6.1 имеет тангенс видимого наклона, равному отношению длин единичных отрезков и угол наклона будет более  $45^\circ$ , если вертикальный единичный отрезок длиннее либо менее  $45^\circ$ , если он короче.

Например. Для функции  $f(x) = x^2 + 1$  её производная  $f'(x) = 2x$ , которая при  $x = 0,5$  имеет значение  $f'(x) = 1$ , тогда в декартовых координатах её наклон будет  $\varphi_1 = 45^\circ$ .

На рис.6.1 в декартовых координатах изображен график функции (более жирно) и пунктиром изображена касательная в точке с абсциссой  $x=0,5$ .

Её наклон именно  $\varphi_1 = 45^\circ$ .

На рис. 6.2 и 6.3 построен тот же самый график, но с другими соотношениями масштабов по координатным осям. Соответственно меняется видимый угол наклона касательной, на рис.6.2 он более  $45^\circ$  и на рис.6.3 он меньше  $45^\circ$ .

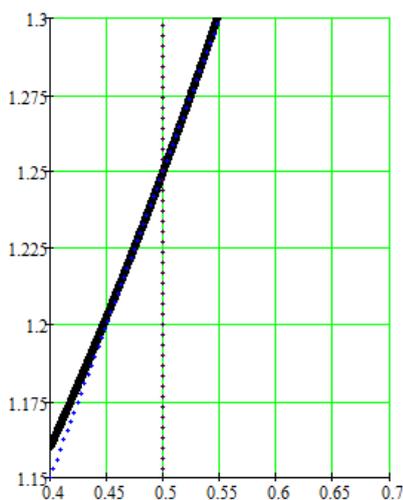


Рисунок 6.2

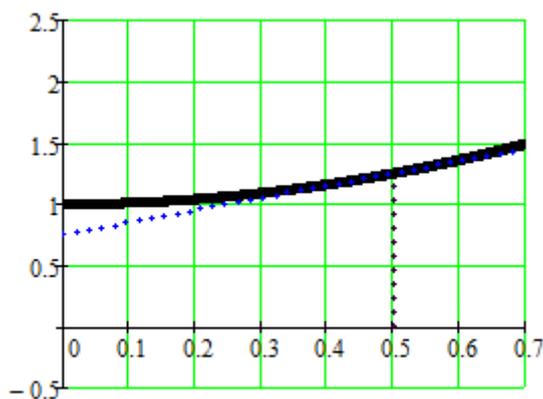


Рисунок 6.3

Более точно правило должно звучать так: «Производная функции одной переменной в заданной точке даёт *угловой коэффициент* касательной в соответствующей точке её графика, который в декартовой системе координат равен тангенсу угла наклона такой касательной».

- Вспомним знаменитое число  $\pi=3, 141592\dots$ . Оно определяется, как отношение длины дуги окружности к её диаметру и это число действительно является *постоянным*. Но это только в привычной нам *евклидовой метрике* (расстоянии между точками) на плоскости по правилу  $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$  (по кратчайшему расстоянию между точками, теорема Пифагора).

Тогда точка  $K(x, y)$  лежит на окружности радиуса  $R$  с центром  $M(x_0; y_0)$ , если расстояние от неё до точки  $M$  остаётся постоянным, для её координат выполнено  $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$ .

В другой, *манхэттенской метрике* расстояние между двумя точками с известными координатами  $d = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|$ . Это как в Нью-Йоркском Манхеттене, где передвигаться можно только по двум видам перпендикулярных улиц: стритам и авеню.

Тогда измерять расстояние между точками нужно как сумму кварталов по стритам и по авеню до нужного места.

При этом точки  $K$  с одинаковым расстоянием  $R$  до центра  $M(x_0; y_0)$  образуют квадрат с таким центром и диагоналями длиной  $2R$  вдоль координатных осей со сторонами квадрата  $\sqrt{2}R$  (см. рис.7).

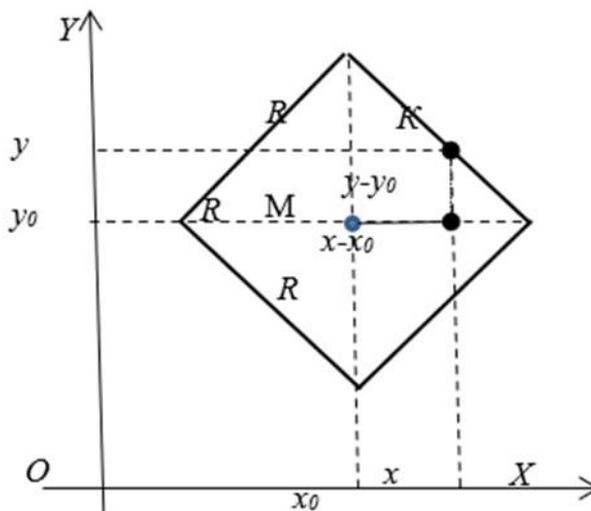


Рисунок 7 – Множество точек, в манхэттенской мере удалённых от точки  $M$  на расстоянии  $R$ , для них  $|x - x_0| + |y - y_0| = R$ .

Получили такой вид окружности в манхэттенской метрике, её длина (периметр) равна  $4 \cdot \sqrt{2}R$ . По отношению к удвоенному радиусу эта длина даёт уже значение  $2 \cdot \sqrt{2} \approx 2,828$  для числа  $\pi$  в этой метрике.

В других метриках под определение окружности попадают другие линии и получим другие значения числа  $\pi$ .

Думаю, что и другие константы остаются таковыми при определённом наборе неучтённых параметров, физических или иных свойств области пространства. В других случаях они могут изменяться, и даже могут быть функциями от тех самых неучтённых параметров.

*Резюме:* Нарушения общепринятых истин и утверждений, которые, казалось бы, незыблемы, можно приводить много и долго. Верность некоторых оценок истинности является субъективной и зависит от точки зрения наблюдателя. Верность большинства высказываний, утверждений, теорем и даже аксиом зависит от дополнительных условий, абсолютных истин не существует.

Хотя и это высказывание можно попробовать оспорить.

# ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Дильдин П.Е., Пельц Д.А., Закураев В.В., Николаев Н.А.

*1. АО КЗТС, г. Кировград*

*2. Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

*dildin@kzts.ru*

*vzakurayev@mail.ru*

**Аннотация:** Представленная в статье методика определения экономически целесообразных режимов механической обработки позволяет путем моделирования возможных производственных условий устанавливать эффективные области режимов.

**Ключевые слова:** Режимы эксплуатации инструмента, многокритериальная оптимизация режимов обработки, алгоритм.

Стратегическая независимость от зарубежных производителей обеспечивается созданием новых конструкций режущих инструментов из твердых сплавов. В процессе разработки и создания отечественных видов инструментов, с учетом многочисленной номенклатуры (видов, типоразмеров СМП, их геометрических параметров и др.) значительно возрастает объем и трудоемкость оценки качественных (в том числе и сравнительных) характеристик инструментов выпускаемых АО КЗТС и зарубежными фирмами. Результаты сравнительных испытаний повышают эффективность всего комплекса работ (структурообразование, химсостав сплава и виды покрытия) по созданию и выпуску режущих инструментов. Установление износостойких характеристик различных видов инструмента необходимое, но недостаточное условие повышения качества и конкурентоспособности инструмента. Необходимо выявить режимы наиболее рациональной эксплуатации (применения) режущего инструмента (установить достигаемые показатели обрабатываемости). Эти данные необходимы для потребителей режущих инструментов.

В данной статье представлен опыт разработки метода определения технико-экономических показателей технологической операции, позволяющий установить эффективные для заданных условий, режимы обработки. Основой данного метода является многокритериальная оптимизация в соответствии с определением Парето-оптимальных решений. В нашем случае, с нахождением параметров процесса обработки, удовлетворяющих критериям: технологическая себестоимость, производительность и расход режущего инструмента.

Конечной целью данной работы является выработка обоснованных рекомендаций по эффективному применению режущего инструмента на предприятиях металлообработки.

Отличительной особенностью предлагаемой методики оптимизации является учет нескольких критериев – производительности (штучное время), технологической себестоимости и расхода инструмента. В качестве главного (обобщающего) критерия оптимизации в любом производстве принимаются суммарные затраты общества на производство данной продукции, т. е. себестоимость или связанная с ней полная стоимость операции. Все параметры системы, которые можно изменять произвольно (в допустимых границах) должны быть выбраны так, чтобы обеспечить минимум затрат труда на единицу производственной продукции. В качестве таких параметров используют элементы режима резания.

Конъюнктурные соображения иногда требуют отхода от экономически целесообразных режимов работы: часто требуется максимальная производительность (в случае полного набора заказов) или экономное расходование инструмента (когда его поставки минимальны). Игнорировать такие варианты деятельности в рыночных условиях невозможно. Оптимальная работа участка, цеха, завода зачастую диктует «неоптимальные» условия для какого-либо отдельного производственного процесса. В этом случае вместо одной оптимальной точки (глобальный экстремум) следует иметь целую область оптимальных (наилучших) значений параметров, например, в виде компромиссной кривой зависимости себестоимости от производительности (П-С), построенной по частным минимумам себестоимости при каждой заданной производительности. Совокупность таких точек называется множеством эффективных точек (множеством Парето). Именно эта зависимость П-С позволит администратору, экономисту, технологу решать оперативные вопросы производства. Такие зависимости могли бы стать исходным материалом для оптимизации производства на более высоком уровне.

В целом данная задача предусматривает последовательное выполнение следующих этапов:

- построение математической модели технологической системы;
- назначение пределов параметров системы, выбор функциональных и критериальных ограничений;
- построение алгоритма расчетов и реализация его на ЭВМ;
- выполнение процедуры оптимизации (выбор вариантов и построение области эффективных условий).

Первые два пункта методики достаточно хорошо разработаны и изложены в различных литературных источниках [1], [2]. Важным, в данном случае, является создание алгоритма решения поставленной задачи.

### **Алгоритм определения эффективного режима резания**

Технические требования к изделию, а также возможность всей технологической системы определяют параметрические, функциональные и критериальные ограничения.

Параметрические ограничения (1) и (2) определяемые набором частот вращения и подач станка образуют двумерное пространство  $\pi$  (рисунок 1).

$$n_1 \leq n \leq n_d \quad (1)$$

$$s_1 \leq s \leq s_d \quad (2)$$

Функциональные ограничения (3-5), т.е. допускаемая станком сила резания (подачи), мощность двигателя привода главного движения, шероховатость обработанной поверхности. Вместе с (1-2) определяют множество  $G \subseteq \pi$ .

Параметрические и функциональные ограничения системы резания практически всегда ограничены техническими характеристиками обрабатывающего станка. На сегодняшний день диапазоны мощности привода, силовых параметров процесса, сечения корпусов инструментов и размеры сменных многогранных пластин (СМП) согласованы с размерами рабочей зоны станков и можно считать уже установленными, т. е. определены.

Эти ограничения вырезают в  $\pi$  некоторую часть точек с координатами,  $n_i, S_{zj}$ , удовлетворяющих одновременно ограничениям (1-2) и (3, 4, 5). (рис. 1)\*

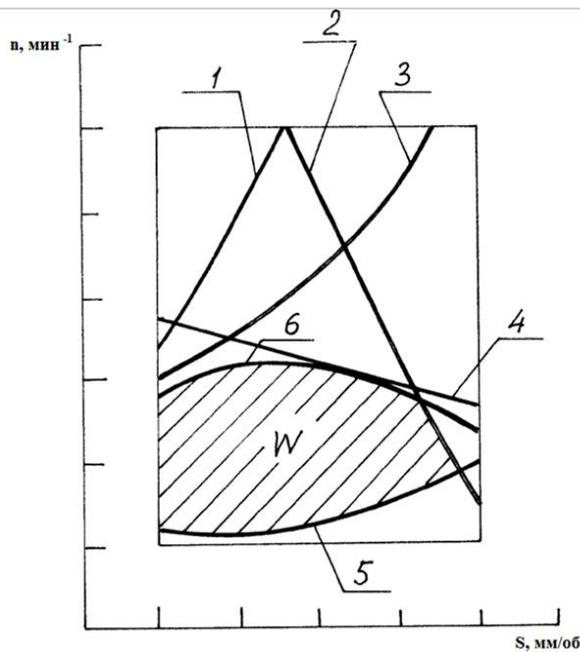
$$P_z = f(n, s) \leq P_{z\text{доп}} \quad (3)$$

$$E_p = f(n, s) \leq E_{p\text{доп}} \quad (4)$$

$$T = f(n, s) \leq T_{\text{доп}} \quad (5)$$

Технико-экономические критерии – производительность, себестоимость, либо расход инструмента рассчитывается по известным формулам [1]. При необходимости, значения критериев могут быть ограничены. В этом случае определяется множество допустимых значений подач и частот вращения – множество  $W$  (рис.1, заштрихованная область);  $W \subseteq G \subseteq \pi$ .

Тогда наилучшие сочетания элементов режима резания находятся среди точек множества  $W$ .



1. Ограничения по силе резания –  $P_z$
2. Ограничения по стойкости инструмента –  $T$
3. Ограничения по качеству поверхности –  $R_a$
4. Ограничения по мощности резания –  $E_p$
5. Ограничения по себестоимости –  $C_{\text{мин}}$
6. Ограничения по производительности –  $\Pi$

Рисунок 1

Следующим этапом является процедура выбора в множестве  $W$  совокупности частот вращения и подач, соответствующих минимуму себестоимости обработки при каждой заданной производительности (либо минимуму расхода инструмента на операцию, либо максимуму производительности). Совокупность этих  $n_i$  и  $S_j$  называется множеством эффективных точек –  $E$ . Это множество выделяется на основе построения паретовского множества. Множество Парето находится в пространстве критериев, в данном случае – "Операционная производительность – технологическая себестоимость", рис. 2.

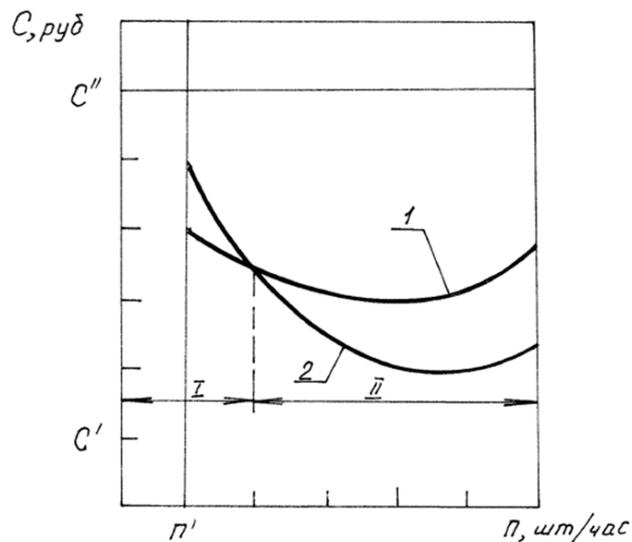


Рисунок 2 – Зависимость «Операционная производительность» - технологическая себестоимость»; 1,2 – компромиссные кривые для операций, выполняемых различными инструментами.

На следующем шаге осуществляется сравнение компромиссных кривых, по результатам которого принимается решение о целесообразности применения того или иного инструмента, а также определения экономически целесообразных режимов его работы. Например, в соответствии с рис. 2, применение инструмента 2 является предпочтительным перед инструментом 1 в диапазоне производительностей  $\Pi$ , т.к. обеспечивается снижение себестоимости при одновременном увеличении производительности. Режимы резания  $n_i$  и  $S_j$ , для инструмента 2, соответствующие области производительности  $\Pi_{>}$  следует считать экономически целесообразными.

Таким образом эффективные условия операции механической обработки определяются на основе построения допустимого, а затем к паретовского множества решений и выделения на нем эффективных условий.

### Исходные данные для расчетов

Исходными данными для выполнения расчетов являются:

1) Экспериментальные зависимости вида  $h_3 = f(\tau)$ , полученные для всех комбинаций выбранных значений  $V_{min}$ ,  $V_{max}$ ,  $S_{min}$ ,  $S_{max}$  методом планирования экспериментов (4 опыта). Определение времени работы лезвия до заданного износа  $T_i$ ,  $i = 1 \dots 4$  осуществляется путем экстраполяции полученных данных до пересечения с уровнем предельного износа  $h_g = h_{доп}$  (рисунок 3)\*.

2) На этом этапе для дальнейшего расчета используется уравнение Тейлора вида

$$V = K \left( \frac{C}{T \cdot S^{a_2}} \right)^{\frac{1}{a_1}}, \quad (6)$$

где  $V$  – скорость резания;

$T$  – заданный период времени работы инструмента;

$S$  – рабочая подача;

$K$  – поправочный коэффициент на условия операции;

$C$  – постоянный коэффициент;

$a_1, a_2$  – показатели степени.

Метод получения зависимости (6) представлен в статье данного сборника.

## Опыт № 1 V=Vmin, S=Smin

Задайте вектора значений h и t

h3 :=	0.11	t3 :=	5
	0.12		10
	0.15		15
	0.18		20
	NaN		NaN

Номер начальной точки для обработки n1 := 1

Номер конечной точки для обработки n2 := 4

Уровень для определения T T0 := 0.5

$$T1 := \frac{(T0 - b)}{a} = 87.5$$

$$T_{1,1} := 0.8T1$$

$$T_{1,2} := T1$$

$$T_{1,3} := 1.2T1$$

$$x := t3_{1..T1}$$

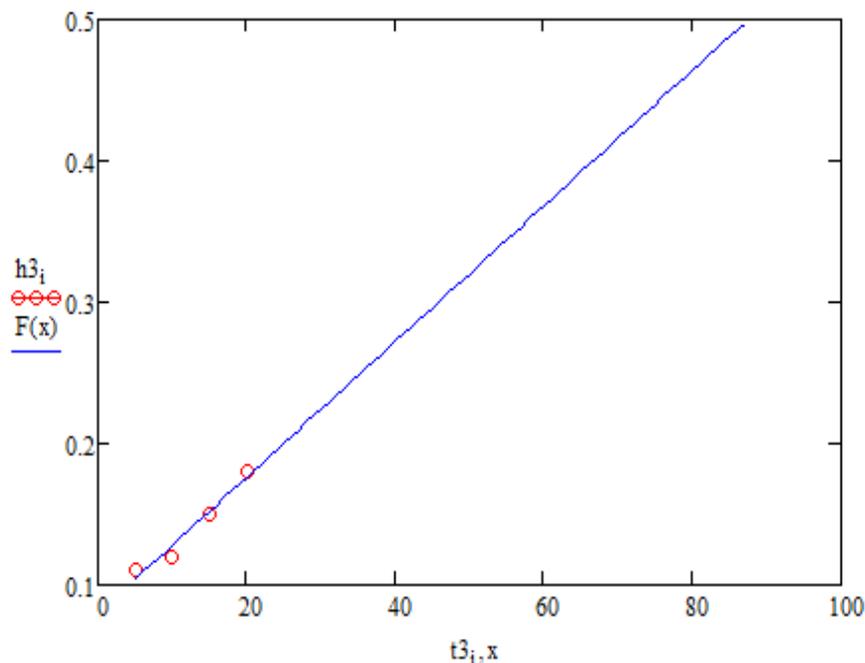


Рисунок 3 – Экстраполяция результатов опытов по измерению величины износа

3) При определении технико-экономических показателей технологической операции используются результаты второго этапа алгоритма.

Для имеющегося набора значений ( $V_i, S_i$ ) вычисляются:

- период времени работы (период стойкости) инструмента  $T$ ;
- основное время обработки

$$t_{0(s,v)} = \frac{\pi \cdot L \cdot D \cdot i_p}{1000 \cdot V \cdot S'} \quad (7)$$

где  $L, D$  – параметры заготовки (длина прохода и диаметр);

$i_p$  – число проходов.

Штучное время обработки заготовки

$$t_{шт} = t_n + t_0 + t_c(t_0/T), \quad (8)$$

где  $t_n, t_c$  – время работы с инструментом.

Технологическая себестоимость

$$C_T = C_M \cdot t_{шт} + C_n(t_0/T), \quad (9)$$

где  $C_M$  – стоимость станка (минуты);

$C_n$  – стоимость периода стойкости инструмента.

Производительность обработки

$$P = 60/t_{шт}, \quad (10)$$

Расход СМП на 1000 деталей

$$R = \frac{1000t_0}{q \cdot T(1 - V_{var})}, \quad (11)$$

где  $q$  – число режущих кромок СМП;

$V_{var}$  – коэффициент вариации периода стойкости инструмента.

Для выполнения технико-экономических расчетов по разработанной программе созданы справочные таблицы, содержащие необходимые данные к определению стоимости станкоминуты –  $C_M$ . Справочные данные содержат различные виды и марки современных станков токарной группы, наиболее часто применяемых в отечественном машиностроении.

Другая часть информационного обеспечения содержит данные по параметрам режущего инструмента, включая и стоимостные параметры.

Пример работы программы определения  
эффективных режимов обработки

3. Карта исходных данных ТЭП			
Наименование (номер) - Труба			
Материал заготовки - СТ.40ХН			
Диаметр, D - D := 50		Модель станка - Weiler DZ45	
Длина, L - L := 300		Ряд с коростей резания -	v := $\begin{pmatrix} 114 \\ 156 \\ 228 \\ 294 \\ 354 \end{pmatrix}$
Глубина резания, t - t := 1.5			
Число проходов, ip - ip := 2			
Обозначение СМП - SNMM - 150412		Ряд рабочих подач - s := $\begin{pmatrix} 0.15 \\ 0.20 \\ 0.25 \\ 0.40 \end{pmatrix}$	
Количество режущих кромок, q - q := 4			
Нормативный коэффициент вариации, var - var := 0.2			
Квантиль норм. распределения, U - U := 1.282		Стоимость станкоминуты, Cm - Cm := 13.6	
Коэффициент условий обработки, K1 - K1 := 1.2		Стоимость периода стойкости, Cps - Cps := 438.0	
Коэффициенты в формуле стойкости - C := 25200		Время смены инструмента, tc - tc := 6.0	
	a1 := 1.295	Затраты вспомогательного времени, tp - tp := 1.2	
	a2 := 0.284		

Рисунок 4 – Карта исходных данных для расчета

Выходные данные (рисунок 5) представлены листингом. Эти данные (область критериев) позволяют выявить необходимые значения технико-экономических показателей операции. Выбрав нужную область значений производительности ( $\Pi$ ) и допустимые значения затрат ( $C$ ), которые обведены в таблице (рисунок 5) устанавливаются соответствующие этим критериям режимы обработки (рисунок 7 – заштрихованная область).

Подача S мм/об	Скорость резания V м/мин				
"....."	"....."	"....."	"....."	"....."	"....."
" "	114	156	228	294	354
"....."	"....."	"....."	"....."	"....."	"....."
0.15	5.512	4.028	2.756	2.137	1.775
0.2	4.134	3.021	2.067	1.603	1.331
0.25	3.307	2.417	1.653	1.282	1.065
0.4	2.067	1.51	1.033	0.801	0.666
"....."	"....."	"....."	"....."	"....."	"....."
0.15	6.99	5.533	4.298	3.706	3.364
0.2	5.561	4.47	3.545	3.103	2.848
0.25	4.7	3.829	3.091	2.738	2.535
0.4	3.405	2.862	2.403	2.184	2.059
"....."	"....."	"....."	"....."	"....."	"....."
0.15	118.642	79.038	48.351	34.787	27.351
0.2	109.334	72.837	44.558	32.058	25.205
0.25	102.62	68.364	41.822	30.09	23.657
0.4	89.797	59.822	36.596	26.33	20.701
"....."	"....."	"....."	"....."	"....."	"....."
0.15	115.416	97.575	83.413	77.306	74.178
0.2	92.183	78.952	68.531	64.098	61.866
0.25	78.038	67.553	59.35	55.902	54.193
0.4	56.388	49.98	45.047	43.035	42.078
"....."	"....."	"....."	"....."	"....."	"....."
0.15	8.583	10.843	13.961	16.191	17.834
0.2	10.79	13.424	16.925	19.337	21.067
0.25	12.765	15.671	19.413	21.914	23.668
0.4	17.621	20.965	24.97	27.472	29.147
"....."	"....."	"....."	"....."	"....."	"....."
0.15	15.618	17.133	19.162	20.654	21.818
0.2	12.711	13.943	15.595	16.81	17.756
0.25	10.834	11.894	13.292	14.327	15.134
0.4	7.738	8.488	9.494	10.233	10.81

Основное  
время  
 $t_0$  мин

Штучное  
время  
 $t_{шт}$  мин

Период  
стойкости  
 $T$  мин

Технологическая  
себестоимость  
 $C_t$  руб

Производи-  
тельность  
 $P$  шт/час

Расход  
сменных  
пластин на  
1000 деталей,  
шт

Рисунок 5 – Пример выходных данных программы определения эффективных режимов обработки

Кроме численных результатов, в результате работы программы на печать выводятся графические зависимости, пример которых приведен на рисунке 6.

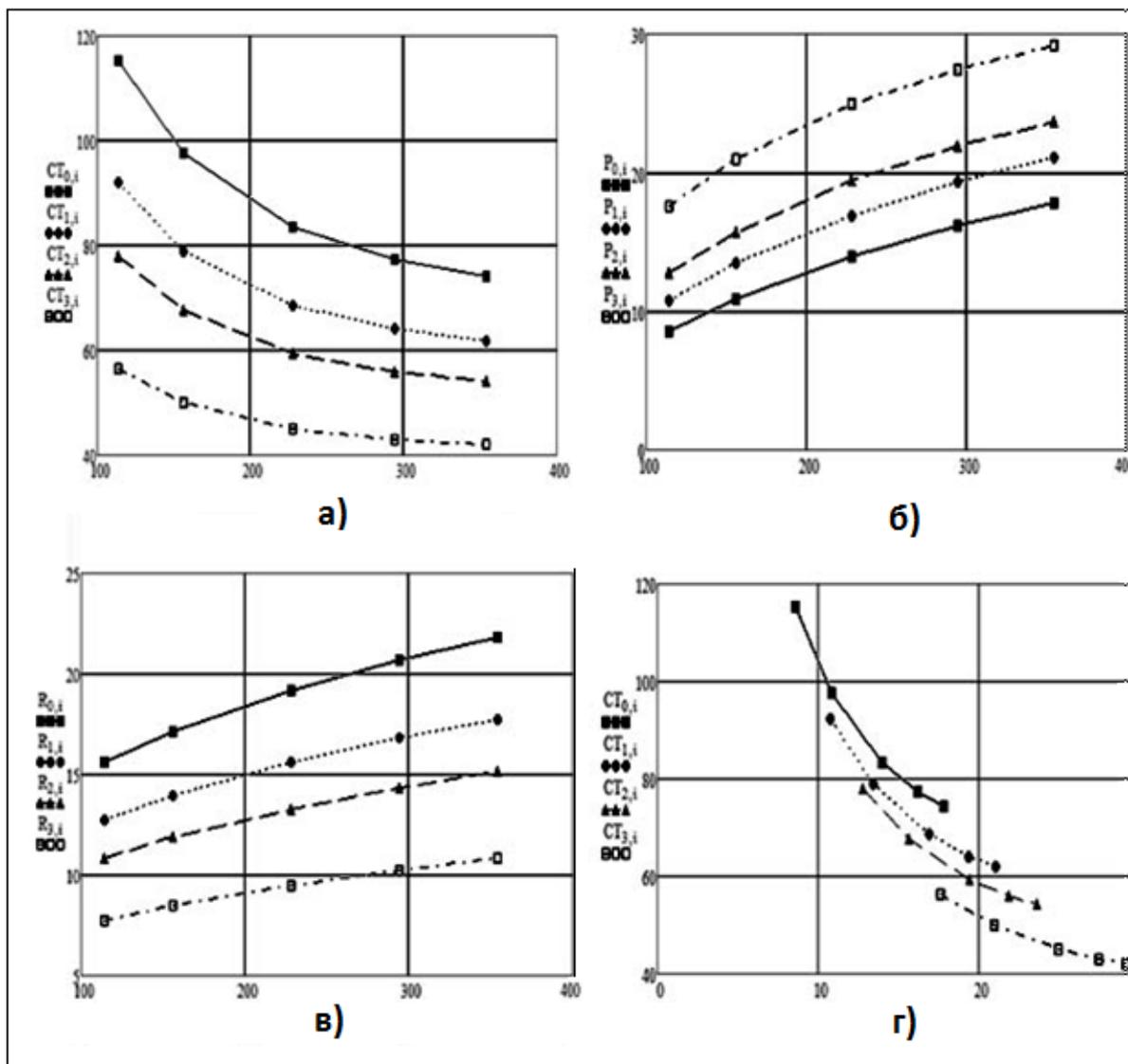


Рисунок 6 – Результаты работы программы в графическом виде

ба – Зависимости технологической себестоимости от изменения скорости резания и подачи;

бб – Зависимости производительности обработки от режимных параметров;

бв – Зависимости расхода инструмента от режимных параметров;

бг – Зависимости себестоимость - производительность С-П от заданных условий операции.

Область режимов (рисунок 7) обеспечит выполнение заданных условий. При этом также известны значения периодов стойкости и расхода режущего инструмента.

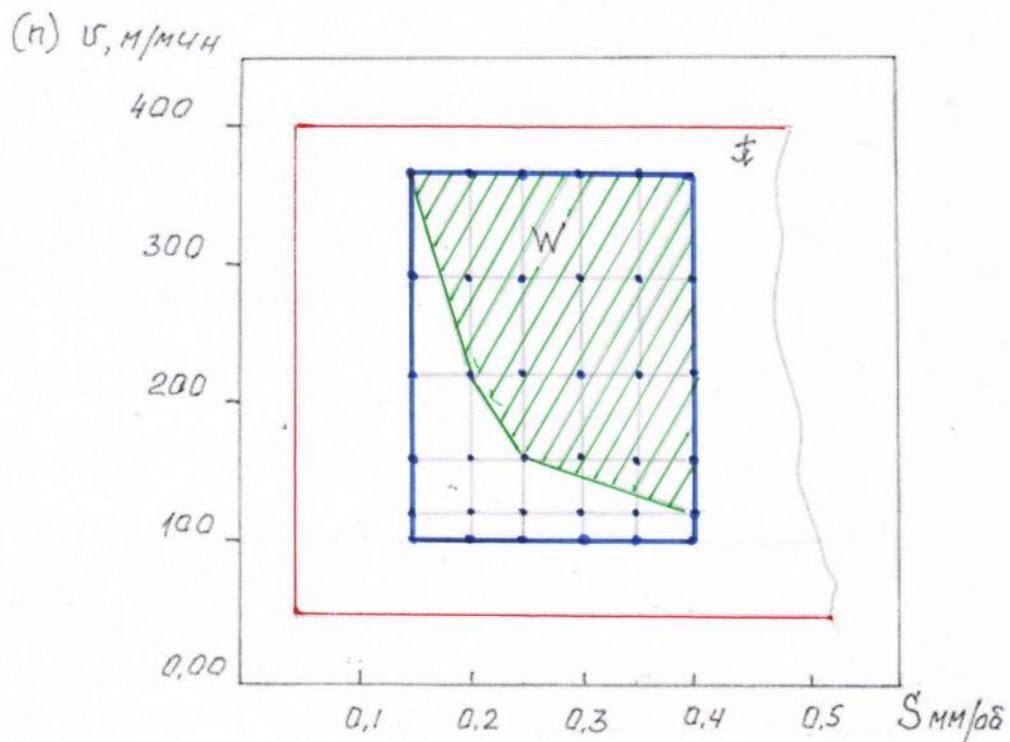


Рисунок 7 – Область эффективных режимов обработки ( $V, S$ ) в соответствии с заданными критериями  $P, C, R$

Представленная в данной работе методика определения экономически целесообразных режимов механической обработки позволяет путем модерирования возможных производственных сценариев устанавливать наиболее эффективные области режимов.

#### Литература

1. Якобс Г.Ю., Якоб Э., Кохан Д. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации. /Пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
2. Игумнов Б. Н. Расчет оптимальных режимов обработки для станков и автоматических линий. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.

# ПЕРЕДАЧА СУБЪЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ВОЛН ШУМАНА (ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА)

**Орлов Ю. В.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[orlove79@yandex.ru](mailto:orlove79@yandex.ru)

**Аннотация:** Три типа информации, их материальность. Анализ резонансов Шумана, новая формула для их частот. Связь положений мегаполисов на планете с зонами грозовой и дождевой активности. Передача информации с помощью поля Шумана и её влияние на окружающую среду.

**Ключевые слова:** Субъективная информация, Эмоции, Передача информации, Резонанс Шумана, Частоты Шумана, Передача мыслей, Мегаполисы и грозы, Мониторинг ионосферы, Эмоции и грозы, Высотные молнии.

По данной теме готовится доклад в виде отдельной книги. В этой достаточно краткой статье приводятся только тезисы такого доклада, которые сохраняют логику и аргументацию выводов. Практически каждый тезис содержит некую мысль, идею, которая имеет развёрнутое изложение в полном докладе со ссылками на источники.

## **Виды информации**

- Понятие ИНФОРМАЦИЯ является одним из самых распространенных, с ним сталкивается почти каждый житель Земли. При этом его понимание историком, журналистом, следователем, учителем физики, программистом и т.д. существенно различаются;
- Имеется не менее 50 различных определений *информации* в зависимости от области применения термина. Практически в каждом определении фиксируется, что это некое *послание* (данные, сигнал), которое один сознательный индивид (отправитель) с применением системы кодирования по каналу связи пересылает другому сознательному индивиду с возможностью её декодирования и осознания. Почти каждое определение отдельно подчёркивает *нематериальность* информации. Предполагаю, что такое понимание информации следует существенно расширить;
- Будем считать *материальным* то, что любым образом проявляет себя, вступая во взаимодействие с другими материальными объектами.

Тогда, помимо привычных материальных предметов (деревья, камни, компьютеры, грозы, энергетические и другие поля, ...) окажется, что *материальными* можно считать и мысли, эмоции, ауру человека.

Для этого имеется масса доказательств, включая технологию материализации мыслей и желаний, фотографии мыслей, доказанная телепатия, опыты Масару Эмото по разной форме льдинок при разных воспринимаемых эмоциях и т.д. ([1],[2],[3], [14],[15]);

Будем различать такие виды **информации**:

- **Первичная, объективная** информация, которая присуща каждому материальному (в широком смысле) объекту, а совокупность *всех* проявлений (видов) которой полностью описывает этот объект.

Это температура, масса, размеры (форма), плотность в разных частях, светимость, уровень радиации, ... (включая и показатели тех физических и других величин, которые пока нам неизвестны). Именно они показывают степень взаимодействия объекта с окружающим материальным миром.

Объективная информация об объекте существует *объективно, независимо* от человека или другого сознательного существа;

- **Вторичная, субъективная** информация получается в результате восприятия человеком (или другим сознательным существом) имеющейся первичной информации.

Это впечатления, эмоции, чувства, к которым можно добавить и мысли, желания, сны, идеи и т.д.

Данный доклад в основном опишет возможные *способы передачи* такой информации на расстояние и её взаимодействия с окружающей средой;

- Можно отдельным видом выделить часть вторичной информации, в создании (получении) которой сознание человека непосредственно не участвовало. Это **внесубъектная вторичная** информация. В первую очередь, это большая часть цифровой, как и другие виды обрабатываемой и хранящейся информации, которые пока *не осмыслены, эмоционально не переработаны человеком*.

К этому виду относятся и огромные массивы данных с адронного коллайдера, замеры различных показателей до их осмысления и составления сводных результатов, немалая часть информации из Интернета. Бумажные библиотеки без их прочитывания, рулоны непросмотренных фильмов, огромные массивы цифровой информации в виде непочитанных и непроанализированных данных лежат мёртвым грузом, это и назовём *внесубъектной вторичной* информацией. Если внезапно исчезнут люди на планете, то некому будет оценить и осмыслить эти массивы, информация останется бессмысленной и никому не нужной. Можно ли сказать то же самое про субъективную информацию?! При допущении наличия *информационных полей* Земли и Вселенной ответ окажется положительным.

Учтём, что по различным оценкам от 30 и даже чуть не до 50 процентов всей информации в Интернете приходится на порнопродукцию. Получается, что некоторая часть этой информации человечеством переработана, осмыслена с появлением соответствующих эмоций. [4]

### **Необходимость передачи субъективной информации**

- Многим знакома проблема выбора отеля для отдыха. При этом о каждом отеле известна достаточно *объективная* информация о нём: количество корпусов, год их постройки, удалённость от моря, тип питания и т.д. Часто прикладываются фото и даже видео, выложенные отельером, которые заведомо улучшены и являются рекламой, они предназначены показать отель с самой лучшей стороны (хотя могут иметься и негативные стороны, о которых в них обычно умалчивается).

Вот тут для адекватной оценки отеля большую роль играют реальные *отзывы* отдохнувших в нём туристов, их мнение об этом отеле именно как *субъективная информация* с указанием пережитых ощущений, чувств, полученных эмоций. При её анализе желательно, чтобы общее количество отзывов было не маленьким, ибо даже самый хороший отель кому-то может чем-то не понравиться. Следует учитывать и возможность искусственно созданных хвалебных отзывов. Так что следует анализировать и статистику, и эмоциональность отзывов, долю очень позитивных и долю негативных среди них.

Аналогично оценивается и качество, интересность книги или фильма по доле людей, кому они понравились, эмоциональность рассказов о них. Такой же метод оценки применим для любого объекта или субъекта, по отзывам о нём, оценки которого в большинстве своём субъективны и могут быть различными у разных людей;

- Современные школьники и студенты изучают предметы *информатика* и *теория информации*, которые рассматривают только часть информации в виде сообщений, сигналов, посланий. При этом анализируются как исторически сложившиеся способы хранения и передачи таких посланий, скорость их передачи в зависимости от носителя, так и системы кодирования и декодирования для защиты от воздействий и сохранения конфиденциальности, способы увеличить пропускную скорость передачи с применением современных форматов (текст, аудио, видео, стримы) и многое другое. Всё это имеет огромное значение для современного мира, позволяя на порядки увеличивать скорость и качество передаваемой информации за несколько лет исследования.

Если вдуматься в назначение этих методов, в смысл передаваемой информации, то, кроме управления некоторыми неодушевлёнными объектами с обратной связью, получим *основную цель* - общение людей как публично для целой группы людей, так и приватно один-на-один. А вот тут уже для информации помимо содержания удобнее принимать и

субъективный вид с необходимостью её эмоциональной окраски с её восприятием и прохождением через мозг и созданием эмоций. Решение этих задач рассмотрим далее;

- Вспомним недавний бум появления сотовой связи. Первоначально для большинства пользователей голосовые сообщения были достаточно дороги (около 20 американских центов за минуту), многие при необходимости передачи содержательной информации передавали её с помощью SMS.

При этом фразы без эмоциональной окраски иногда воспринимались не так, как их формулировал отправитель. Вот тут и были придуманы смайлики, которые составляли из знаков препинания и читались с поворотом на 90°. например, :-) сейчас имеет графическую форму ☺, :-( или ;-( с другими современными графическими формами. Сообщения с ними при умении их считывать приобрели уже эмоциональную окраску, их стало легче воспринимать;

- Многие любят слушать песни на иностранных языках, смысл которых остаётся для них неизвестным. Чему же тогда они рады, почему получают удовольствие от их прослушивания? Тут важна композиция, неразрывная смесь ритма, мелодии, аранжировка, как и голоса, сочетание голосов исполнителей. Особенно важна энергетика исполнителей, *эмоции*, которые вкладываются в такое исполнение.

Достаточно вспомнить простую и не очень интересную, казалось бы, фразу «Сколько стоит эта рыба?» - «How Much Is The Fish?» с бешеной энергетикой немецкой группы «Scooter» из 1998 года; Не менее знаменита группа «Ногу свело» своей высокоэмоциональной песней «Хару Мамбуру» 1993 года, смысла которой кроме автора никто не знает.

А как же классические инструментальные композиции известных композиторов, в которых может не быть ни одного слова и вроде бы они не несут никакой информации?! Их сотнями лет слушают люди, и ещё будут слушать, получая острые *эмоциональные впечатления*. А вот материалисты и даже многие философы утверждают, что их НЕТ, потому что их нельзя потрогать и измерить, они нематериальны!

### **Открытие резонансов Шумана и их связь с ритмами мозга**

- В 30-х годах XX века в атмосфере Земли была обнаружена *ионосфера* из заряженных космической радиацией ионов, которая хорошо отражает электромагнитные волны. Её существование ещё в начале века предсказал Никола Тесла;

- После Второй Мировой войны на лекции по математической физике немецкий профессор Винфрид Отто **Шуман** (нем. Winfried Otto Schumann) (1888-1974), решил задачу о частоте стоячей волны между поверхностью Земли и нижним отражающим слоем

ионосферы. Интересно, что Шуман работал ранее и при Гитлере в научных обществах, включая легендарное Анонербе.

У него получилась частота около 8 Гц, о чём тот упомянул в статье 1949 года и забыл об этом, не собираясь продолжать исследования. Здесь сыграл свою роль СЛУЧАЙ. В 1952 году врач Герберт Кёниг, изучая головной мозг человека, нашёл его альфа-ритм с частотой около 8 Гц. Вскоре ему случайно попала описанная статья Шумана, где Кёниг с удивлением обнаружил очень похожую частоту резонанса Земли, что показалось ему неслучайным.

Кёниг связался с Шуманом и предложил ему совместную работу по этим темам. Работая совместно с Шуманом, ими было найдено точное значение основной частоты Шумана - 7,83 Гц, которая полностью совпала с альфа-ритмом мозга при релаксации. Вторая мода (второй резонанс) с частотой 14,1 Гц даёт бета-1 ритм и третья 20,3 Гц возникает при обычной работе мозга, четвёртая и пятая частоты Шумана дают ритмы мозга при возбуждённом состоянии. Об этом в 1954 году была издана статья, давшая начало волне исследований и открытий в этой сфере.



Рисунок 1 – Связь частот Шумана с ритмами человеческого мозга.

- Во всех современных источниках учёные утверждают, что описанное Шуманом электромагнитное низкочастотное поле возникло в силу грозовой и солнечной активности. Оказывается, на планете за сутки возникает около **8,5 млн. молний**, что в среднем даёт по 100 молний каждую секунду! При этом в дневное время солнечная радиация приводит к накоплению в ионосфере достаточно мощных зарядов, в большинстве своём со знаком “+”. Большая часть поверхности Земли покрыта солёной водой, она в большинстве своём

обладает небольшим зарядом со знаком “-”. Поверхность планеты и нижняя часть ионосферы можно рассматривать и как обкладки конденсатора, и как границы резонатора. Между ними происходит колебание природного электромагнитного поля (см. Рис.2).



Рисунок 2 – Природный конденсатор и резонатор.

Это, *якобы*, и приводит к частому пробоям между обкладками такого «конденсатора» электрических разрядов в виде молний, которые порождают и электрические и магнитные волны, разбегающиеся в разные стороны практически со скоростью света.

Описанные волны оббегают всю планету, отражаясь и от поверхности Земли, и от нижних слоев ионосферы примерно на высоте до 100 км, с достаточно небольшими потерями. За это время их подпитывают новые молнии. Позднее будет показано, что (на мой взгляд) действительно происходит с избыточными зарядами в этом контуре и что ещё его подпитывает.

### Описание стоячих волн Шумана

• Приведём краткое математическое описание поля Шумана. Пусть в точке  $S$  на поверхности планеты появился электрический заряд при отсутствии магнитного поля. И электрическое и магнитное низкочастотные поля являются решением **волнового уравнения**

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = a^2 \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Они заданы на одинаковой области между поверхностями концентрических сфер радиусов  $R_1 \approx 6370$  км (поверхностью Земли) и  $R_1+100$  км. (нижним слоем ионосферы), отличаясь только начальными и краевыми условиями;

• Обе составляющих поля являются решением соответствующей краевой задачи, причём для *электрического* поля это решение ищем в виде:

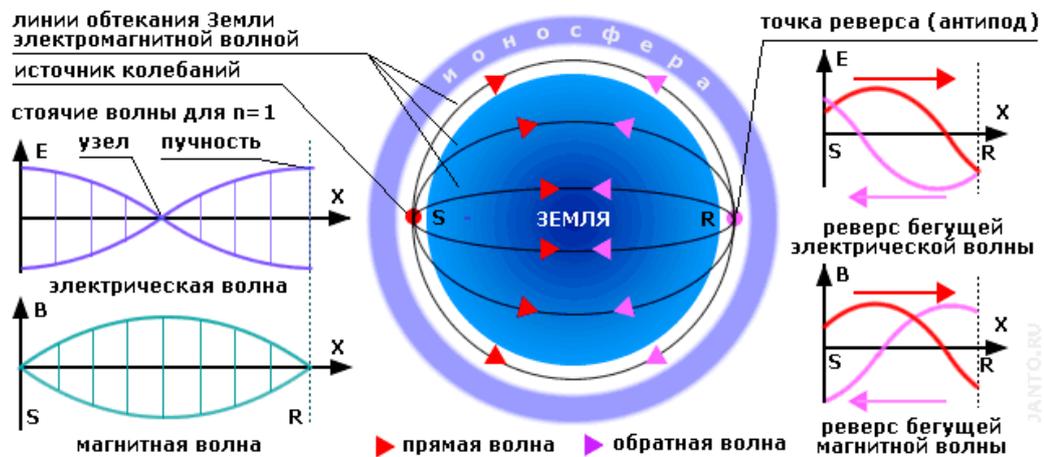
$$U(x, y, z, t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \quad (2)$$

где  $U_n$  – решение с номером  $n = 1, 2, 3, \dots$  для волнового уравнения с соответствующим натуральным номером частоты Шумана.

Аналогичный вид и для напряженности *магнитного* поля  $H(x, y, z, t) = H_0 + \sum_{n=1}^{\infty} H_n$ . Каждое слагаемое в них является произведением функции от геометрических координат точки (формы стоячей волны) на функцию с зависимостью только от времени (амплитуда колебаний волны по времени);

- По данным сайта <http://janto.ru/repository/008/01.html>

Пусть в точке  $S$  на планете ударил разряд молнии с получением в ней заряда величиной  $E$ . От неё стала разбегаться *прямая* электрическая волна (красные стрелки) к противоположной точке  $R$  планеты – антиподу. *Считается*, что все волновые линии пересекаются в точке  $R$ , в которой электрические волны тоже имеют максимальное значение  $E$ , в ней происходит *реверс* (разворот) волны с противоположными знаками,



появляется *обратная волна*.

Рисунок 3 – Первая стоячая волна электрического поля

По каждому *меридиану* плотность электрического поля в решении  $U_1$  от максимальных значений на обоих полюсах снижается до минимума на экваторе.



Рисунок 4 – Плотность энергии *электрического* поля первой гармоники

- *Магнитная* волна на том же меридиане имеет нулевое значение в полюсах *S* и *R* (в точке реверса), она достигает максимума в плоскости, перпендикулярной к отрезку *SR* и проходящей через его середину (в экваториальной плоскости), где электрическое поле минимально.

- Для электрического и магнитного полей каждая такая стоячая волна соответствует **резонансу Шумана** с соответствующим номером. В точках одной волны напряженность и электрического и магнитного полей периодически меняется от минимального отрицательного до максимально положительного значений и частота таких изменений равна частоте Шумана. Для следующей стоячей волны возрастает на 1 и число точек покоя и число точек пучности (образующих на поверхности планеты замкнутые окружности в параллельных плоскостях).

Итоговая напряженность обоих полей является **суммой** всех этих стоячих волн с номерами 1, 2, 3, ...

- Для частот своих резонансов Шуман даже вывел формулу:

$$f = C \cdot n / 2\pi R_z = 7.5 \cdot n \tag{3}$$

где *n* - номер гармоники резонанса;

*C* = 300000 км/с - скорость света;

*R<sub>z</sub>* = 6370 км - радиус Земли.

Формула (3) даёт достаточно серьёзные погрешности и была выведена новая:

$$f = (C/2\pi R_z) \sqrt{n(n+1)} = 7.5 \cdot \sqrt{n(n+1)} \tag{4}$$

Эта формула тоже даёт погрешность, но уже меньше. Далее получим гораздо более простое и более точное соотношение для частот Шумана.

- Получили, что в каждый момент времени нас пронизывает электромагнитное поле с непрерывным спектром частот. Его часть с ультранизкими частотами 5 – 50 Гц даёт поле **Шумана**.

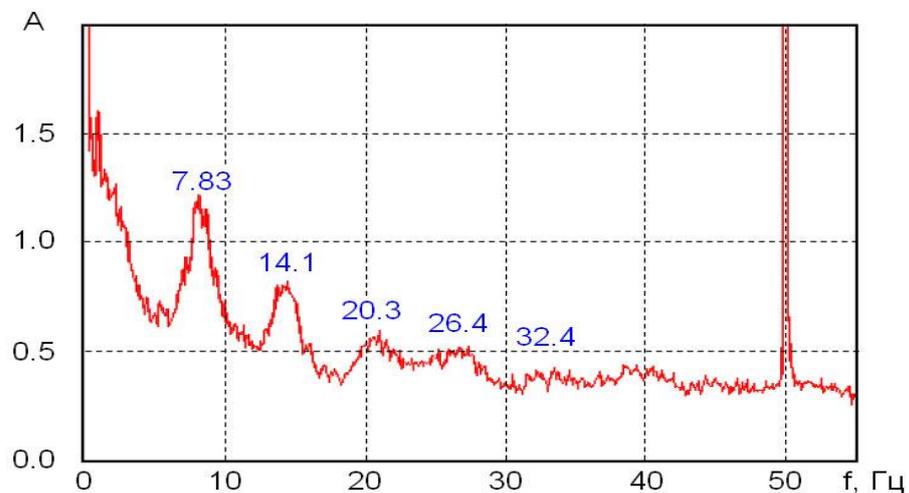


Рисунок 5 – Электромагнитный спектр в диапазоне 0 – 55 Гц

- В выбранной точке планеты сканирование по всем низким частотам приводит к резонансным всплескам на частотах Шумана (рисунок сохраняет пропорции амплитуд в спектре на промежутке 0 – 55 Гц, при 50 Гц влияет электрическая линия). Значения этих частот изменяются и в течение суток, и в течение года;

- **Поле Шумана** – это идеальный механизм передачи необходимой информации на дальние расстояния (пока что в пределах планеты), полностью аналогичный радиопередаче. Для этого нужно создать электромагнитные колебания с попаданием в некоторую частоту и появлением резонанса. Далее останется моделировать амплитуду своего сигнала на передатчике, а для приёмника научиться снимать эту информацию после повторной настройки на несущую частоту и правильного считывания амплитуд колебаний. Именно *низкочастотный* диапазон хорош тем, что в этом диапазоне человеческий мозг совершает свои колебания, а при попадании в резонанс возрастёт амплитуда колебаний и с малыми потерями разнесётся по всей планете. При определённой подготовке каждого человека можно научить входить в резонанс своими мыслями, чуть сложнее научиться считывать переданное другим человеком. Но ведь «сложно» не значит «невозможно», большинство восточных и азиатских учений требует медитаций. А они и есть способ настройки на заданное состояние и частоту мозговых колебаний. А там уж до передачи информации рукой подать.

#### **Дополнения к перечисленным фактам о резонансах Шумана**

- Для упрощения области, на которой ищем решения уравнения волнового уравнения (3), от декартовых перейдём к *сферическим* координатам.

Пусть  $S$  – точка приложения заряда,  $R$  – её антипод на сфере. Дополнительно учтём независимость решения от угла  $\varphi$  поворота вокруг оси  $SR$  (от широты на планете), оно зависит от угла  $\theta$  поворота от этой оси (от долготы на планете), от времени и от высоты над планетой.

После перехода к сферическим координатам из (1) после разделения переменных получим по каждой переменной обыкновенное дифференциальное уравнение. Каждая стоячая волна слагаемого с номером  $n$  в (2) будет иметь вид:

$$U_n = V_n(\theta) \cdot Z_n(z) \cdot T_n(t) \quad (5)$$

произведения трёх решений таких уравнений с зависимостью каждого множителя от одной из переменных, как и для магнитного поля  $H_n$ ;

- Уравнение для описания изменений значений  $Z_n(z)$  при подъёме над поверхностью Земли достаточно сложное и зависит от многих факторов – электропроницаемости атмосферы, степени отражения волн от данного участка поверхности планеты, от высоты

ионосферы и отразимости от неё волн. Вместо этого примем  $Z_n(z) \equiv 1$  и договоримся измерять электрическое и магнитное поле на одной высоте. Тогда каждое из решений будет зависеть только от поворота  $\theta$  от оси вдоль меридиана и от времени  $t$ ;

- Изменение  $T_n(t)$  с изменением времени имеют синусоидальный вид с некоторой частотой вида  $\omega_n = \lambda_n \cdot a$ , где,  $a$ - физический параметр системы,  $\lambda_n$ -собственные числа задачи о изменениях геометрических координат. Внешние воздействия синусоидального вида по времени с одной из *собственных частот*  $\omega_n$  приведёт к **резонансу**, т.е. к увеличению амплитуды колебаний этого слагаемого  $U_n$  и усилений как электрического, так и магнитного поля;

Для изменений  $V_n(\theta)$  с пространственной координаты  $\theta$  получим уравнение Бесселя (потерпите, это *важно* для описания поля Шумана и передачи с его помощью информации). Каждое такое решение  $V_n(\theta)$  будет **функцией Бесселя** нулевого порядка, каждая на своём промежутке:

$$J_0(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot x^{2n}}{2^{2n} \cdot (n!)^2} \quad (6)$$

Она и её производная:

$$J_0'(x) = -J_1(x) \quad (7)$$

зависят от специальных чисел Бесселя  $\mu_i$  и  $\nu_i$  – значений, при которых обращаются в 0 функции  $J_0(x)$  и  $J_1(x)$  соответственно. Числа  $\mu_i$  и  $\nu_i$  и являются собственными числами при различных краевых условиях (характере колебаний описываемой функции на концах рассмотренного промежутка);

Нули функции Бесселя  $J_0(x)$  порядка 0 (закрашенные точки на сплошной красной линии на Рис.6) обозначают  $\mu_i$ , для порядка 1 (пустые точки на линии из синих точек на Рис.6) нули обозначают  $\nu_i$ , покажем их значения в Табл.1.

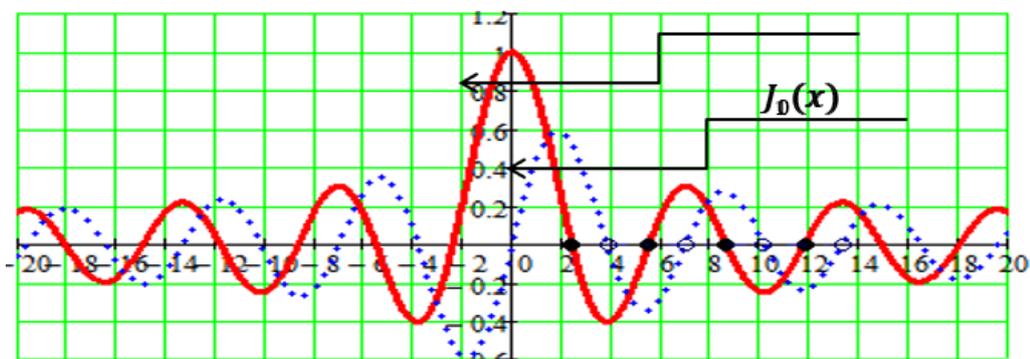


Рисунок 6 – Графики функций Бесселя  $J_0(x)$  и  $J_1(x)$

Нули функций Бесселя (числа Бесселя)

$i$		1		2		3		4	
$\mu_i$		$\mu_1 = 2,40$		$\mu_2 = 5,52$		$\mu_3 = 8,65$		$\mu_4 = 11,79$	
$\nu_i$		$\nu_1 = 3,83$		$\nu_2 = 7,01$		$\nu_3 = 10,17$		$\nu_4 = 13,32$	

Между любыми нулями  $J_0(x)$  имеется корень  $\nu_i$  для  $J_1(x) = -J_0(x)$ , а между двумя нулями  $J_1(x)$  имеется корень  $\mu_i$  для  $J_0(x)$ ;

- Для электрических и магнитных стоячих волн в силу осевой симметрии рассмотрим изменения угла  $\theta$  поворота от 0 только до  $180^\circ$  либо от  $-90^\circ$  до  $90^\circ$  (как для долготы). Для математических задач удобнее их выражать в радианах. Построенная плоская линия после вращения вокруг оси планеты схематично даёт поверхность значений  $U_n$  и  $H_n$ ;

- Для электрических волн в начальной точке S потребуем наличие точки пучности, тогда решениями будут функции  $J_0(x)$  с таким свойством при  $x=0$ . На правом конце тоже потребуем наличие пучности, тогда это будет одной из точек  $\nu_i$ . При выбранном номере  $n$  гармоники рассмотрим часть графика функции  $J_0(x)$  между  $x=0$  и  $\nu_n$  так, что внутри окажется ровно  $n$  точек  $\mu_i$ . Преобразуем этот отрезок к длине  $\pi$ , взяв  $\theta = \frac{\pi}{\nu_n} \cdot x$ . Тогда получим:

$$V_n(\theta) = J_0\left(\frac{\nu_n}{\pi} \cdot \theta\right) \text{ при } 0 \leq \theta \leq \pi \quad (8)$$

- Для магнитного поля в начальной точке значение равно 0, тогда собственными функциями станут фрагменты  $J_1(x)$ . На другом конце отрезка потребуем тоже нулевого значения, что для этих функций выполняется при  $x=\nu_i$  (как и для электрического поля). Тогда получили и для магнитного поля гармоники в виде

$$W_n(\theta) = J_1\left(\frac{\nu_n}{\pi} \cdot \theta\right) \quad (9)$$

Они тоже умножаются на  $T_n(t)$  синусоидального вида с частотами  $\omega_n = \lambda_n \cdot a$ , при  $\lambda_n = \frac{\nu_n}{\pi}$  с зависимостью от чисел Бесселя  $\nu_n$ ;

- Ранее было показано, что частоты резонансов Шумана были найдены, как результаты измерений (которые изменяются и в течении суток и более длинных периодов) и могут немного отличаться от теоретических. Пока ни одна формула не даёт точно эти значения 7,83 -14,1- 20,3 – 26,4 – 32,4 - ....

По сказанному выше они должны быть пропорциональны числам Бесселя  $\nu_i$  с такими точными значениями

Вычислим значения  $\frac{f_n}{\nu_n}$  при  $n=1,2,3,4,5, \dots$

- |  |   |
|--|---|
| 1) 3.83170597020751231561443588605205  | 1) $\frac{7,83}{3,831} = 2,04385;$      |
| 2) 7.01558666981561875353120866886788  | 2) $\frac{14,1}{7,016} = 2,0097;$       |
| 3) 10.1734681350627220491724007823358  | 3) $\frac{20,3}{10,173} = 1,9954;$      |
| 4) 13.3236919363142570433728670520907  | 4) $\frac{26,4}{13,324} = 1,9814;$      |
| 5) 16.4706300508824154776364636843869  | 5) $\frac{32,4}{16,471} = 1,9671 \dots$ |
| 6) 19.6158585101973123876830625220157  |   |
| 7) 22.7600843701865157377758772901100  |   |
| 8) 25.9036722639552867175841920011564  |   |
| 9) 29.0468258315682780761054280922193  |   |
| 10) 32.1898292345730302050572370405816 |   |

Числа получились немного различными, но мало отличающимися от 2,0. Их калибровку проведём по значению  $f_1 = 7,83$ , которое подтверждается многолетними измерениями.

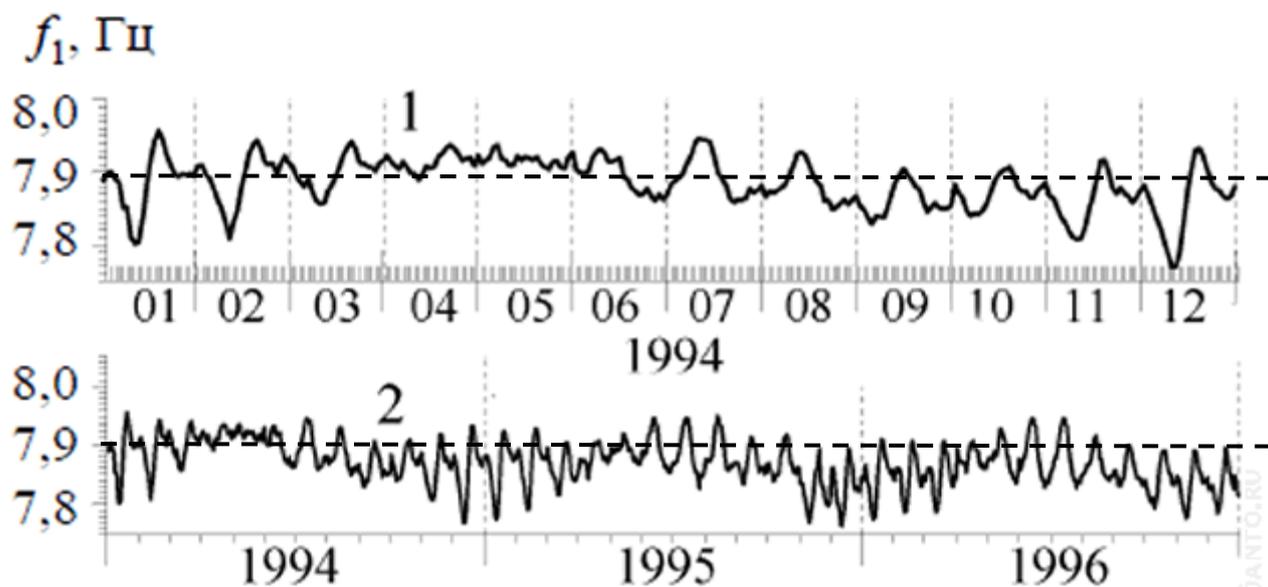


Рисунок 7 Изменение частот первого резонанса Шумана  $f_1$  по времени  
1) За 1994 год; 2) На промежутке 1994 – 1996 гг.

По рисунку 7 найдем среднее значение частоты (пунктирная горизонталь), оно получается даже чуть больше  $f_1$ , как по результатам 1994 года (верхняя часть 1), так и по трём годам 1994 – 1996 (нижняя часть 2).

По первой частоте возьмём  $\alpha = 2,04385$ . При этом должны были получить частоты Шумана по формуле (см. Табл. 2):

$$f_n = 2,04385 \cdot \nu_n \quad (10)$$

Сравнение частот Шумана  $f_n$  с вычисленными по (10)

$n$	1	2	3	4	5	6	7
$f_n$	7,83	14,1	20,3	26,4	32,4	?	?
$\alpha \cdot \nu_n$	<b>7,82999</b>	<b>14,339</b>	<b>20,792</b>	<b>27,2326</b>	<b>33,664</b>	<b>40,092</b>	<b>46,518</b>
$ \alpha \nu_n - f_n $	0	0,229	0,492	0,832	1,264		
Относительная погрешность, %	0	1,62	2,4	0,31	3,90		

*Замечание:* Полученные по формуле (10) частоты Шумана оказались приближенными, хотя и с достаточно малой погрешностью как в абсолютном, так и в относительном выражении. Погрешность получена потому, что реальные волны Шумана изменяются и с высотой над Землей (чем пренебрегли). Решая краевую задачу в вертикальной плоскости, тоже получим стоячие волны синусоидальной формы. Краевые условия при этом будут изменяться по времени из-за изменения солнечной активности и коэффициентов отражения на концах промежутка их изменений.

Если эта задача хотя бы в первом приближении будет решена, то должны быть найдены собственные числа  $\gamma_m$ , которые скорее всего при  $m=1$  приведут к одной полуволне длиной около 100 км с некоторым распределением на ней узловых точек и точек пучности (ожидая точку пучности недалеко от поверхности Земли). Тогда собственные числа скорее всего станут близкими к  $\gamma_m = \frac{m \cdot \pi}{L}$  (8). При этом вместо длины  $\pi$  промежутка изменения для  $\theta$  следует взять для высоты  $h$  изменения от 0 до 100 км и  $L = 10^2$  при измерении  $h$  километрами. Частота колебаний **по времени** уже трёхмерной волны будет:

$$\omega_{m,n} = a \cdot \sqrt{\lambda_n^2 + \gamma_m^2} \quad (9)$$

где второе слагаемое под корнем на несколько порядков меньше первого. Тогда частоты  $\omega$  с учётом  $\gamma_m$  изменяется несущественно (особенно при  $m > 2$ ) и более точно приблизятся к частотам Шумана. При этом можно будет даже взять при небольших  $m$  более простое соотношение  $f_n = 2 \cdot \nu_n$ ;

- При частоте 7,83 Гц длина описанной выше стоячей волны будет 38 287 670 м., т.е. она **меньше длины экватора** 40 000 км.!!! При её замыкании в виде кольца самая дальняя его точка окажется вблизи точки – антипода на поверхности Земли, чуть ближе к начальной точке S. Величина смещения от антипода зависит от того, как часто волна отклоняется от поверхности земли и отражается (что удлинит пройденный путь). Конечно, можно учесть и то, что Земля не является идеальной сферой и двойной меридиан через оба полюса короче

экватора, но это отличие имеет порядок 60 км, а не полученные 1 800 км с дополнительной коррекцией на перепады высот в кольцевом маршруте волны. Считая Землю идеальным шаром, её радиус вместо 6366 км для существования такой стоячей волны должен быть 6094 км и диаметр около 12 187 км с отличием от реального диаметра 12732 км почти на 550 км. К тому же со временем частота первая гармоники (моды) изменяется вплоть до 8,5 Гц, при которой длина волны будет ещё меньше!!!!

### Волны Шумана и грозовая активность

- Рассмотрим поле Шумана *в планетарном масштабе*. В силу того, что разряды молний чаще всего происходят в нескольких локальных областях, в их окрестностях будут неоднородности этого поля.

Сумма всех локальных электромагнитных низкочастотных полей включается в *планетарное поле* E и H. Оно имеет рассмотренные выше стоячие волны, следовательно, такое поле мало изменяется по времени.

При этом магнитное поле (Рис.8 справа) имеет первую гармонику с двумя воронкообразными падениями потенциала почти до нуля в двух антиподных точках S и R планеты. Электрическое поле для первой гармоники минимально на окружности, перпендикулярной к оси SR.

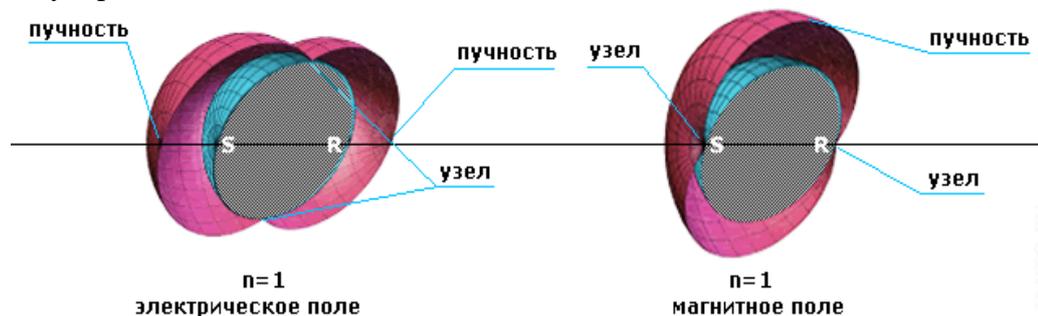


Рисунок 8 – Напряженности первой стоячей волны электрического и магнитного поля

Следует вспомнить шуточный вопрос преподавателей по физике «Если ток описывается синусоидой, то как она уместится в очень тонком проводнике, вершинки должны вылезать наружу?». На Рис.8 бугорки и ямки условно дают лишь максимальную величину заряда, максимальные изменения E и H от положения покоя, между ними со временем колеблется их реальные значения.

Мной предполагалось, что точки S и R являются полюсами Земли, но это оказалось неверным с учётом нижеперечисленных свойств волн Шумана:

*Интенсивности резонансных колебаний и их частоты зависят [6]:*

- От времени суток. Ночью амплитуда резонансных волн меньше в 5—10 раз, из-за уменьшения скорости расхода воды в океанском конвейере (ОК), уменьшения взаимных скоростей петель ОК;
- От времени года. В летние месяцы (с мая по август в северном полушарии) частоты резонансов повышаются. В южном полушарии повышение частот резонансов происходит с ноября по февраль.
- От местонахождения на земном шаре. Волны Шумана наиболее отчетливо выражены вблизи мировых очагов гроз: Африка, Южная Америка, Индонезия, Индия (в местах однонаправленных петель расхода воды в ОК). В приполярных регионах амплитудные пики на этих частота уже не столь выражены (минимальная токовая составляющая вектора напряженности электрического поля  $E$ ). На полюсах максимален вектор напряженности магнитного поля  $H$ , вектор  $E$  минимален, на экваторе наоборот;
- От солнечной активности. Вовремя магнитных бурь их интенсивность возрастает на 15 %. Есть случаи возбуждения частот в 12 500 Гц, что соответствует движению ядра Земли на глубине 3,6 км от центра ядра;
- От скорости расхода воды в ОК;
- От фаз луны. (конец цитаты).

Получается, что ось  $SR$  вращения для поверхностей, описывающих стоячие волны  $E$  и  $H$ , лежит в экваториальной плоскости Земли. В разных источниках положения этих точек на экваторе нигде найти не удалось. Попробуем найти их из зависимости от мировых очагов гроз. Для этого возьмём карту регистрации молний на одном квадратном километре. На ней ярко выражены несколько зон с наибольшей активностью молний. К этому добавим сайт [7] для нахождения антипода на поверхности Земли (точки с другим знаком долготы и широтой с вычитанием из  $180^\circ$ ).

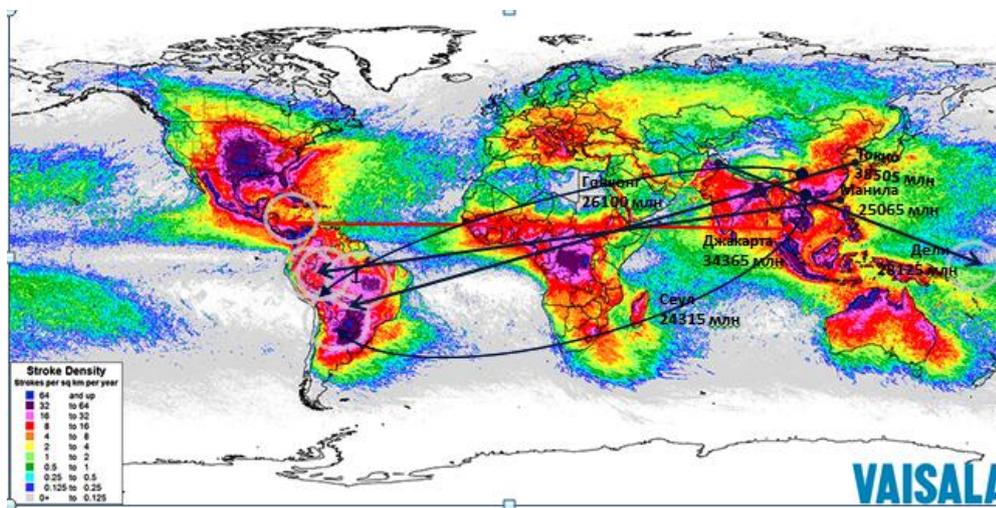


Рисунок 9 – Количество попаданий молний в участок 1 км<sup>2</sup>

Наиболее подходят для этого такие точки *S* и *R*: остров Суматра в Индонезии (недалеко от Сингапура) с широтой около  $105^\circ$  и его антипод около города Панама при  $-75^\circ$ .

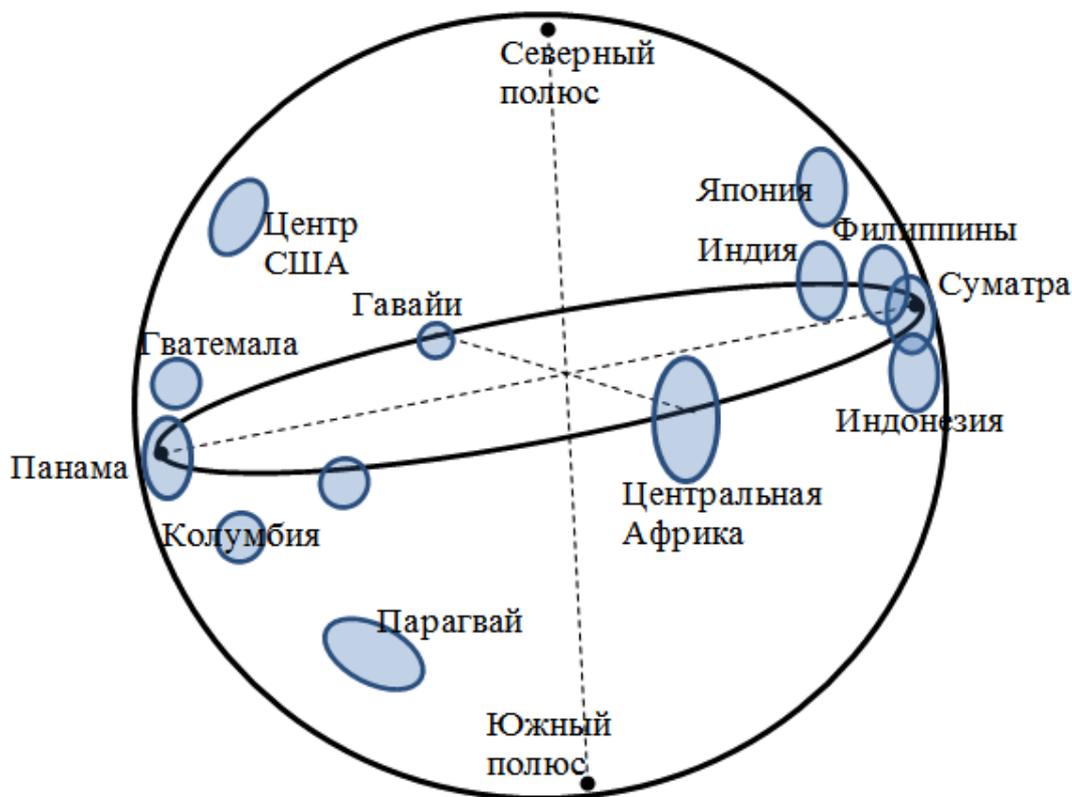


Рисунок 10 – Положение на планете зон активности молний

• **Связь положений крупнейших мегаполисов с активностью молний**

Города по численности жителей

Города по плотности населения

Место	Название	Страна	Население, тыс. чел. (оценка на 2019 год)	Площадь, км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
1	Токио — Иокогама	Япония	38505	8223	4700
2	Джакарта	Индонезия	34365	3367	10200
3	Дели	Индия	28125	2240	12600
4	Манила	Филиппины	25065	1813	13800
5	Сеул — Инчхон	Республика Корея	24315	2745	8900
6	Мумбаи	Индия	23645	881	26900
7	Шанхай	Китай	22125	4015	5500
8	Нью-Йорк	США	21045	11875	1700

Место	Название	Страна	Население, тыс. чел. (оценка на 2019 год)	Площадь, км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
13	Дакка	Бангладеш	18595	453	41000
64	Сурат	Индия	6385	233	27400
6	Мумбаи	Индия	23645	881	26900
52	Гонконг	Китай	7435	285	26100
27	Киншаса	ДР Конго	12960	583	22200
49	Ахмадабад	Индия	7715	350	22100
85	Алеппо	Сирия	5125	259	19800
36	Богота	Колумбия	10705	585	18300

[https://ru.wikipedia.org/wiki/список\\_самых\\_населённых\\_городских\\_агломераций](https://ru.wikipedia.org/wiki/список_самых_населённых_городских_агломераций)

[8]

Выше представлены таблицы, где приведены самые крупные агломерации – «фактический город», представляющий собой ареал сплошной застройки [8]. Слева они

упорядочены по убыванию общей численности населения, справа – по убыванию плотности населения из расчёта на 1 км<sup>2</sup>.

При близком расположении людей поля, излучаемые каждым человеком, накладываются, общий потенциал электромагнитного поля нарастает. Ритмы мозга людей лежат в небольшом диапазоне 5 – 40 Гц, который совпадает с диапазоном резонансов Шумана. Тогда при большом числе людей природное поле Шумана пополняется, насыщается от них. Предполагаю, что при миллионах и десятках миллионов людей такое пополнение становится не только заметным, но и, возможно, даже превалирующим в этой местности над природным полем Шумана.

- Среди приведённых в обеих таблицах городах-мегаполисах или просто очень много людей или в них высокая плотность населения (в индийском Сурате «всего» 6 с небольшим миллионов жителей, но их проживание на небольшой площади 233 км<sup>2</sup> даёт при этом вторую на планете плотность населения).

*Практически все* города из этой таблицы либо сами, либо их точки-антиподы на планете, либо сразу обе такие точки лежат в зоне повышенной грозовой активности.

Иногда такие зоны лежат недалеко от одной из этих двух точек, когда стоячая электромагнитная волна с частотой 7,83 Гц без отражений от атмосферы короче длины меридиана (см. Рис.9).

Для крупных пустынь (Сахара, Гоби, Атакама и т.д.) их антиподы либо в океане, либо в малонаселённой местности вдали от мегаполисов.

Считаю такую связь *подтверждающей связью* человеческих масс и их общего электромагнитного поля с природными явлениями.

- По всему миру имеются сотни станций, с разной степенью подробности изучающие волны Шумана. Томский государственный университет на сайте <http://sosrff.tsu.ru> [9] в режиме онлайн с ежечасным обновлением результатов (время местное, МСК+4, GMT+7, UTC+7) проводит мониторинг и резонансов Шумана (их частот, амплитуд и добротностей), состояния ионосферы и погоды. Каждый пользователь бесплатно и даже без регистрации

может увидеть эти показатели в виде графиков изменений за последние три дня (На Рис. 11 от 10 января до 12 января 2020 г.).



Рисунок 11.а Изменение частот первых четырёх резонансов Шумана



Рисунок 11.б Амплитуды резонансов Шумана.



Рисунок 11.в Добротности четырёх основных резонансов Шумана.

На рассмотренном промежутке (с пятницы по воскресенье) все частоты в ночное время поднимались, их амплитуды скачками росли в рабочее время пятницы, ночное время с субботы и днём воскресенья. Это противоречит приведённым ранее свойствам этих резонансов, и хорошо укладываются в традиции российского населения (10 января был вторым рабочим днём в году с дальнейшими двумя выходными).

Это подтверждает, что помимо природных факторов изменений поля Шумана, на его изменения влияют и люди. Город Томск достаточно крупный, но интереснее такие изменения проанализировать около крупных мегаполисов с высокой плотностью населения. Хотя при этом может наблюдаться и техногенное воздействие на результаты.

- Уже было сказано, что стоячие волны с малым изменением могут достаточно долго сохраняться в атмосфере между поверхностью планеты и ионосферой. Тогда моделированная вибрация, попавшая в несущую частоту, не только быстро дойдёт до любого жителя планеты. Есть мнение, что эта информация не исчезает, пополняя информационное поле Земли. Это как раз и является смыслом булгаковской фразы «Рукописи не горят». Тогда может быть способ настроиться на мысли не только живущего человека, но и тех, кто давно покинул нас. [17];

- В конце XX века кроме привычных молний на высоте до 10 км с направлением к Земле, были открыты высотные разряды – джеты, спрайты, эльфы, гало и т.д. (см. Рис.12). [16]-[20].

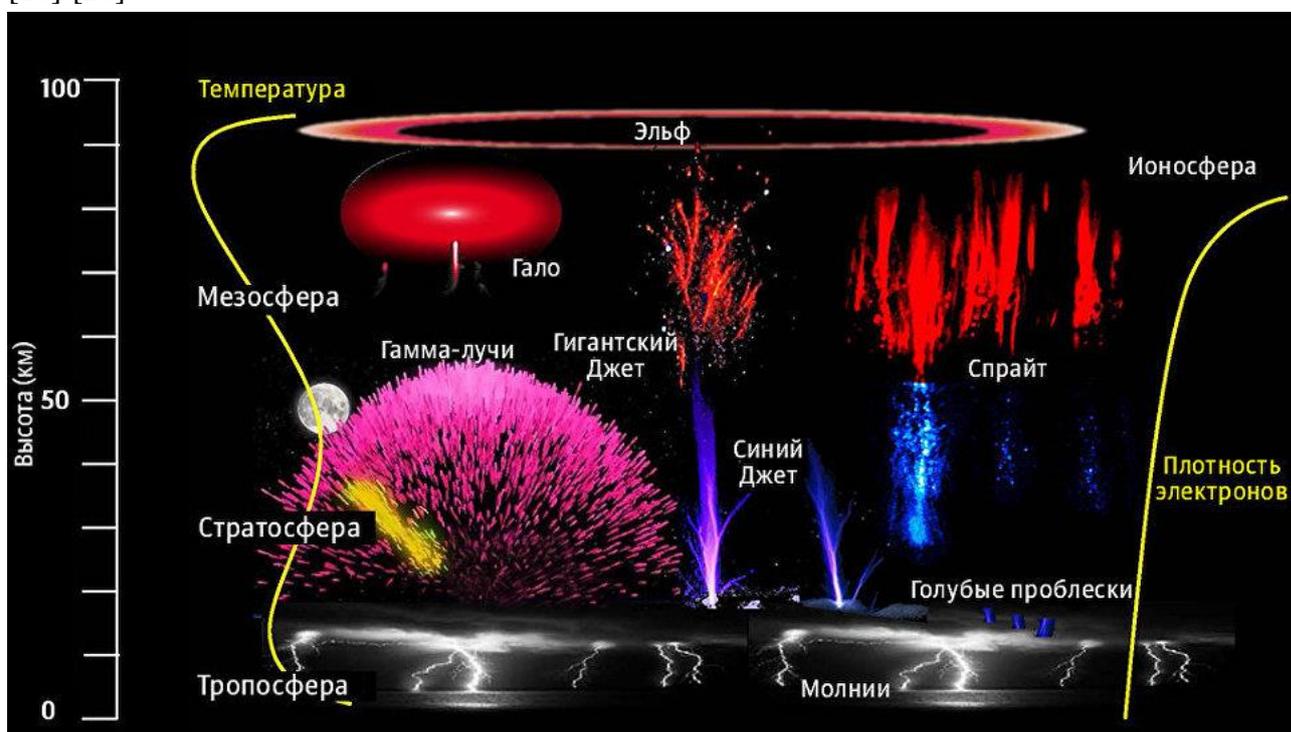


Рисунок 12 – Виды высотных электрических разрядов.

Некоторые из них имеют очень большую длину (десятки километров), часть из них направлены снизу вверх, в космос.

К этому можно добавить и зафиксированное космонавтами поле Шумана намного выше даже верхних слоёв ионосферы [18].

Дополнительно следует учесть и некоторые силовые линии магнитосферы Земли, которые не возвращаются к планете и направлены в космос.

Совокупность этих фактов может привести к тому, что информация, накопленная на Земле, пересылается к какому-то внешнему приёмнику, накопителю. Это позволяет предположить уже информационное поле Вселенной;

- Некоторые специалисты в квантовой физике допускают передачу информации между запутанными частицами мгновенно на сколь угодно большие расстояния (изменение состояния одной мгновенно изменит состояние другой). Немного другим способом профессор Валитов Нажип Хатмуллоевич показал, что после установления взаимодействия между сколь угодно удалёнными предметами, далее взаимодействие между ними проходит сколь угодно быстро.

Это позволяет допустить возможность не летать очень далеко для встречи с мыслящими существами, достаточно установить с ними контакт. И главным кандидатом на способ установления такого контакта является телепатия – обмен мыслями и даже эмоциями.

#### **Выводы и итоги**

- Человеческие мысли, эмоции, мечты и другая субъективная информация материальны, могут проявлять себя и быть зафиксированы другим человеком или прибором;

- Передача субъективной информации ведётся мозгом, скорее всего с применением электромагнитных волн. Поскольку на данный момент зафиксирована электромагнитная активность мозга, его ритмы, в диапазоне 5 – 45 Гц, то, видимо, в этом диапазоне следует фиксировать распространение субъективной информации;

- Имеется природное низкочастотное электромагнитное поле Шумана с частотами в диапазоне 5 – 45 Гц, для которого в результатах внешних воздействий на частотах 7,83 - 14,1- 20,3 – 26,4 – 32,4 Гц зафиксированы резонансы. Эти частоты совпадают с ритмами человеческого мозга при различных видах активности человека;

- В мозге человека присутствует шишковидная железа, которую называют также эпифизом, пинеальной железой и даже третьим глазом. Считается, что все, что ты видишь в течение жизни, ощущаешь, переживаешь, в общем, все твое внутреннее и внешнее фиксируется именно в шишковидной железе. Секреторные клетки эпифиза выделяют в кровь гормон мелатонин, синтезируемый из серотонина, который участвует в синхронизации циркадных ритмов (биоритмы «сон — бодрствование»). Собственная

частота этого органа равна 7,83 Гц и выработка мелатонина происходит только при таком ритме. Если ритм отличается от шумановского, то в работе этой железы происходит сбой;

- Несколько исследований подтвердили ухудшение состояний людей при их изоляции от волн Шумана – погружение в шахты глубоко под поверхность Земли, подъём космонавтов на МКС выше слоя ионосферы. Низкочастотные генераторы с частотой 7,83 Гц быстро привели людей в нормальное состояние.

«НАСА уже использует генераторы волн Шумана для обеспечения нормальной жизнедеятельности своего персонала. Доктор Роберт Бекер (Robert Becker) измерял волны головного мозга многих целителей мира во время проведения ими сеанса исцеления. Он обнаружил, что все они имеют одинаковые частоты — 7-8 Гц, независимо от их религиозных и духовных традиций, и синхронизируются с волнами Шумана как по частоте, так и по фазе». [11];

- Похоже, найден смысл жизни нашей человеческой расы! Он состоит в переработке первичной информации во вторичную. Это заложено в нас, является непреодолимым инстинктом – «Хочу всё знать!», как можно больше осознать, пополнить информационное поле. У многих это даже сильнее инстинктов выживания и продолжения рода;

- Когда собирается вместе достаточно много людей с близким настроением и ритмами мозга, то их поля накладываются и становятся сильнее. Особенно это заметно, когда все хором поют любимую песню, скандируют лозунг или спортивную речёвку;

- Пусть большинство людей, населяющих Землю, **в один момент** по всей планете одновременно совершит эмоциональный всплеск, выкрик, лозунг. Даже на концертах популярных групп, особенно раковых, бешеная энергетика. А в глобальном масштабе так можно вызвать любое природное явление – землетрясение, наводнение, цунами, извержение вулкана и т.д.;

- Люди излучают энергию, её частота совпадает с частотой электромагнитного поля, возникающего при многочисленных разрядах молний в определённых областях планеты. Между этими фактами неоспоримая связь, но не всегда понятны причины и следствия. Возможно, молнии возникают там и тогда, когда подпитанное человеческой энергией и информацией поле окажется переполненным, что и показывает связь мегаполисов с зонами активности дождей и молний;

- Пока точно не ясен механизм, но в сферах вокруг нашей планеты имеется хранилище всей стекающей в неё субъективной информации. В России уже второй год действует так называемый закон Яровой. По нему все провайдеры обязаны определённое время хранить всю исходящую от каждого гражданина информацию – телефонные звонки, историю просмотров сайтов, все СМС и посты в различных социальных сетях и записи на

различных страницах. Значит, это уже сейчас технически возможно с хранением собранной информации и её дальнейшего анализа.

Похоже, что подобный, но более эффективный и менее затратный механизм имеется и для хранения наших эмоций, мыслей и помыслов;

- Часть молний из стратосферы бьёт не к поверхности Земли, но куда-то вверх, в открытый космос. Возможно, так собранная информация (по аналогии с сотовой связью) передаётся на другие центры обработки с их нахождением на других планетах и даже в других звёздных системах.



Рисунок 13 – Информационное поле Вселенной.

- На этом всё. Очень рад, что Вы дочитали до этого места;
- Выражаю огромную благодарность как создателям сайтов, ссылка на которые помогла аргументировать мои мысли. Не меньшую благодарность должен выразить художникам, создавшими картины и рисунки, которые помогли украсить этот доклад.

#### Литература

- 1) <https://salik.biz/articles/13807-dokazatelstva-uchenyh-o-tom-chto-mysl-materialna.html>  
Доказательства учёных о том, что мысль материальна;
- 2) [https://welemudr.mirtesen.ru/blog/43722673841/Materializatsiya-myisley:-nauchnyie-dokazatelstva?nr=1&utm\\_referrer=mirtesen.ru](https://welemudr.mirtesen.ru/blog/43722673841/Materializatsiya-myisley:-nauchnyie-dokazatelstva?nr=1&utm_referrer=mirtesen.ru) Материализация мыслей: научные доказательства;
- 3) [http://corallinna.com/publ/vse\\_o\\_vode/masaru\\_ehmoto\\_poslanie\\_vody\\_fotografii\\_snimki\\_kristaly\\_snezhinki/1-1-0-192](http://corallinna.com/publ/vse_o_vode/masaru_ehmoto_poslanie_vody_fotografii_snimki_kristaly_snezhinki/1-1-0-192) Масару Эмото. Послание воды;
- 4) [https://www.bbc.com/russian/society/2013/07/130701\\_web\\_pornography](https://www.bbc.com/russian/society/2013/07/130701_web_pornography) ;
- 5) <http://sci-dig.ru/statyi/fiziki-utverzhdayut-chto-nashli-dokazatelstva-sushhestvovaniya-pyatogo-vida-fundamentalnyh-sil/> Доказательства существования пятого вида фундаментальных сил;
- 6) <https://biograf.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/87444> Академик. Резонанс Шумана;

- 7) <https://www.antipodesmap.com/> Антиподы на планете Земля;
- 8) [https://ru.wikipedia.org/wiki/список\\_самых\\_населённых\\_городских\\_агломераций](https://ru.wikipedia.org/wiki/список_самых_населённых_городских_агломераций);
- 9) <http://sosrff.tsu.ru> комплексная система Space Observing System Томского государственного университета;
- 10) <https://econet.ru/articles/61856-eto-dolzhen-znat-kazhdyy-znachenie-shishkovidnoy-zhelezy> Значение шишковидной железы;
- 11) <https://wowavostok.livejournal.com/11351806.html> Частота Шумана, просветление...ВРЕМЯ УСКОРЯЕТСЯ;
- 12) <http://laraperova.ru/novye-otkrytiya-uchennyh/professor-nadzhip-valitov-sushhestvaovanie-boga-dokazal> Профессор Наджип Валитов существование Бога доказал;
- 13) <http://earth-chronicles.ru/news/2019-12-30-136104> Вспышка полярных стратосферных облаков;
- 14) <https://dream-here.ru/ustanovit-svyaz-chelovekom-rasstoyanii/> Как установить связь с человеком на расстоянии;
- 15) <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fhi-news.ru%2Ftechnology%2Fdva-cheloveka-telepaticheski-obmenyalis-myslyami-na-bolshom-rasstoyanii.html> Два человека обменялись мыслями на большом расстоянии;
- 16) <http://www.membrana.ru/particle/17197> Учёные открыли утечку волн от молний в космос;
- 17) <https://pandoraopen.ru/2015-04-26/globalnyj-mozg-planety/> Глобальный мозг планеты;
- 18) <https://zhitanska.com/content/molnii-v-ionosfere-sprajty-haarp-nlo/> Молнии в ионосфере: Спрайты? HAARP? НЛО?
- 19) [http://www.wolfnight.ru/forum/forum\\_theme.php?theme=643&page=1](http://www.wolfnight.ru/forum/forum_theme.php?theme=643&page=1) Спрайты, синие струи, тайгеры и эльфы;
- 20) <http://www.vseneprostatok.ru/2011/10/sputnik-mgu-obnaruzhil-molnii-byushhie-vverh/> Спутник МГУ обнаружил молнии, бьющие вверх.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА

**Тихонова Е. В.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[tihonova\\_ngti@mail.ru](mailto:tihonova_ngti@mail.ru)

**Аннотация:** В статье рассматривается использование тренажера для изучения основных возможностей интерфейса автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и проработки действий при нештатных и аварийных ситуациях. Представлены предложения по разработке компьютерного тренажера для подготовки оперативного технологического персонала и разработана структурная схема. Были перечислены этапы создания тренажера, шаги в рамках каждого этапа, а также разделение зон ответственности исполнителей. По результатам анализа для разработки компьютерного тренажера было предложено использовать отечественный программный комплекс SimInTech, предназначенный для исследования динамики и проектирования разнообразных систем и устройств.

**Ключевые слова:** компьютерный тренажер, имитационное моделирование, оператор, система компьютерной математики.

Компьютерный тренинг операторов технологических процессов (ТП) уже давно зарекомендовал себя как наиболее мощное средство совершенствования операторских навыков, следствием чего является снижения аварийности в условиях реальной эксплуатации производственного объекта.

Тренажеры позволяют изучить основные возможности интерфейса автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и проработать действия при нештатных и аварийных ситуациях, не прибегая к экспериментам на реальном оборудовании. Основная цель тренажеров – получение обучаемым комплексного навыка принятия решений. Данный навык основывается на возможности смоделировать динамический отклик имитируемого объекта на произвольное воздействие обучаемого на исполнительные механизмы.

Существуют три принципиальных отличия тренажеров от других средств обучения и исследования ТП (например, цифровые имитаторы и цифровые двойники):

- любой тренажер содержит так называемый «заместитель реального объекта», поскольку тренажер создается именно потому, что реальный объект невозможно, опасно или дорого использовать для обучения. Указанный заместитель объекта называют тренажерной моделью объекта.
- в любом тренажере взаимодействие обучаемого с моделью объекта осуществляется посредством специальной среды – интерфейса обучаемого, называемой

информационной моделью. С ее помощью обучаемый воздействует на тренажерную модель и получает информацию о ее состоянии.

- в тренажере обязательно присутствуют правила, методы, рекомендуемый состав тренировочных упражнений и прочие атрибуты обучения.

Тренажер должен моделировать технологические процессы имитируемого комплекса, используя методы математического моделирования. Одной из главных проблем при создании тренажеров является построение адекватной математической модели технологического процесса. Обучение на тренажере, в котором поведение автоматизированного технологического комплекса качественно отличаются от фактического, не только не имеет смысла, но и опасно. У операторов формируется неправильное представление о технологическом процессе, вырабатываются неправильные навыки по действиям при наступлении нерегламентированных ситуаций.

В мировой практике общепринятой считается точность моделирования в статических режимах 5% для критических параметров и 10% для некритических. Адекватность модели в динамическом режиме оценивается экспертно на качественном уровне [1].

Для оценки действий обучаемого предлагается следующий метод:

В базу данных тренажера разработчик совместно с технологом-экспертом вносят перечень имитируемых ситуаций, описывают ход их развития и ожидаемые действия обучаемого.

Ситуации можно разделить по типу:

- технологические последовательности: запуски, остановки оборудования, смена технологического режима установки;

- отклонение технологического режима от нормального;
- аварийные ситуации.

Описание развития ситуации может включать:

- изменение значений параметров по определенному алгоритму;
- самопроизвольные переключения/перестановки исполнительных механизмов (отключение насосов при сбое электропитания);

- изменение моделей влияния механизмов на параметры.

Описание ожидаемых действий обучаемого может включать:

- команды на перестановку исполнительных механизмов, имеющий дистанционное управление;

- действия с механизмами, не имеющими дистанционного управления;

- организационные мероприятия (сообщить по телефону в пожарную часть при возгорании и т.п.).

Для оценки действий необходимо включить в список возможных как действия, которые являются правильными в данной ситуации, так и неправильные. Это важно, если имитируемые ситуации характеризуются похожими значениями технологических параметров, но причины возникновения ситуаций и реакция на них различны.

Предлагается оценивать действия оператора путем начисления штрафных действий:

- за неправильные действия;
- за действия в неправильной последовательности;
- за длительное бездействие;
- за выход значений параметров за аварийные уставки.

Величина штрафа определяется в зависимости от тяжести последствий.

Предлагается следующая ранговая оценка тяжести последствий:

- совершение действия может явиться причиной получения травм персоналу или значительному материальному ущербу организации;
- совершенное действие может спровоцировать аварийный останов технологического комплекса;
- совершенное действие может привести к аварийной остановке небольших технологических узлов, что скажется на показателях качества работы комплекса в целом;
- вероятность отражения неверного действия на технологический процесс мала, но в некоторых случаях может иметь место.

Конкретные значения штрафов могут учитывать должность обучаемого.

Таким образом, современный компьютерный тренажер должен состоять из следующих блоков (см. рисунок 1):

- рабочего места оператора;
- рабочего места инструктора;
- модели объекта управления;
- модели АСУТП, включающей в себя штатный интерфейс, средства управления и базу данных;
- блока учебно-методического обеспечения;
- блока информационной поддержки оператора;
- блока ПО корректирующей рекурсивной идентификации (верификации, валидации).



Рисунок 1 – Структурная схема компьютерного тренажера

Обозначения: РМО — рабочее место оператора, РМИ — рабочее место инструктора.

В таблице ниже предложены этапы создания тренажера, шаги в рамках каждого этапа, а также разделение зон ответственности исполнителей.

№	Этап	Шаги создания тренажера	Ключевой исполнитель
1	Сбор и систематизация информации о технологическом процессе	Изучение технологического регламента, схем. Сбор архивной информации с АСУ ТП, опрос персонала	технолог-эксперт организации, в которой внедрен ТП
2	Создание математических моделей	Определение структуры математических моделей на основе проводимых экспериментов и собранной информации. Построение математических моделей и их отладка. Разработка специализированных расчетных кодов	специалист организации, в которой внедрен ТП совместно с разработчиком тренажера
3	Разработка имитатора автоматизированного рабочего места АСУ ТП	Создание копий видеокадров. Создание копий элементов вывода информации и управления. Описание автоматических последовательностей, блокировок	разработчик тренажера совместно со специалистами организации, в которой внедрен ТП
4	Создание обучающей части тренажера, интерфейс обучаемого и системы проверки знаний	Проработка методической базы тренажера, составление плана проведения обучения и проверок знаний. Добавление имитируемых ситуаций в тренажер, настройка правил оценки действий обучаемого	разработчик тренажера

№	Этап	Шаги создания тренажера	Ключевой исполнитель
5	Наладка тренажера на учебной площадке	Установка тренажера на рабочие станции, предназначенные для обучения. Комплексная наладка тренажера. Обучение инструкторов	разработчик тренажера

К системе разработки компьютерного тренажера должны предъявляться следующие требования:

- широкий набор классов математических моделей, описывающих процессы в различных областях физики, например, процессы гидро- газодинамики, нестационарные процессы тепломассопереноса, процессы теплопроводности, электромагнетизма и т.п.;
- моделирование логико-динамических систем;
- возможность подключения специализированных расчетных кодов;
- простота переноса с одного компьютера на другой;
- отечественный разработчик программного продукта для создания компьютерного тренажера.

Было проведено исследование технических возможностей и предпочтительных областей применения порядка двадцати различных систем и сред моделирования.

Анализ показал, что в настоящее время компьютерные тренажеры главным образом получили распространение на нефтеперерабатывающих предприятиях и химико-технологических производствах. Кроме этого, имеющиеся среды моделирования позволяют имитировать динамику экономических процессов и проводить анализ поточных процессов. Этим объясняется их достаточно узкая направленность и ограниченное количество верифицированных классов математических моделей.

При этом следует отметить, что во всем многообразии рассмотренных систем к отечественным относятся лишь единицы. По результатам анализа для разработки компьютерного тренажера было предложено использовать отечественный программный комплекс SimInTech, предназначенный для исследования динамики и проектирования разнообразных систем и устройств.

Система компьютерной математики SimInTech [2] представляет собой программную среду для компьютерного моделирования логико-динамических систем, операторы которых описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями, дополненные алгебраическими соотношениями и неравенствами, а также расчётные схемы специализированных расчётных кодов термогидродинамических и электромеханических процессов. Эта программная среда является отечественной альтернативой таким широко известным продуктам, как Matlab/Simulink (MathWorks), Maple (Waterloo Maple Inc.), LabVIEW (National Instruments) и др.

Среда моделирования SimInTech используется для детального исследования и анализа нестационарных физических процессов в ядерных и тепловых энергоустановках, в системах автоматического управления, в следящих приводах и робототехнических комплексах и других динамических системах, которые могут быть описаны системами дифференциально-алгебраических уравнений и реализованы методами структурного моделирования. Важными направлениями применения среды SimInTech являются создание имитационных моделей, проектирование алгоритмов управления [3], их отладка на модели объекта, генерация исходного кода на языке Си для программируемых контроллеров.

Важным преимуществом является тот факт, что для SimInTech созданы и разрабатываются модули расширения, позволяющие создавать модели на базе специализированных расчетных кодов и интегрировать их в комплексные модели и проекты.

Модульная графическая оболочка позволяет реализовать возможность подключения сторонних модулей и создания расчётных схем различного класса, в сочетании с возможностью создания видеокладов для отображения и управления расчётом. Она способна обеспечить моделирование систем различного типа в рамках единой оболочки с обменом данными между различными расчётными программами через единую базу сигналов и синхронизацией.

В дальнейшем планируется реализация пилотных проектов по созданию компьютерных тренажеров для подготовки оперативного технологического персонала предприятий новоуральской промышленной площадки.

#### Литература

1. Дозорцев В. М. Имитационные модели технологических процессов в компьютерных тренажерах для обучения операторов: сб. тр. /3-й всерос. науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности ИММОД 2007. Имитационное моделирование. Теория и практика (Санкт-Петербург, 17–19 окт. 2007 г.) СПб., 2007. – с. 60.
2. Карташов Б.А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech/Б.А. Карташов, Е.А. Шаббаев, О.С. Козлов, А.М. Щекатуров. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 423 с.
3. Баум Ф.И. Программное обеспечение SimInTech для программирования приборов систем управления / Ф.И. Баум, О.С. Козлов, И.А.Паршиков и др. // Атомная энергия. – 2012. – Т.113. Вып.6. – С.354-357.

# ПРИМЕНЕНИЕ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА С ОПТИМАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИВОДАМИ

Ю.Р. Никитин<sup>1</sup>, А.Б. Турыгин<sup>2</sup>, В. Штоллманн<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени  
М.Т.Калашникова», г. Ижевск,

[nikitin@istu.ru](mailto:nikitin@istu.ru)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Костромская область, Костромской район, пос. Караваево,

[ab.turygin@yandex.ru](mailto:ab.turygin@yandex.ru)

<sup>3</sup>Технический университет в Зволене, Словакия, г. Зволен,

[stollmannv@tuzvo.sk](mailto:stollmannv@tuzvo.sk)

**Аннотация:** Системы управления современных роботов являются многоуровневыми. В статье рассмотрено управление на верхнем уровне транспортным роботом голосовыми командами и моделирование его движения в программном продукте Microsoft Robotics Developer Studio. Для моделирования движения транспортного робота использовался язык Visual Programming Language (VPL) – среда визуального программирования для создания и отладки приложений. Для распознавания голосовых команд используется планшетный компьютер или мобильный телефон с операционной системы Android с приложением, при помощи которого можно управлять роботом с использованием интерфейса Bluetooth. Разработана программа, которая позволит человеку управлять роботом с помощью речи. Получена визуальная программа управления движением транспортного робота. Приведен пример моделирования робота и его траектория движения с использованием голосового управления. Разработанная система управления позволяет следовать транспортному роботу от одной целевой точки к другой с использованием голосового управления. Разработано оптимальное управление приводами на основе асинхронных двигателей на нижнем уровне с применением программного продукта SimInTech.

**Ключевые слова:** голосовые команды, моделирование, оптимальное управление, транспортный робот.

В настоящее время применение транспортных роботов позволяет автоматизировать задачи по перевозке тяжелых грузов (заготовок, деталей, инструмента) в помещениях, в том числе в цехах. Транспортный робот можно использовать как платформу для инвалидных кресел. Транспортные роботы планируется широко использовать на безлюдном производстве в рамках промышленной революции «Индустрия 4.0». Наиболее удобно управлять транспортным роботом с помощью голосовых команд, при этом уменьшается усталость оператора, повышается скорость и гибкость передач команд. Примеры интеллектуальных систем управления и транспортных роботов приведены в литературе [1-2].

В современных системах управления транспортного робота используется нечеткая логика, поэтому целесообразно подавать команды управления движением на основе

нечеткой логики, которая позволит роботизированной платформе с заданной точностью и минимальной погрешностью эффективно выполнять поставленные задачи.

Целью работы является разработка систем управления транспортных роботов, работающих в недетерминированных условиях на основе нечеткой логики и голосового управления и оптимальное управление приводами на основе асинхронных двигателей с применением модельно-ориентированного подхода в SimInTech на нижнем уровне.

Структура предложений, значения фраз и морфология речи должна быть запрограммированы, в частности, в виде «правил» для робота, с последующей передачей их через Bluetooth.

Для распознавания голосовых команд используется планшетный компьютер или мобильный телефон с операционной системы Android с приложением, при помощи которого можно управлять роботом с использованием интерфейса Bluetooth. Кроме голосового управления приложение позволяет управлять роботом с помощью кнопок или встроенного акселерометра телефона. Например, ползунок позволяет управлять скоростью робота. Две кнопки используются для включения передних и задних фар робота. В качестве индикации используется мигающая подсветка, когда телефон подключен к роботу, и стрелки, которые показывают направление движения робота.

Моделирование движения транспортного робота с голосовым управлением выполнялось в программной среде Microsoft Robotics Developer Studio на языке Visual Programming Language (VPL). VPL – среда визуального программирования для создания и отладки приложений.

Язык визуального программирования Microsoft Robotics Developer Studio используется для создания и отладки программных приложений для роботов, позволяет моделировать 3D движение робота в виртуальном пространстве, используя технологию NVIDIA PhysX, что позволяет использовать современную физическую модель, так же этот язык имеет упрощенный доступ к датчикам и исполнительным механизмам робота, а также поддерживает несколько языков, включая C#, Visual Basic, .NET, JScript и IronPython. Но у данного языка VPL также имеется существенный недостаток: нет учета и поддержки реальной среды эксплуатации, при управлении транспортным роботом используется только его моделирование, которое может не полностью совпадать с реальным прототипом. Чем точнее модель, тем больше настроек в программе она требует.

Многоуровневая система управления имеет верхний и нижний уровни управления. Верхний уровень управления – интеллектуальный. Нижний - исполнительный. Управление скоростью вращения колес на нижнем уровне осуществляется при помощи

микроконтроллера, который формирует выходные сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Два колеса управляются независимо друг от друга.

Разработана программа, которая позволит человеку управлять роботом с помощью речи. Производилась настройка распознавания речи с помощью панели управления Windows. Робот выполняет следующие голосовые команды:

- "Drive Forwards – Движение вперед" - установить переменную DrivePower в обоих колесах 0.1;

- "End Drive – Конец движению" - установить переменную DrivePower в обоих колесах 0.0;

- "Turn Left – Поворот влево" - поворачивает робота влево на 45 градусов (с помощью вызова RotateDegrees);

- "Turn Right – Поворот вправо" - поворачивает робота вправо на 45 градусов;

- "Turn Around – Поворот кругом" - поворачивает робота на 180 градусов.

Использовались три дополнительные команды:

- "Begin Learning – Начать обучение" - в состоянии обучения робот записывает команды;

- "End Learning – Закончить обучение" - команда предписывает роботу, чтобы он остановил запись команд;

- "Perform Actions – Выполнить действия" - если робот получил задачу (и обучение закончилось), он должен реагировать на эту команду, выполнив действия, описанные в задаче.

Для получения устной команды добавлена служба распознавания речи. Выбрали распознаватель речи из Servicestoolbox. Служба распознавателя речи использует грамматики, которые определяют слова и фразы. Для настройки грамматики использовался распознаватель речи Guiservice. Вышеназванные голосовые команды добавлены в словарь, оставляя семантическое поле Semantic Value пустым, как показано на рисунке 1.

В результате после обучения робота голосовым командам получена визуальная программа управления движением транспортного робота, которая показана на рисунке 2.

После обучения робота, он выполняет голосовые команды в виртуальном пространстве в программной среде VPL Microsoft Robotics Developer Studio.

## Speech Configuration

**Grammar Type** Dictionary ▾

Text	Semantic Value	
Drive Forwards		-
Drive Backwards		-
End Drive		-
Stop		-
Turn Left		-
Turn Right		-
Turn Around		-
Begin Learning		-
End Learning		-
Perform Actions		-
		+

**Save**

Рисунок 1 – Словарь голосовых команд

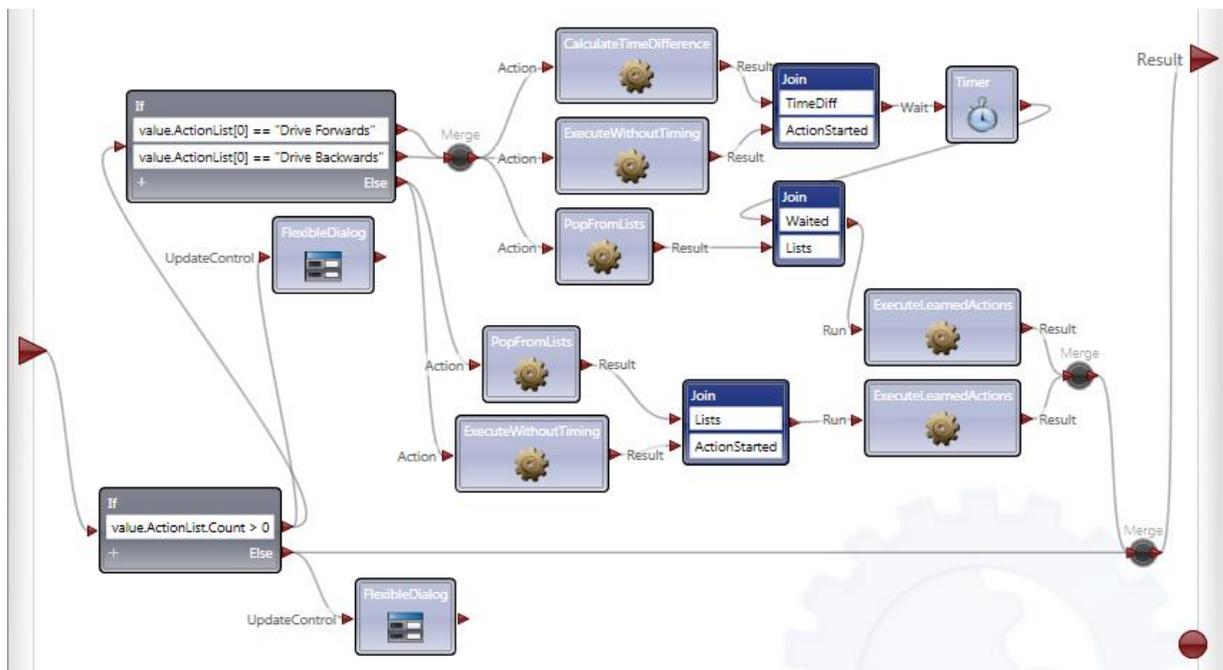


Рисунок 2 – Пример визуальной программы управления движением транспортного робота

Рассмотрим структурную схему системы управления ТР. Пульт оператора представляет собой мобильное автоматизированное рабочее место и предназначен для реализации функций верхнего уровня управления ТР:

- 1) интерфейса человек–машина в виде виртуального пульта управления на мобильном устройстве (сотовый телефон, планшет, ноутбук) с голосовым управлением,
- 2) отображения телевизионного сигнала на мобильном устройстве.

Функции интеллектуального контроллера, или второго уровня управления выполняет программируемый контроллер ADAM-5510M. Этими функциями являются приём команд, передаваемых верхним уровнем, их обработка и передача контроллерам нижнего уровня управления; сбор данных с контроллеров нижнего уровня, а также с датчиков, присоединённых непосредственно к интеллектуальному контроллеру; обработка полученных данных, их представление для передачи верхнему уровню управления; контроль состояния подсистем борта ТР; передача верхнему уровню по его запросу необходимой информации: данных, полученных от контроллеров нижнего уровня и присоединённых датчиков, состояния подсистем борта ТР; синхронизация работы подсистем борта МР; обеспечение функционирования подсистем борта ТР в условиях отсутствия обмена информацией с верхним уровнем управления, например при временной потере связи; работа в режиме управления подсистемами борта ТР от технологического пульта. Контроллер ADAM-5510M имеет 4 слота для установки модулей расширения, работает под управлением встроенной операционной системы ROM-DOS, оснащён четырьмя COM-портами: COM1 (RS-232); COM2 (RS-485); COM3 (RS-232) – порт программирования, используемый только для записи во флэш-память прикладного программного обеспечения (ПО) и для управления контроллером от внешнего хост-компьютера при отладке программ с помощью специальной утилиты; COM4 может быть настроен либо как RS-232, либо как RS-485 (в данном проекте). Для хранения файлов прикладного ПО, в том числе исполняемых модулей, доступно 960 кбайт флэш-памяти. При включении питания контроллера автоматически запускается исполняемый модуль, имя которого прописано в файле AUTORUN.BAT, тем самым обеспечивается запуск требуемой прикладной программы.

К порту COM1 контроллера присоединены параллельно преобразователь интерфейсов RS-232 – RS-485 ADAM4520I со стороны входа RS-232. Этот порт используется для связи с верхним уровнем управления. Порт COM2 используется для связи с нижним уровнем управления – контроллерами электроприводов.

На нижнем уровне управления используется векторное управление для асинхронных двигателей [3-5]. Векторное управление было разработано для высокопроизводительных

двигателей, которые должны работать плавно во всем диапазоне скоростей, генерировать полный крутящий момент при нулевой скорости и иметь высокие динамические характеристики, включая быстрое ускорение и замедление. Векторное управление становится все более востребованным, во всех отраслях промышленности, так как асинхронные двигатели имеют ряд преимуществ [6-8]. С увеличением вычислительной мощности микропроцессоров векторное управление в конечном счете почти повсеместно вытеснит скалярное управление.

При векторном управлении асинхронный или синхронный двигатель переменного тока управляется во всех рабочих условиях, как и двигатель постоянного тока с независимым возбуждением [9-10]. Двигатель переменного тока ведет себя как двигатель постоянного тока, в котором магнитная связь поля и потокосцепление якоря, создаваемые соответствующим током поля и якоря (или составляющей крутящего момента), выровнены ортогонально, так что при управлении крутящим моментом поле на потокосцепление не влияет, следовательно, обеспечивается динамический отклик крутящего момента [11-12].

Векторное управление соответственно генерирует выходное напряжение трехфазного ШИМ-двигателя, полученное из комплексного вектора напряжения, для управления комплексным вектором тока, полученным из входного трехфазного тока статора двигателя, через проекции или вращения назад и вперед между трехфазной системой, зависящей от скорости и времени, и двухкоординатная во времени вращающаяся система отсчета этих векторов [13-14].

Такой комплексный пространственный вектор тока статора может быть определен в системе координат  $(d, q)$  с ортогональными компонентами по осям  $d$  (прямая) и  $q$  (квадратурная), так что компонент магнитной связи поля тока выровнен по оси  $d$ , а компонент крутящего момента ток выровнен по оси  $q$ . Система координат  $(d, q)$  асинхронного двигателя может быть наложена на трехфазную синусоидальную систему мгновенного  $(a, b, c)$  двигателя, как показано на сопроводительном изображении (фазы  $b$  и  $c$  не показаны для ясности). Компоненты вектора системного тока  $(d, q)$  допускают обычное управление, такое как пропорциональное и интегральное или ПИ-регулирование, как в случае с двигателем постоянного тока.

Существует два метода векторного управления: прямое или векторное управление с обратной связью (DFOC) и косвенное векторное управление или управление с прямой связью (IFOC), причем косвенное управление используется чаще, потому что в режиме замкнутого контура такие приводы легче работают во всем диапазоне скоростей от нулевой скорости до высокой [15-16]. В векторном управлении с обратной связью сигналы обратной связи по магнитуде и углу вычисляются напрямую с использованием так называемых

моделей напряжения или тока. В управлении с прямой связью, сигналы прямой передачи угла пространства потока и величины потока сначала измеряют токи статора и частоту вращения ротора, а затем получают собственный угол пространства потока путем суммирования угла ротора, соответствующего частоте вращения ротора, и расчетного опорного значения угла скольжения, соответствующего частоте скольжения [17].

Бездатчиковое управление приводами переменного тока привлекательно с точки зрения стоимости и надежности. Бездатчиковое управление требует получения информации о частоте вращения ротора из измеренных напряжений и токов статора в сочетании с оценками разомкнутого контура или наблюдателями замкнутого контура.

Выполним параметрический синтез ПИД-закона управления на основе непрерывной модели модуля движения. Определим необходимые для синтеза ПИД-закона управления, следующие данные и числовые значения:

– *параметры оптимизации* (оптимизируемые параметры) – являются коэффициентами ПИД-закона управления  $k_p, k_i, k_d$ ;

– *критерии оптимизации* – при ступенчатом входном воздействии  $U_0$  при 0,5%-ной «трубке» и  $M_c = M_n$  можно принять следующими:

– переходный процесс должен быть без перерегулирования – регулируемая величина  $\omega = 5,66 \pm 0,28$  рад/с (при 5%-ной «трубке»),  $\omega_{p\_max} = 5,94$  рад/с,  $\omega_{p\_min} = 5,38$  рад/с;

– время переходного процесса  $t_{pp} = 0,9$  с, определяемое по факту входа регулируемой переменной  $\omega_p$  в зону 5%-ной «трубки».

Такие условия должны обеспечивать перевод системы управления из состояния  $\omega_p = 0$  при  $t = 0$  в состояние  $\omega_p = 5,66 \pm 0,28$  рад/с при  $t = t_{pp} = 0,9$  с;

Модель для параметрического синтеза непрерывного ПИД-закона управления представлена на рисунке 3.

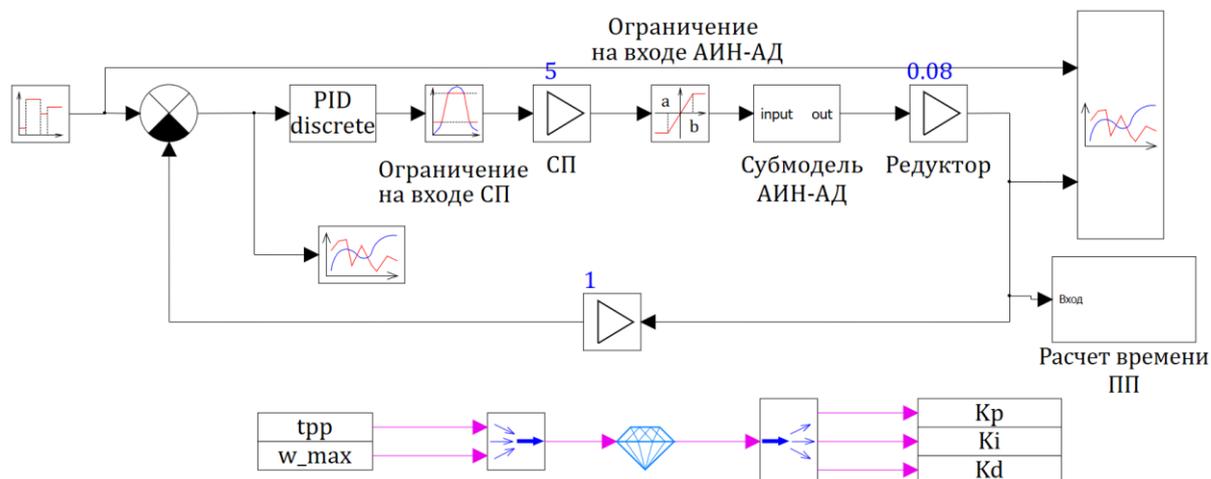


Рисунок 3 – Модель для параметрического синтеза непрерывного ПИД-закона управления

Схемное окно с раскрытым блоком “Расчет времени ПП” показано на рисунке 4.

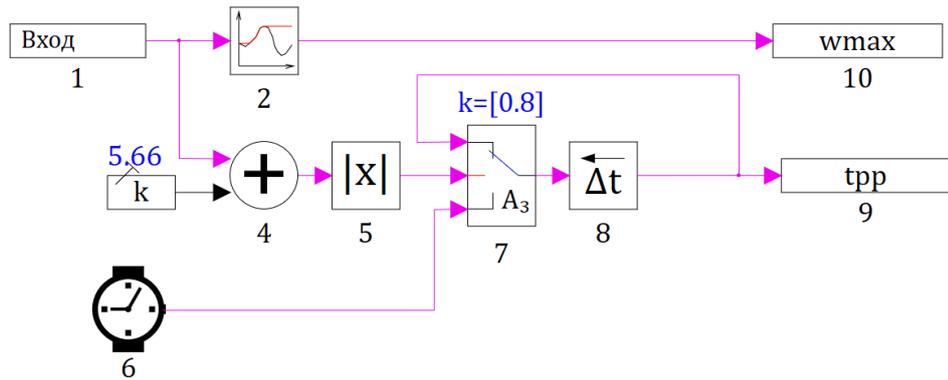


Рисунок 4 – Раскрытый блок *Расчет времени ПП*

Раскрытая субмодель АИН-АД показана на рис. 5.

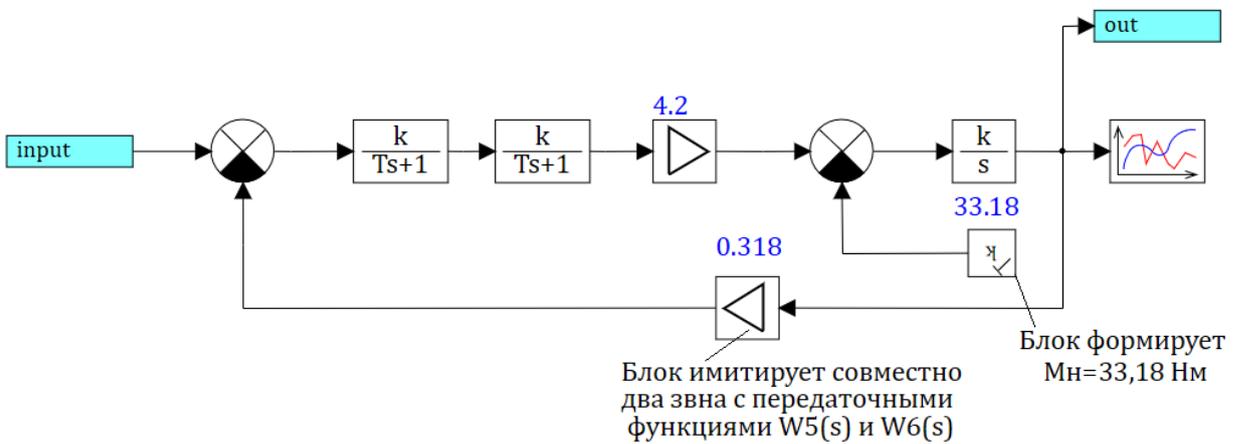


Рисунок 5 – Схемное окно с раскрытой субмоделью АИН-АД

В качестве примера приведен расчет для равномерного подъема в гору с 6% уклоном пустого ТР массой 1700 кг, с номинальной скоростью 12 км/ч.

Параметры задающего воздействия показаны на рисунке 6. Результаты с оптимизированными графиком переходного процесса приведены на рисунке 7 для угловой скорости колеса, и на рисунке 8 для угловой скорости двигателя.

Свойства : PolyStep\_source10

Название	Имя	Формула	Значение
Массив временных интервалов	t		[[2, 8, 5]]
Массив значений	y		[[5.5, 3, 5.5]]

Рисунок 6 – Параметры задающего воздействия



Рисунок 7 – *Графическое окно блока Временной график с оптимизированным графиком переходного процесса*

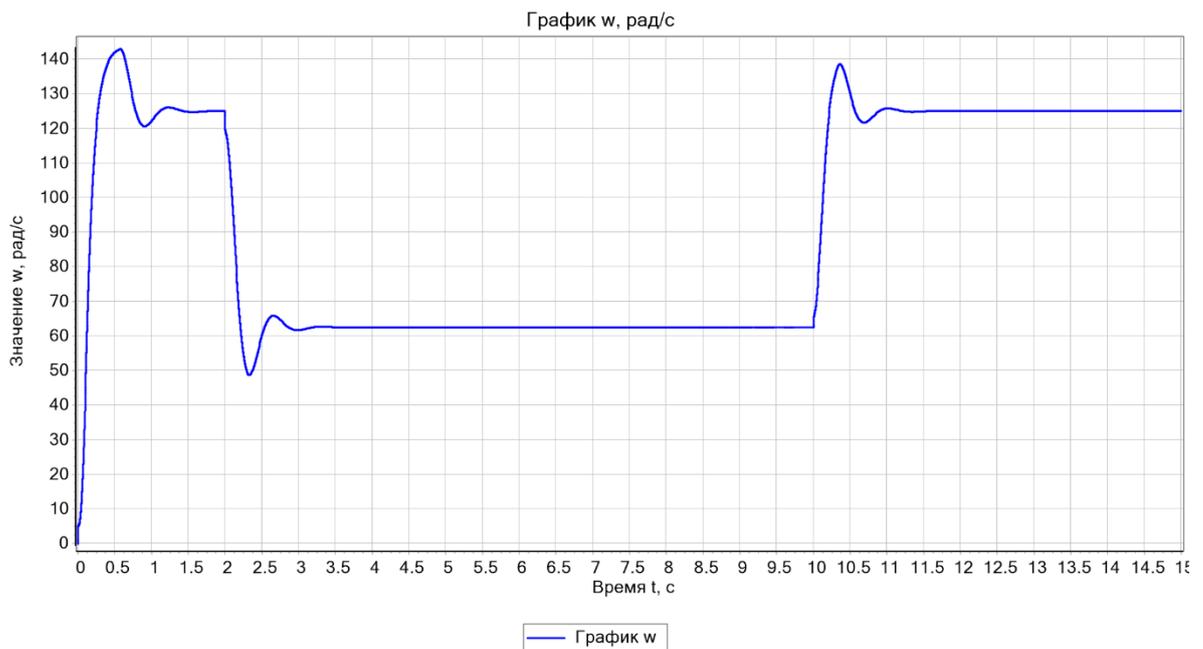


Рисунок 8 – *Графическое окно выхода угловой скорости двигателя*

Таким образом, в результате параметрической оптимизации ПИД-закона управления на основе непрерывной модели привода с частотным управлением найдены оптимальные значения его коэффициентов усиления:  $K_p = 6$ ;  $K_i = 2,68$ ;  $K_d = 0,01$ , при которых время переходного процесса составляет  $t_{pp} = 0,57$  с, что меньше его заданной допустимой величины 0,9 с.

Система управления с помощью датчиков определяет массу груза и наклон плоскости движения и автоматически подбираются оптимальные коэффициенты ПИД-

регулятора тягового привода из базы данных (от порожнего до макс. нагруженного, 3 градации (0,  $m_{max}/2$ ,  $m_{max}$ ), движение по плоскости, движение в гору с уклоном 6% и 12% (всего 9 комбинаций).

Затем из базы выбираются оптимальные коэффициенты ПИД-регулятора.

Выполнен расчет необходимого крутящего момента двигателя. Расчет проводился на основе формул (1-10).

Исходные данные для расчета:

Масса ТР	$m = 1700$ кг
Масса груза	$m_{г} = 2000$ кг
Скорость	$V = 12$ км/ч = 3,333 м/с
Диаметр колеса	$D = 588$ мм
КПД двухступенчатого цилиндрического редуктора	$\eta_{тр} = 0,95$
Передаточное отношение редуктора	$i_p = 12,7$
Высота ТР	$B = 0,7$ м
Ширина ТР	$H = 1,3$ м

Силовой баланс ТР (1):

$$F_T = F_k + F_p + F_b + F_i \quad (1)$$

где  $F_k$  – сила сопротивления качению, Н;

$F_p$  – сила сопротивления подъему, Н;

$F_b$  – сила аэродинамического сопротивления, Н;

$F_i$  – сила инерции, Н.

$F_k$  и  $F_b$  – при движении существуют всегда;  $F_p$  и  $F_i$  – могут отсутствовать.

Так же силу тяги можно найти по моменту электродвигателя (2).

$$F_T = \frac{M \cdot i_p \cdot \eta_{тр}}{r_k} \quad (2)$$

где  $M$  – крутящий момент электродвигателя, Н·м;

$i_p$  – передаточное отношение редуктора;

$\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии;

$r_k$  – радиус колеса.

Из формулы (2) выразим крутящий момент электродвигателя для нахождения необходимого крутящего момента электродвигателя для преодоления сил сопротивления (3):

$$M = \frac{F_T \cdot r_k}{i_p \cdot \eta_{\text{тр}}} \quad (3)$$

Сила сопротивления качению (4):

$$F_k = f_k \cdot G_a \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

где  $f_k$  - коэффициент сопротивления качению деформируемого колеса по недеформируемому грунту,  $f_k = 0,02$ ;

$G_a$  – вес ТР, Н;

$\alpha$  – угол продольного наклона дороги.

Сила тяжести ТР (5):

$$G_a = m \cdot g \quad (5)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Вес пустого ТР:

$$G_a = 1700 \cdot 9,81 = 16677 \text{ Н}$$

Вес ТР с грузом 2000 кг:

$$G_a = 3700 \cdot 9,81 = 36297 \text{ Н}$$

Сила сопротивления подъему (6):

$$F_{\text{п}} = G_a \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

Аэродинамическое сопротивление (7):

$$F_{\text{в}} = 0,5 \cdot c_x \cdot A \cdot \rho_{\text{в}} \cdot V^2 \quad (7)$$

где  $c_x$  - коэффициент аэродинамического сопротивления ТР,  $c_x = 0,7$ ;

$A$  - площадь миделева сечения ТР (площадь продольной проекции ТР на вертикальный экран),  $\text{м}^2$  (8);

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$A = 0,78 \cdot B \cdot H \quad (8)$$

где В и Н высота и ширина ТР соответственно, м.

$$A=0,78 \cdot 0,7 \cdot 1,3=0,71 \text{ м}^2$$

При разгоне ТР происходит разгон поступательно движущейся массы и разгон вращающихся масс (двигателя, трансмиссии, тормозных дисков и/или барабанов, колес), увеличивающих сопротивление разгону. Это увеличение можно учесть в расчетах, если считать, что ТР движется поступательно (9).

$$F_{\text{и}}=\delta \cdot m \cdot a \quad (9)$$

где  $\delta$  – коэффициент учета инерции вращающихся масс (полный) (10).

$a$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>.

$$\delta=1+\frac{J_{\text{дв}} \cdot i_{\text{тр}}^2 \cdot \eta_{\text{тр}} + \sum J_{\text{к}}}{m \cdot r_{\text{к}}}, \quad (10)$$

где  $J_{\text{дв}}$  – момент инерции двигателя, кг·м<sup>2</sup>,  $J_{\text{дв}} = 0,0138$  кг·м<sup>2</sup>;

$J_{\text{к}}$  – момент инерции колеса, кг·м<sup>2</sup>;

$m$  – полная масса ТР, кг.

Ускорение при разгоне (11):

$$a = \frac{V}{t} \quad (11)$$

где  $t$  – время разгона до номинальной скорости, 5 сек.

$$a = \frac{3,333}{5} = 0,67 \text{ м/с}^2$$

В расчетах наклон переведен из процентного соотношения в градусы, а далее в радианы. Масса груза была сложена с массой ТР.

*Таблица 1*

Результаты вычисления необходимых крутящих моментов электродвигателя, Н·м

Наклон плоскости, %	Масса груза, кг		
	0	1000	2000
0	8,38	13,16	17,94
6	33,18	52,54	71,91
12	57,85	91,73	125,6

Нахождение оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора. Для каждого момента сопротивления найдены оптимальные коэффициенты ПИД- регулятора и занесены в таблицу.

На рисунке 9 приведен результат оптимизации коэффициентов ПИД регулятора для случая движения ТР в подъем 12% со скоростью 12 км/ч с грузом 2000 кг, с необходимым крутящим моментом на валу двигателя 125,6 Н·м. На рисунке 10 приведен график переходного процесса для скорости колеса 5,66 рад/с.

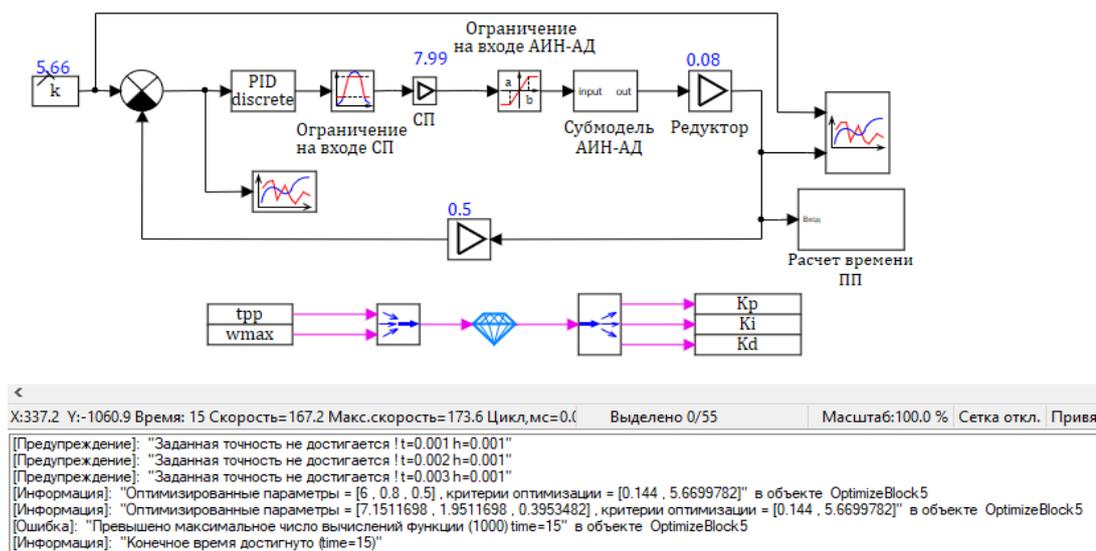


Рисунок 9 – Окно с результатами оптимизации  
График

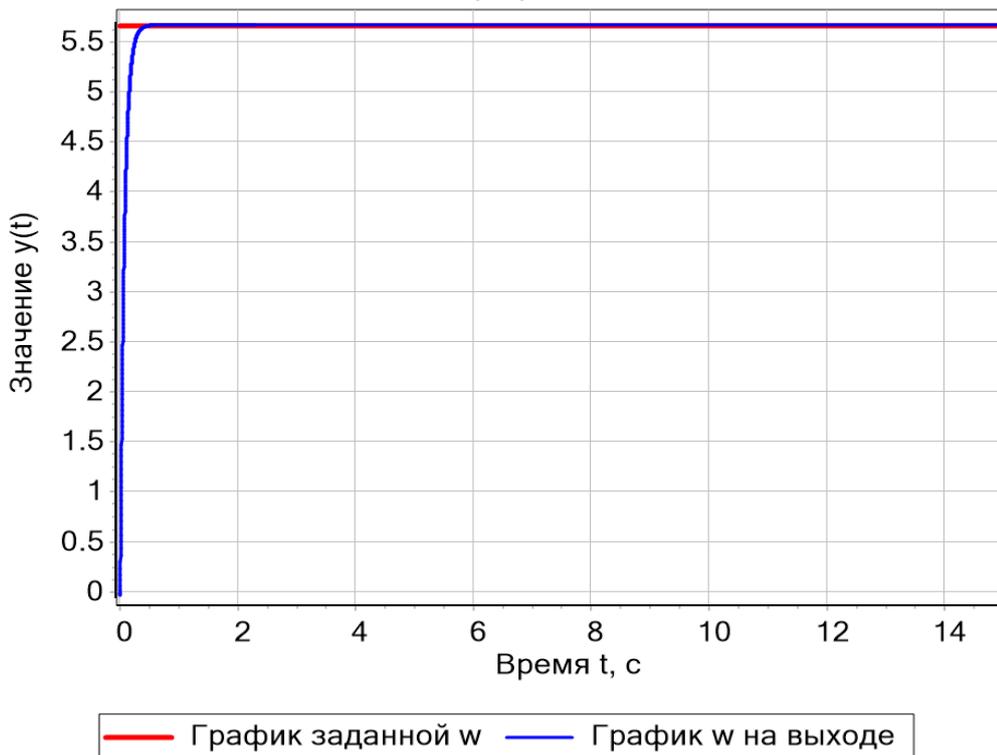


Рисунок 10 – Графическое окно блока *Временной график* с оптимизированным графиком переходного процесса

Найденные коэффициенты ПИД регулятора для 9 комбинаций

Наклон плоскости, %	Масса груза, кг		
	0	1000	2000
0	5,84; 2,06; 0,01	6,42; 2,47; 0,01	5,9; 1,28; 0,31
6	6; 2,68; 0,01	6,62; 1,89; 0,01	6,78; 2,68; 0,
12	5,33; 2,12; 0,02	6,63; 1,89; 0,01	7,15; 1,95; 0,39

Оценку адекватности оптимизированной непрерывной модели модуля движения его непрерывно-дискретной (цифровой) модели выполняется в следующей последовательности.

С целью определения периода квантования  $T$  на основе модели (рис. 9) создается отдельно непрерывная структурная модель привода с оптимальными параметрами ПИД-закона управления (рис. 11) для построения АЧХ, необходимой для определения частоты пропускания  $\omega_p$ .

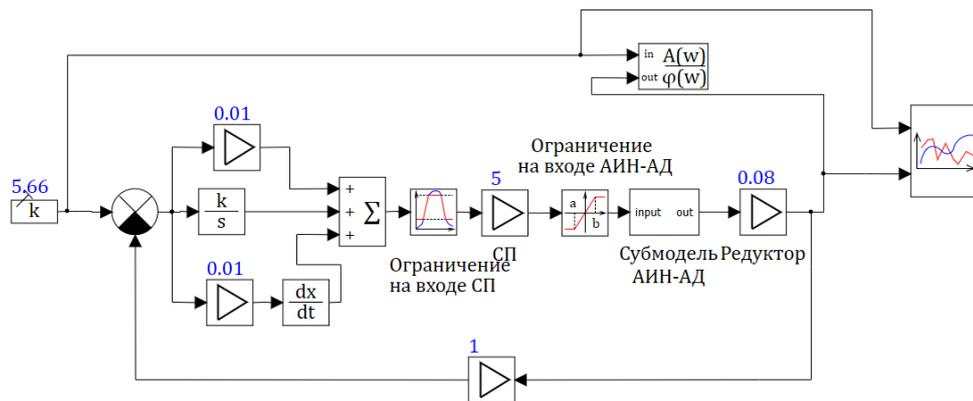


Рисунок 11 – Схемное окно с введенной структурной схемой непрерывной модели для построения АЧХ

Запускается непрерывная модель, показанная на рис. 11 и после завершения процесса расчета АЧХ на основе данных, вычисляется граничное (максимальное) значение периода квантования  $T_{\max}$ , при котором должна сохраняться адекватность непрерывной модели модуля движения ее непрерывно-дискретной модели:

$$T_{\max} = \pi/\omega_{\text{Пмак}} = 3,14/167 = 0,0188 \text{ с} \approx 0,02 \text{ с.}$$

Непрерывно-дискретная модель сформирована на основе непрерывной модели посредством замены блоков, имитирующих непрерывный ПИД-закон управления, одним блоком *Дискретный ПИД-регулятор* из библиотеки *Дискретные*, реализующим передаточную функцию.

Для оценки влияния значения периода квантования на адекватность непрерывно-дискретной модели модуля движения ее непрерывному аналогу с оптимальными

значениями параметров непрерывного ПИД-закона управления выполняется их сравнительное моделирование при  $T=0,01$  с и нескольких значениях  $T>0,01$  с, используя структурную схему моделирования, приведенную на рис. 12.

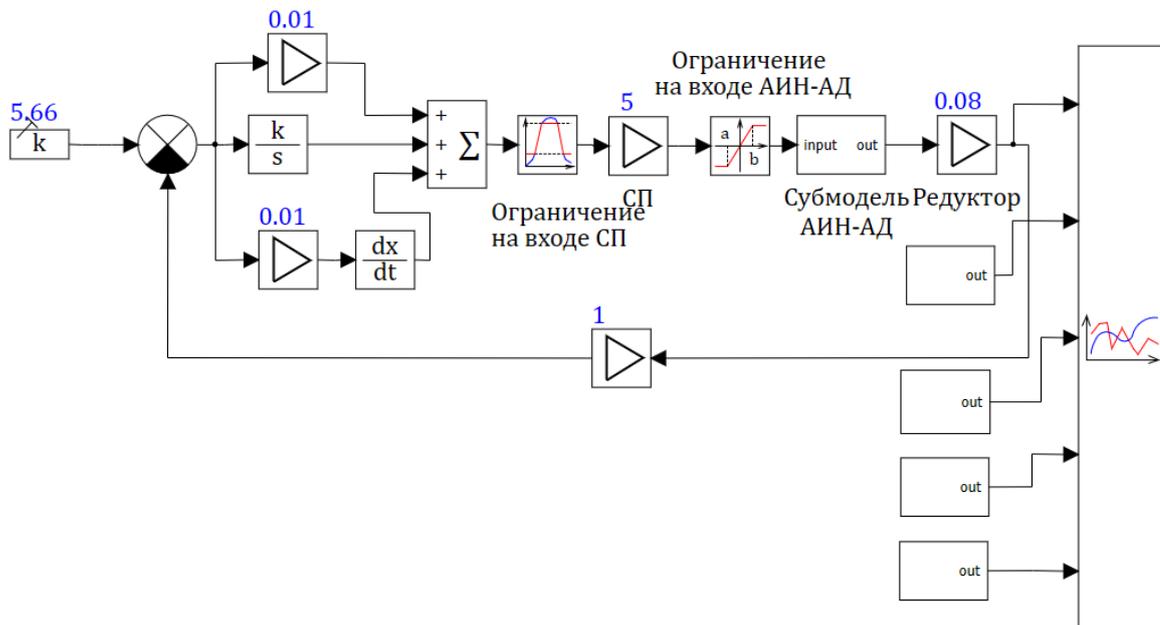


Рисунок 12 – Схемное окно с оптимизированной непрерывной моделью модуля движения и его непрерывно-дискретными моделями с разными значениями периода квантования  $T$ , размещенными в блоках *Субмодель*

Субмодель с оптимизированной непрерывно-дискретной модели показана на рисунке 13.

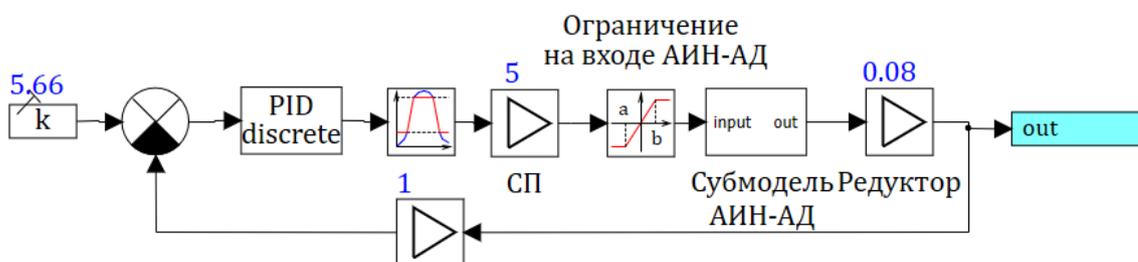


Рисунок 13 – Схемное окно *Субмодель* с оптимизированной непрерывно-дискретной модели

При значениях периода квантования  $T \leq 0,05$  с непрерывно-дискретная модель модуля движения будет адекватна его непрерывной модели. Что позволяет при программировании контроллера использовать дискретный ПИД-закон управления с периодом квантования  $T \leq 0,05$  с и оптимальными значениями его параметров.

Если окажется, что оперативная память используемого контроллера не позволяет реализовать период квантования  $T \leq 0,05$  с, то его необходимо увеличить с учетом возможностей оперативной памяти. В таком случае нарушается взаимная адекватность

непрерывной и непрерывно-дискретной моделей модуля движения, и тогда, очевидно, будет необходим параметрический синтез дискретного закона управления при  $T > 0,05$  с.

### **Выводы**

Разработанная система управления позволяет следовать транспортному роботу от одной целевой точки к другой с использованием голосового управления. Задача управления роботом с использованием голосового управления существенно упрощается, поскольку она практически не требует специальных навыков от оператора. Голосовое управление облегчит использование роботов в промышленности, быту и других областях. Управлять можно будет не только роботами, но и другими устройствами, имеющими микропроцессорное управление. При управлении несколькими объектами нужно задавать адрес или имя объекта, который будет выполнять команду, также с использованием голосового управления.

Рассчитаны крутящие моменты на валу двигателя транспортного робота 8,38 Н·м для движения без груза с номинальной скоростью, с грузом 2000 кг – 18,14 Н·м, без груза, с номинальной скоростью, на подъеме момент равен 57,85 Н·м, с грузом 2000 кг с номинальной скоростью на подъеме 12% – 125,61 Н·м.

Рассчитаны необходимые крутящие моменты на валу двигателя при разгоне по горизонтальной поверхности пустого транспортного робота и с грузом 2000 кг 36,3 Н·м и 61,15 Н·м соответственно. При разгоне на подъеме 12% пустого транспортного робота и с грузом 2000 кг крутящие моменты на валу двигателя 85,83 Н·м и 176,94 Н·м соответственно.

Асинхронный двигатель имеет максимальный крутящий момент не менее 195 Н·м, из чего можно сделать вывод что выбранный асинхронный двигатель АДТ 6,0МР удовлетворяет тяговым требованиям.

Была сформирована непрерывно – дискретная и непрерывная структурная модель модуля движения. В результате параметрической оптимизации ПИД-закона управления на основе непрерывной модели привода с частотным управлением найдены оптимальные значения его коэффициентов усиления:  $K_p = 0,01$ ;  $K_i = 8,91$ ;  $K_d = 0,01$ , при которых время переходного процесса составляет  $t_{pp} = 0,341$  с, что меньше его заданной допустимой величины 0,9 с.

### **Литература**

1. Kim J. (eds.) et al. Robot Intelligence Technology and Applications 5. Springer. 2018. 579 p. ISBN 978-3319784519. doi: 10.1007/978-3-319-78452-6
2. Никитин Ю.Р., Теплякова М.Ю. Управление транспортным роботом голосовыми командами // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. Том 15. № 3. – С. 112-117.

3. Калачев Ю.Н. SimInTech: Моделирование в электроприводе. Москва, 91 с.
4. Турыгин А.Б., Штолманн В.В. Динамика привода беспилотного летательного аппарата // Аграрный вестник Нечерноземья. 2021. Vol. 2(2), с. 41-46. doi: 10.52025/2712-8679\_2021\_02\_41.
5. Красноперов Р.А., Никитин Ю.Р. Разработка системы оптимального управления скоростью асинхронного двигателя в приводе электротележки // II Всероссийская научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации»: Сборник трудов конференции. – Белебей, СамГТУ, 2021. – 586 с. – С. 39–42. [Электронный ресурс]. URL:<https://bf.samgtu.ru/uploads/conference/2021/sbornik-..> (дата обращения 15.02.2022)
6. Краснодубец Л.А., Олейников А.М. ПИД регулятор как платформа для реализации адаптивных законов управления электроприводом // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016; 17(12): 809-816. doi: 10.17587/mau.17.809-816.
7. Никитин Ю.Р., Красноперов Р.А., Божек П. Оценка адекватности оптимизированной непрерывной модели привода электротележки на базе асинхронного двигателя. МЕХАТРОНИКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: последние достижения, вызовы и тенденции: Международная научная конференция, International Scientific Conference: MECHATRONICS, PRODUCTION TECHNOLOGIES, DIGITAL ENTERPRISE: latest success, challenges and trends. 14.04.2021. – С. 23–30. ISBN 978-80-8096-062-9.
8. Божек П., Никитин Ю.Р., Красноперов Р.А. Параметрический синтез ПИД-закона управления на основе непрерывной модели привода электротележки на базе асинхронного двигателя. МЕХАТРОНИКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: последние достижения, вызовы и тенденции: Международная научная конференция, International Scientific Conference: MECHATRONICS, PRODUCTION TECHNOLOGIES, DIGITAL ENTERPRISE: latest success, challenges and trends. 14.04.2021. – С. 12–22. ISBN 978-80-8096-062-9.
9. Crowder R. Electric Drives and Electromechanical Systems: Applications and Control. 2nd Edition. Butterworth-Heinemann. 2020. 309 p. ISBN 978-0-08-102884-1.
10. El-Sharkawi M.A. Fundamentals of Electric Drives. 2nd Edition. Cengage Learn. 2019. 364 p. ISBN 978-1-305-97096-0.
11. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. 5th Edition. Newnes. 2019. 495 p. ISBN 978-0-08-102615-1.
12. Božek P., Nikitin Y. The Development of an Optimally-Tuned PID Control for the Actuator of a Transport Robot. *Actuators*, 2021, 10, 195. doi: [org/10.3390/act10080195](https://doi.org/10.3390/act10080195).

13. Boldea I. Induction machines handbook: steady state modeling and performance. Series: Electric power engineering Third edition. CRC Press. 2020. 433 p.
14. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. Fifth Edition. Elsevier Ltd. 2019. 495 p.
15. Luo Y.C., Tsai C.L. Speed estimation vector-controlled induction motor drive based on fuzzy logic control flux estimator. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2019, Vol. 38(3–4) 1220–1233. DOI: 10.1177/1461348418784187.
16. Azzoug Y., Sahraoui M., Pusca R., et. al. High-performance vector control without AC phase current sensors for induction motor drives: Simulation and real-time implementation. ISA Transactions, Elsevier, 109, 2020, pp. 295-306. doi: 10.1016/j.isatra.2020.09.021.
17. Jain J.K., Ghosh S., Maity S. Concurrent PI controller design for indirect vector controlled induction motor. Asian Journal of Control, 2020, Vol. 22, No. 1, pp. 130–142, Jan. doi: 10.1002/asjc.1911.

## ПРОБЛЕМА РЕГЕНЕРАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ПОСЛЕ 3D-ПЕЧАТИ

**Шарикова В. Е., Гончаренко В. Е., Лагуткин С. В.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[vera.sharikova.02@mail.ru](mailto:vera.sharikova.02@mail.ru)

[donyokuna.onna@mail.ru](mailto:donyokuna.onna@mail.ru)

[stas.lagutkin@mail.ru](mailto:stas.lagutkin@mail.ru)

**Аннотация:** в работе ведется исследование крайне актуальной проблемы регенерации металлического порошка после 3D-печати, решение которой требует анализа и раскрытия ключевых особенностей и способов, позволяющих проводить эффективную очистку годных частиц от нежелательных включений.

**Ключевые слова:** 3D-печать, металлический порошок, регенерация, устройство.

Аддитивные технологии (АТ) являются предвестником нового технологического уклада, необходимого для полноценного развития экономики России, устранения зависимости от зарубежных поставщиков, создания условий для развертывания собственных производств, а также расширения ассортимента применяемых материалов.

Новизна заключается в **уникальных возможностях АТ, которые обеспечивают следующие преимущества:**

- сокращение сроков и стоимости запуска изделия в производство благодаря отсутствию необходимости в специализированной инструментальной оснастке;
- экономическая целесообразность мелкосерийного производства и кастомизации продукции;
- оперативные изменения в проекте на этапе производства;
- функциональная оптимизация продукции;
- сокращение потерь и отходов производства;

Металлопорошковые композиции находят все большее применение в таких высокотехнологичных отраслях, как авиастроение, автомобилестроение, энергетика, военная и космическая техника, судостроение, приборостроение, но главной проблемой их использования для 56 % компаний до сих пор остается стоимость и доступность [1]. Одним из возможных ее решений может выступать регенерация металлического порошка после 3D-печати для повторного многократного использования.

В начале широкого распространения 3D-принтеров производители обещали коэффициент использования материала, близкий к 1, но в ходе активного применения технологии оказалось, что в использованном порошке содержатся сваренные (спекшиеся) частицы и мелкодисперсные золи. Наличие этих включений существенно ухудшает

качество выращиваемых изделий и делает основную долю дорогостоящего порошка (более 90 %) непригодной в дальнейшем. В связи с высокой дисперсностью частиц такой порошок не рационально перерабатывать (при переплавке образуются значительное количество шлака) и его приходится утилизировать, нанося урон окружающей среде. Все это делает регенерацию металлического порошка крайне актуальной задачей, решение которой требует анализа ключевых свойств, позволяющих проводить эффективную очистку годных частиц от нежелательных включений.

Свойства 3D-изделий и технологический процесс их изготовления во многом зависят от целого комплекса свойств исходных порошков, среди которых химические, физические и технологические [1]. Не углубляясь в их многообразие и учитывая специфику оборудования АТ, выделим характерные особенности металлопорошковых композиций для 3D-печати:

- заявленный химический состав и низкое содержание вредных примесей, включая оксиды;
- монодисперсность: от 10 до 50 мкм в SLS – технологиях и от 20 до 80 мкм в DMD – технологиях;
- плотность частиц: должна быть максимально приближена к плотности компактного металла, поскольку разница свидетельствует о наличии внутренней пористости;
- форма частиц: округлая и близкая к сферической для обеспечения высокой текучести в автоматизированном процессе, подачи материала в область печати;
- отсутствие сателлитов (агломератов);
- определённая насыпная плотность, являющаяся комплексным показателем большинства вышеперечисленных характеристик.

Данные особенности определили основные способы получения порошков для АТ:

- газовое распыление расплава (как правило, с вакуумной плавкой);
- плазменное распыление предварительного сформированного прутка (проволоки);
- центробежное распыление в различных вариантах.

С целью выявления эффективной технологии очистки металлических порошков от нежелательных включений рассмотрим промышленно отработанные способы сепарации (классификации) сыпучих материалов по различным признакам.

### **1) Магнитная сепарация**

Основана на способности железосодержащих материалов притягиваться к полюсам магнита [2]. По магнитной восприимчивости материалы подразделяются на сильномагнитные, слабомагнитные и немагнитные. Мелкие включения удалять из порошков очень трудно, так как слой порошка оказывает сильное сопротивление выходу из

него магнитных частиц. Поэтому для магнитного обогащения порошков применяют подвесной электромагнитный сепаратор с вибратором. При вибрации тонкого слоя порошка (не более 100 мм) в магнитном поле создаются условия для свободного выхода магнитных частиц. Подвесной электромагнитный вибрационный сепаратор подвешивается под бункером с материалом.

Следует отметить, что подавляющее большинство металлов и сплавов, применяемых в АТ, являются не магнитными и использование данного способа для решения поставленных задач не рационально.

## **2) Воздушная сепарация**

При сортировке сухих порошковых материалов, когда из общей смеси частиц требуется выделить тонкий продукт, прибегают к воздушной сепарации. По принципу действия современные классифицирующие устройства делятся на две группы:

- гравитационные;
- центробежные: а) воздушно-проходные классификаторы;  
б) воздушно-замкнутые (циркуляционные) классификаторы.

При сопоставимых расходах воздуха и концентрациях материала гравитационные аппараты имеют крупную границу разделения (более 200 мкм) и совершенно непригодны для решения поставленной задачи. Из всех возможных машин для тонкой классификации наибольшее распространение в промышленности получили классификаторы центробежного типа. В работе этих аппаратов используется принцип деления материала на крупную и мелкую фракции в зависимости от соотношения сил, действующих на частицу материала – центробежной силы, обусловленной вращением двухфазного потока, которая отбрасывает частицу на периферию, и силы аэродинамического сопротивления со стороны воздушного потока, увлекающей частицу к центру (рис.1).

Воздушно-центробежные классификаторы можно условно разделить на статические, в которых двухфазный поток приводится во вращательное движение с помощью лопаток, установленных под определенным углом относительно набегающего потока, и динамические классификаторы, в которых двухфазный поток увлекается вращающимся ротором. Классификаторы данного типа позволяют получать тонкодисперсные порошки крупностью менее 20 мкм.

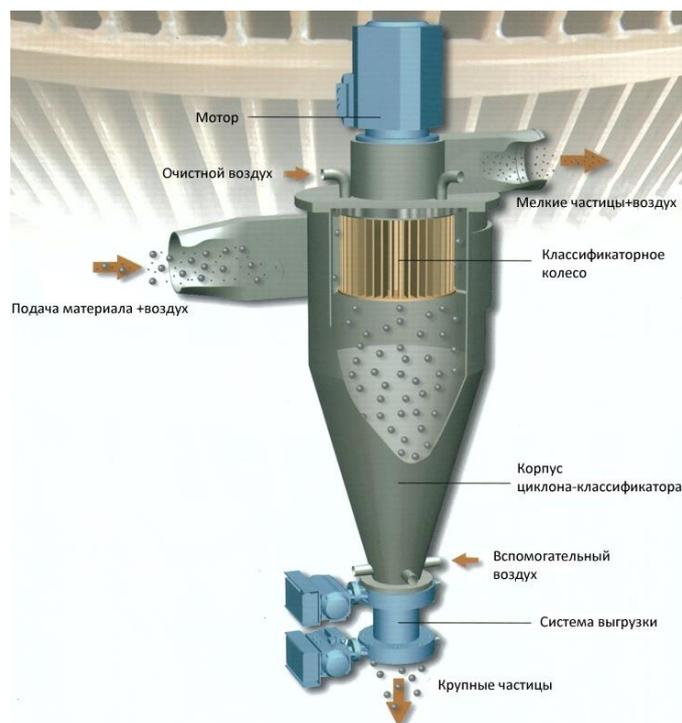


Рисунок 1 – Динамический воздушно-центробежный классификатор

Проведенный анализ рынка промышленных устройств в России и за рубежом позволил выделить предприятия, специализирующиеся на разработке и изготовлении оборудования для тонкой классификации, в том числе металлических порошков:

- ООО НТЦ «Инокс» (г. Новосибирск, РФ);
- ОДО «Ламел-777» (г. Минск, РБ);
- HOSOKAWA ALPINE AG (г. Аугсбург, ФРГ);
- NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH (г. Ханану, ФРГ);
- NEUMAN&ESSER Process Technology GmbH (г. Убах-Паленберг, ФРГ);
- Mianyang Liuneng Powder Equipment Co., Ltd (Сичуань, КНР).

Данными предприятиями предлагаются схемы, основанные на использовании динамического воздушно-центробежного классификатора, отличающиеся лишь аппаратным оформлением процесса.

Принцип работы данных классификаторов следующий (рис.1). Материал, подлежащий разделению, вводится в несущий воздушный поток и поступает в корпус классификатора. Вследствие вихревого характера движения под действием преобладающей центробежной силы крупные частицы материала отбрасываются на периферию. Достигнув стенок корпуса, они теряют скорость и опускаются в сборник крупных частиц, из которого выводятся через шлюзовой затвор. Шлюзовой затвор выводит из классификатора крупные частицы, но предотвращает выход воздушного потока. Частицы, размер которых меньше граничного, вместе с воздушным потоком направляются внутрь разгонного ротора и через патрубков выхода тонкого продукта выводятся из классификатора. Крупность продукта

разделения может регулироваться непосредственно в процессе работы классификатора за счет изменения частоты вращения разгонного ротора и транспортного вентилятора.

Учитывая успешный опыт применения таких классификаций для удаления пылевых фракций порошков различных металлов [3], данная технология имеет высокий потенциал при тщательной настройке режимов под конкретный продукт.

### **3) Электромассклассификатор (ЭМК)**

Техника нового класса с общим названием электромассклассификатор основана на явлении генерации вращающимися турбулентными газовыми потоками плотных аэрозолей заряженных частиц - газопылевой плазмы и ее спонтанного разделения во внешних полях [4].

Так, например, электромассклассификацией занимается ООО НПФ «Нанопорошковые технологии», основанное в 2007 году в Новосибирске.

В силу принципа работы ЭМК (рис.2) не существует инструментального ограничения по размерам частиц и количеству выделяемых фракций, но обычно достаточно выделять одновременно 3-4 фракции. Благодаря закрытому объему и зарядке частиц, которая способствует разрушению агрегатов изнутри под действием Кулоновской силы, техника ЭМК работает в диапазоне размеров частиц от ~30 нм до 500 мкм, недоступных традиционной технике типа воздушных классификаторов. Техника ЭМК способна работать в контролируемой атмосфере, при пониженных и повышенных давлениях и при этом легко масштабируется.



Рисунок 2 – Классификатор ЭМК

Таким образом, сепарация порошка на ЭМК возможна, при этом не требуется традиционная для воздушных классификаторов система газоочистки с циклонами,

фильтром, вентиляторами и воздуховодами, но она требует экспериментального подтверждения эффективности на материалах АТ.

#### 4) Струйная вихревая мельница

В основу изобретения [5] положена задача повышения эффективности тонкого измельчения и расширения номенклатуры измельчаемых материалов за счет организации высокоскоростного (сверхзвукового) струйного пристеночного течения, создаваемого сверхзвуковыми, плоскими, тангенциальными соплами подачи газового энергоносителя в плоскую помольную камеру с цилиндрической боковой стенкой. В процессе работы устройства частицы загружаемого материала разгоняются до скоростей, обеспечивающих их эффективное измельчение за счет взаимодействия частиц со стенками камеры и между собой. Схема струйной вихревой мельницы представлена на рисунке 3.

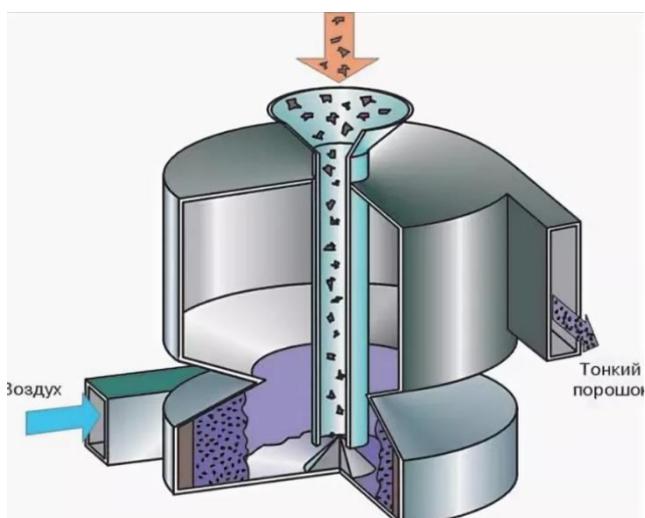


Рисунок 3 – Схема струйной вихревой мельницы

Использование струйной мельницы помимо задачи отделения полевых фракций порошка позволяет решить проблему агломерации частиц и разрушения (измельчения) золь, обладающей большей твердостью (хрупкостью) нежели основной материал, что существенно должно повысить степень классификации. Устройство мельниц довольно простое, не имеет движущихся частей и её применение для поставленных целей выглядит вполне оправданным.

#### 5) Устройство для отделения сферических твердых частиц от твердых частиц неправильной формы

Изобретение касается сепарации твердых частиц по форме и относится к устройствам для отделения сферических твердых частиц от твердых частиц неправильной формы [6].

Устройство (рис.4) содержит вращающийся, горизонтально расположенный разделительный стол, верхняя конусообразная рабочая поверхность которого имеет угол



Технология ЭМК самостоятельна, однако перспективы ее использования для регенерации ее металлического порошка еще предстоит выявить экспериментально.

#### Литература

1. <https://extxe.com/3715/metallicheskie-materialy-dlja-additivnyh-tehnologij/>
2. <http://www.stroitelstvo-new.ru/keramika/farfor-faience/magnetic-separation.shtml>
3. Отчет о научно-исследовательской работе к договору №778-2018 от 03.08.2018 г. по теме: «Сепарация тонкой фракции цинкового порошка ПАО «ЧЦЗ» – Новоуральск: ООО Эксперт ТМ, 2018. 67 с.
4. <https://nanopowder-technology.com/ru/?page=611>
5. Патент РФ №RU 2048920 С1, МПК В02С 19/06. Струйно-вихревая мельница / Лукьянченко А.Н., Сидоров П.В. – №94003878/33, заявл. 08.02.1994; опубл. 27.11.1995.
6. Патент SU 1478997 А3, МПК В07В 13/00, В07С 9/00. Устройство для отделения сферических твердых частиц от твердых частиц неправильной формы / Йоханнес Бом, Тенис Терлау, Питер Виссер – №3493682, заяв. 21.09.1982; опубл. 07.05.1989.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Степанов П.И., Закураев В.В.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[stepanov\\_pi@mail.ru](mailto:stepanov_pi@mail.ru)

Аннотация: В работе описаны модель и алгоритм оценки остаточного ресурса электромеханического оборудования. Оценка остаточного ресурса проводилась на основе комплексного анализа данных вибрации (с зубчатой передачи) и потребляемого тока асинхронным двигателем. В качестве диагностических параметров выделены виброскорость, виброускорение и ток в фазах обмотки статора приводного электродвигателя. В работе приведена разработка и апробация модели и алгоритма оценки остаточного ресурса на основе анализа наиболее чувствительных диагностических признаков к возникновению и развитию неисправностей. В лабораторных условиях получены данные по изменению выделенных диагностических признаков в условиях отсутствия смазки в зубчатом редукторе. Особенностью предлагаемых модели и алгоритма является возможность проводить оценку в условиях изменяющихся режимов работы и внешних нагрузок.

Ключевые слова: Ключевые слова: неразрушающий контроль, диагностика, электропривод, остаточный ресурс.

Одна из главных задач, решаемых на основе диагностирования, – предсказание состояния электромеханического привода в некоторый будущий момент времени (прогнозирование). Важнейшие аспекты прогнозирования – определение срока службы элементов привода или периодичности профилактических проверок и ремонтов.

Для прогнозирования технического состояния оборудования необходимо располагать моделью, обеспечивающей возможность такого прогноза. В данной статье излагаются основные процедуры создания модели прогнозирования остаточного ресурса оборудования.

В работах [1-4] рассмотрены особенности контроля технического состояния электромеханического оборудования. В данных работах предложены методы и средства повышения эффективности оценки технического состояния электромеханического оборудования за счет применения комплексного контроля на основе анализа информации разной физической природы (вибрационных и токовых сигналов).

В работах [4-7] предложено решение задачи повышения эффективности процесса контроля технического состояния электромеханического оборудования при помощи интеллектуального блока принятия решений, обеспечив тем самым возможность перехода к гибкой, адаптивной стратегии контроля состояния и технического обслуживания электромеханического оборудования.

В данных работах исследуются такие диагностические признаки, как коэффициенты вейвлет-преобразования вибрации (на примере виброскорости) и потребляемого тока приводным электродвигателем.

Оценка остаточного ресурса работы элементов оборудования осуществляется преимущественно на основе построения трендов диагностических сигналов и установления определенных уровней амплитуд, соответствующих условному делению технического состояния на стадии «Предупреждение» и «Авария» (рисунок 1) [8, 4].

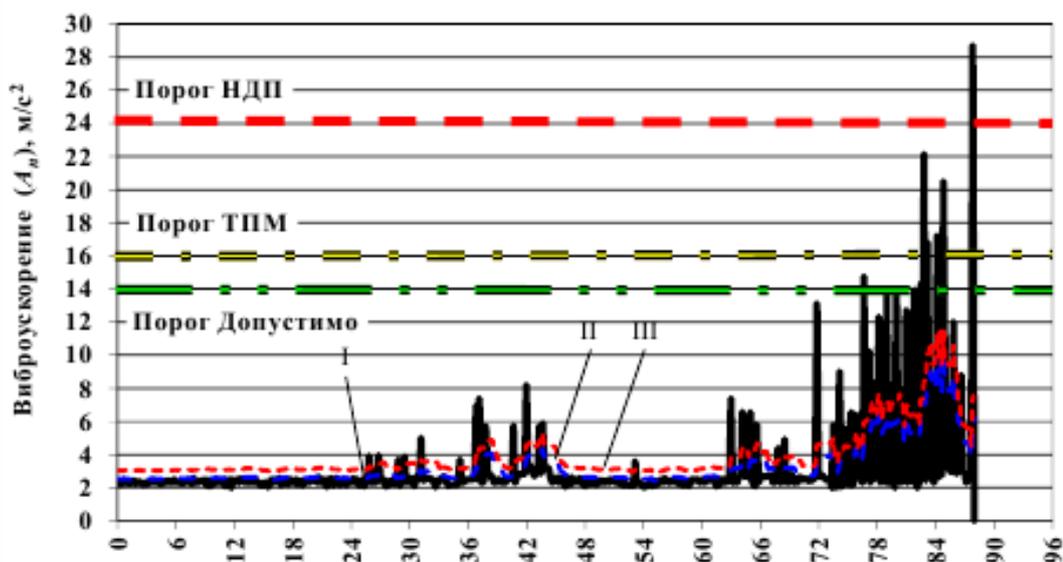


Рисунок 1 – Изменение амплитудных значений вибросигнала при диагностике подшипников насоса [8]

Значения этих уровней устанавливаются в долях амплитуд по отношению к исправному состоянию. Данный вид модели потери ресурса удовлетворительно работает на завершающих стадиях эксплуатации. В этом случае амплитуды сигналов тренда необратимо возрастают при интенсивном развитии дефекта [9]. Однако данная модель не обеспечивает адекватное отражение процесса потери ресурса вследствие изменяющихся во времени амплитуд диагностических сигналов.

Многочисленные работы, рассмотренные авторами в ходе изучения данного вопроса, показывают необходимость учета кинетических представлений о потере работоспособности изделия. Важность учета зависимости времени разрушения (деградации) материала изделия при изменяющихся внешних воздействиях: силовых, тепловых, химических и др. – подтверждается положениями кинетической концепции длительной прочности, выдвинутой академиком С.Н. Журковым и его научной школой. Плодотворное применение данной идеи описано во многих работах. Отметим, что результаты исследований по оценке времени до разрушения получены для чистых

металлов, их сплавов, полимеров и различных композитов при различных видах воздействий [10, 11].

В основе этих представлений лежит экспоненциальная зависимость времени деградации (разрушения) материала от действующих напряжений, температур, энергии активации разрушения и структуры материала.

В соответствии с характером изменения времени до разрушения изделия адекватно должен изменяться и характер диагностических сигналов. Примером, подтверждающим кинетический характер деградации изделия, является экспоненциальный рост амплитуд выбросигналов подшипников качения в конечной стадии работы (рисунок 1). На рисунке приведены зависимости роста амплитуд «выбросов» вибропараметров подшипников центробежных насосов [8]. Изменение амплитуды параметров определяется по следующей зависимости:

$$A_i(t) = A_1 \cdot e^{-n_i \cdot t_i}, \quad (1)$$

где  $A_1$  – амплитуда первого выброса (флуктуации) вибропараметра;

$A_i$  – амплитуда последующих выбросов;

$n_i$  – коэффициент экспоненциального нарастания вибрации;

$t_i$  – интервалы времени между первым и последующим выбросами.

Выявленные закономерности процесса стадийного накопления повреждений подшипников позволяют реализовать мониторинг и оперативную диагностику насосного агрегата путем выделения выбросов трендов вибрации. При этом учитываются амплитуды выбросов трендов, а также длительность интервалов между выбросами.

В работе [12] представлено описание диагностических признаков (вейвлет-коэффициентов), которые являются наиболее чувствительными к изменению технического состояния электромеханического оборудования.

Испытания по прогнозированию остаточного ресурса электромеханического оборудования были приведены в работе [4] для зубчатой передачи (червячный редуктор) в условиях отсутствия смазки (ускоренные испытания на лабораторном стенде в соответствии с ГОСТ Р 51372-99, коэффициент ускорения – 333). Использовался лабораторный стенд с асинхронным двигателем и зубчатой передачей. Мощность асинхронного электродвигателя  $P=0,18$ кВт. Частота вращения  $n=1350$ об/мин. Червячный редуктор МЧ-40М-31,5-47,6-51-5-1С-У3. Нагрузка на выходном валу червячного редуктора  $M=32$ Н·м. Результаты полученных изменений чувствительных диагностических параметров приведены на рисунке 2.



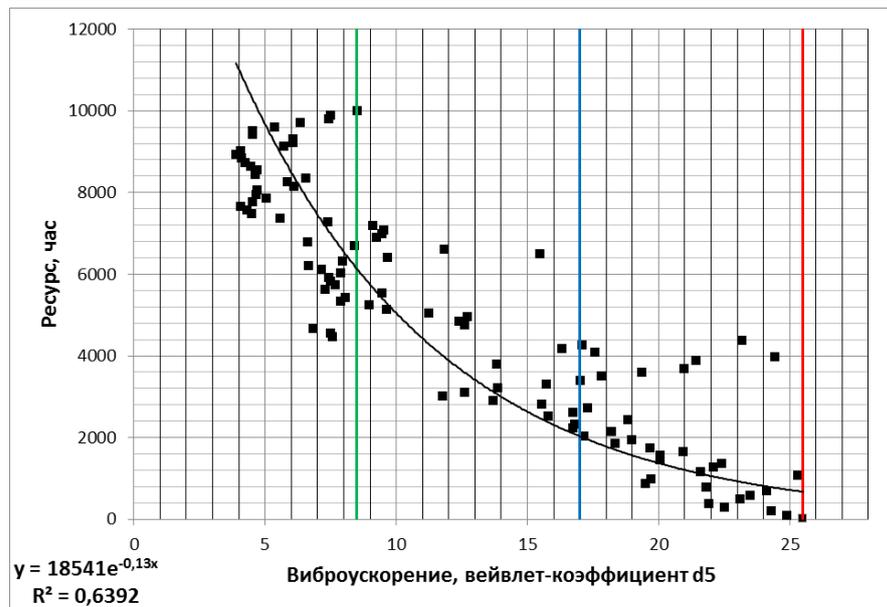
а)



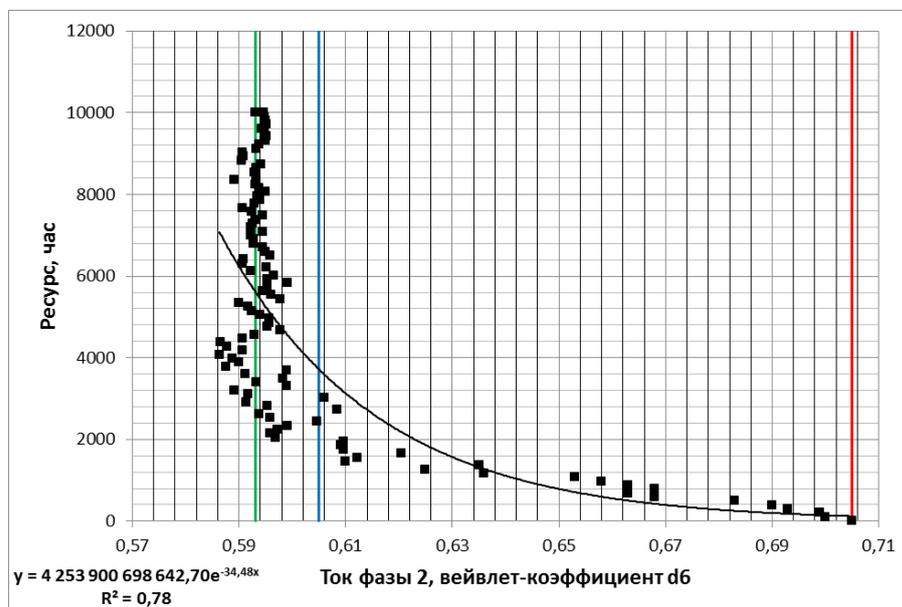
б)

Рисунок 2 – Результаты экспериментальных исследований с установленными уровнями состояния при отсутствии смазки в редукторе в течение 26 часов: а) СКЗ вейвлет-коэффициента d5 виброускорения и его тренд; б) СКЗ вейвлет-коэффициента d6 тока и его тренд

Для решения поставленной задачи целесообразно перестроить общепринятые графики зависимости амплитуды от времени работы (изображения трендов, рисунок 2) в координатах  $t_i = f(A_i)$  (рисунок 3). Значения времени переведены в ресурс в соответствии с методикой ускоренных испытаний (коэффициент ускорения – 333). Значение ресурса для червячного редуктора принято 10000 час.



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимости времени (ресурса) работы оборудования от амплитудных значений диагностических параметров с установленными уровнями состояния: а) СКЗ вейвлет-коэффициента d5 виброускорения; б) СКЗ вейвлет-коэффициента d6 тока

Такое представление связи времени работы с изменением амплитуд диагностических сигналов более соответствует основным положениям кинетической концепции длительной прочности (деградации) изделия при внешнем воздействии.

В соответствии с описанной идеей, модель потери ресурса оборудования при совокупности диагностических сигналов вибрации и тока в общем виде представляется следующим образом:

1. Начальные условия задаются исходя из следующих положений:  $A_n^g$  – начальное значение амплитуд вибросигналов (значимых диагностических параметров), устанавливаются на основе данных ГОСТов по вибродиагностике.  $A_n^m$  – начальное значение амплитуд токовых параметров, устанавливаются по данным заводских стендовых испытаний оборудования.

2. Значения амплитуд  $A_k^g$  и  $A_k^m$  при длительной эксплуатации определяются по результатам испытаний изношенного оборудования на заводских стендах. При отсутствии данных необходимо проведение ускоренных испытаний в тяжело нагруженных режимах.

3. Время работы оборудования, соответствующее данным значениям амплитуд  $A_n^g$ ,  $A_n^m$ ,  $A_k^g$  и  $A_k^m$ , устанавливается по следующим условиям:

$t_n^g$  – по наработке подшипников (в соответствии с ГОСТ);

$t_n^m$  – по гарантированной заводом-изготовителем наработке электро-двигателей (редукторов);

$t_k^g$ ,  $t_k^m$  – периоды времени, соответствующие амплитудам  $A_k^g$  и  $A_k^m$ , устанавливаемые на основании фиксированного значения отказа элемента при пробеге привода и по записи трендов диагностических параметров.

При этом следует полагать, что возникающие в нагруженном узле дефекты накапливаются, и критерием макроскопического разрушения (отказа) при изменяющихся во времени средних или локальных нагрузок, является уравнение, которое выражает принцип суперпозиции или линейного суммирования повреждений:

$$\sum_{k=1}^n \frac{\Delta t_k}{t(k)} = 1, \quad (2)$$

где  $k$  – режим нагружения;

$\Delta t_k$  – время работы элемента привода при  $k$ -ом режиме нагружения;

$t(k)$  – долговечность элементов привода при  $k$ -ом режиме нагружения

В соответствии с (2) остаточный ресурс элемента привода  $P_o$  определяется следующим путем:

$$P_o = 1 - \left( \frac{\Delta t_1}{t_1} + \frac{\Delta t_2}{t_2} + \dots + \frac{\Delta t_k}{t(k)} \right), \quad (3)$$

где  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ , ...,  $\Delta t_k$  – время работы элемента привода при  $k$ -ом режиме нагружения;

$t_1$ ,  $t_2$ , ...,  $t_k$  – долговечность элементов привода при  $k$ -ом режиме нагружения.

#### **Алгоритм определения остаточного ресурса узлов привода**

На основе представленной модели потери ресурса оборудования алгоритм определения остаточного ресурса узлов привода представляется следующим образом:

1. Получение предварительной зависимости  $t = f(d_i)$  (рисунок 3) времени работы оборудования до отказа от амплитудных значений диагностических параметров. Получение данной зависимости возможно осуществлять тремя путями:

а) ускоренные стендовые испытания при нормальных условиях и тяжело нагруженных режимах. Графическое представление полученной зависимости на основании данных по исправному оборудованию и установленных уровней состояний приведено на рисунке 3;

б) целенаправленные испытания нового оборудования и поступающего на ремонт в результате износа или отказа. В этом случае накапливаются статистические данные амплитудных значений диагностических параметров, получаемых на стенде, и соответствующего времени наработки узлов;

в) получение исходных данных путем математического моделирования некоторых фрагментов эксплуатационных условий работы оборудования.

2. В период эксплуатации оборудования непрерывно осуществляется запись диагностических параметров, и строится тренд вида, изображенного на рисунке 2.

3. Остаточный ресурс привода, работающего при различных нагрузках, определяется следующим образом. На основе периодических замеров амплитудных значений диагностических сигналов (коэффициентов вейвлет-преобразования) строится тренд их изменения. В силу того, что амплитуды сигналов за период построения тренда имеют различные уровни (в соответствии с режимом нагружения), потеря ресурса привода

происходит согласно выражению (3). Потеря доли ресурса  $\frac{\Delta t_i}{t_i}$  также соответствует режиму нагружения. Значение  $\Delta t_i$  соответствует времени работы при амплитуде диагностического сигнала  $A_i$ . Величина  $t_i$  соответствует долговечности привода при данной амплитуде и определяется из графика зависимости установленного ресурса работы привода (рисунок 3). Полная потеря ресурса (уровень «Авария») достигается при условии (2).

Для электропривода движущегося транспорта, например электропоезда, измерение вибродиагностических сигналов является достаточно сложной задачей. Поэтому построение тренда вибросигнала целесообразно на основе измерений при проведении технического осмотра в депо. В этом случае полное время работы привода при различных режимах следует производить по данным значений тренда токовых сигналов (при наличии корреляционной связи с вибрационными сигналами).

Таким образом, для исследуемых диагностических параметров (рисунок 3) получены значения остаточного ресурса  $P_o$  по вибрации и току:  $P_o^e = [0,02...0]$  (в период времени 17,7...18 часа в процессе ускоренных испытаний);  $P_o^m = [0,01...0]$  (в период

времени 16,2...16,5 часа). Результаты времени полной потери ресурса практически идентичны по диагностическим параметрам вибрации и тока.

В ходе проведенных исследований была также получена предварительная зависимость  $t = f(d_i)$  в соответствии с испытаниями нового стенда и заранее установленными уровнями состояния. Проведем оценку разработанной модели потери ресурса оборудования по данной зависимости и сравним полученные результаты.

Эта процедура проводилась путем наполнения графиков зависимости реальными данными при ускоренных испытаниях. В результате расчета  $Po$  по предварительным зависимостям были получены следующие результаты:  $Po^e = [0,5...0]$  (в период времени 17,1...17,4 часа в процессе ускоренных испытаний);  $Po^m = [0,02...0]$  (в период времени 21,3...21,6 часа).

Проведя сравнение результатов расчета по модели потери ресурса с результатами ускоренных испытаний, следует сделать вывод о возможности применения данного подхода для предварительной оценки остаточного ресурса электромеханического оборудования. Расхождение в полученных данных составило около 12%. Кроме того, предварительные зависимости можно корректировать в процессе мониторинга оборудования, добавляя новые значения диагностических параметров, что в конечном итоге будет повышать достоверность оценки остаточного ресурса работы.

Таким образом, на основе проведенного исследования показана связь диагностических параметров тока и вибрации, а также предложен алгоритм оценки остаточного ресурса электромеханического оборудования с хорошей достоверностью. Это позволит перейти от планового технического обслуживания к обслуживанию по текущему техническому состоянию с учетом прогнозов, что приведет к значительному снижению экономических издержек на предприятии.

#### Литература

1. Степанов, П.И. Комплексная токовая и вибродиагностика электромеханических систем / П.И. Степанов, С.В. Лагуткин, Ю.Р. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 160-165.
2. Степанов, П.И. Механические и электрические диагностические параметры электрических приводов / П.И. Степанов, С.В. Лагуткин, Ю.Р. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2. – С. 59-63.
3. Степанов, П.И. Алгоритм прогнозирования остаточного ресурса электромеханического оборудования на основе комплексного анализа токовых и

вибрационных сигналов / П.И. Степанов, В.В. Закураев // Омский научный вестник. – 2017. – № 3 (153). – С. 99-103.

4. Степанов, П.И. Блок принятия решений системы контроля технического состояния электромеханического оборудования на основе нейронной сети / П.И. Степанов, Р.С. Сорокин, В.В. Закураев // Труды XI региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, техники и образования в атомной отрасли» (15-17 февраля 2017 года). – Новоуральск: Изд-во НТИ НИЯУ МИФИ. – 2017. – С. 50-54

5. Stepanov, P. Diagnostics of Mechatronic Systems on the Basis of Neural Networks with High-Performance Data Collection / P. Stepanov, Yu. Nikitin // Mechatronics 2013: Recent Technological and Scientific Advances. Springer International Publishing Switzerland. – 2014. – P. 433-440.

6. Stepanov, P. Monitoring of technical condition of motors and bearings of woodworking equipment / P. Stepanov [et al.] // Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, Zvolen, Technick univerzita vo Zvolene. – 2014. – 56(2). – P. 97-104.

7. Степанов, П.И. Логико-лингвистическая модель диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса мехатронных объектов / Ю.Р. Никитин, И.В. Абрамов, П.И. Степанов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 79-87.

8. Тарасов, Е.В. Мониторинг подшипников качения в условиях их многостадийных отказов на основе анализа трендов виброускорения: автореф. дис. к.т.н.: 05.11.13 / Е.В. Тарасов; ОмГТУ. – Омск, 2018. – 24 с.

9. Барков, А.В. Идентификация состояния механизмов с узлами вращения по результатам вибрационного мониторинга и контроля температуры. Методика МВ.03.7826741252./23.12.2011 / А.В. Барков, Н.А. Баркова, Д.В. Грищенко. – Санкт-Петербург, 2011. – 80 с.

10. Регель, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М.: Наука, 1974. – 560 с.

11. Журков, С.Н. Проблема прочности твердых тел / С.Н. Журков // Вестник АН СССР. – 1957. – №11. – С. 78-82.

12. Степанов, П.И. Разработка и тестирование блока принятия решений для системы контроля технического состояния электромеханического оборудования / П.И. Степанов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 1. – С. 108-113.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В  
ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB/SIMULINK

**Коротеева Т.И., Никитин Ю.Р.**

*ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, г. Ижевск*

[tss14nya@gmail.com](mailto:tss14nya@gmail.com)

[nikitin@istu.ru](mailto:nikitin@istu.ru)

**Аннотация:** Разработана нелинейная динамическая модель асинхронного двигателя в пространстве состояний во вращающейся системе  $(d-q)$  координат, синхронизированной с потоком статора. Разработана имитационная модель асинхронного двигателя в программном комплексе MatLab/Simulink с возможностью задания угловой скорости вращения и момента сопротивления. Выполнено модельно ориентированное проектирование программы управления на примере цифровых сигнальных процессоров фирмы Texas Instruments на плате LAUNCHXL-F28379D.

**Ключевые слова:** динамическая модель, асинхронный двигатель, имитационная модель, модельно ориентированное проектирование

В настоящее время приводы мехатронных систем должны обладать высокой производительностью, точностью и надежностью. Эти требования предполагают методы обнаружения неисправностей и схемы отказоустойчивого управления.

Асинхронный двигатель (АД) широко используется в промышленности [1-6] благодаря надежности и низкой стоимости. Благодаря достижениям в микропроцессорной технике решаются вопросы управления АД, а также обнаружением дефектов и дефектоустойчивого управления. Обзор методов диагностики выполнен в работах [7-14].

**Разработка нелинейной модели асинхронного двигателя в пространстве состояний**

Для синтеза контроллеров и моделирования создается динамическая модель АД, написанная в  $(d - q)$  системе, синхронизированной с потоком статора. Нелинейная модель АД может быть выражена как.

$$\begin{cases} \dot{I}_{sd} = a_1 I_{sd} + a_2 \hat{\phi}_r + \Omega I_{sq} + b_1 \frac{(I_{sq})^2}{\hat{\phi}_r} + c V_{sd} \\ \dot{I}_{sq} = a_1 I_{sq} - a_3 \Omega \hat{\phi}_r - \Omega I_{sd} - b_1 \frac{I_{sd} I_{sq}}{\hat{\phi}_r} + c V_{sq} \\ \dot{\hat{\phi}}_r = b_2 \hat{\phi}_r + b_1 I_{sd} \\ \dot{\Omega} = \frac{1}{J} (m \hat{\phi}_r I_{sq} - T_L - f \Omega) \\ \dot{\theta}_s = \Omega + b_1 \frac{I_{sq}}{\hat{\phi}_r} \end{cases} \quad (1)$$

где  $I_{sd}$  и  $I_{sq}$ ,  $V_{sd}$  и  $V_{sq}$  являются соответственно постоянными и квадратичными компонентами вектора статора по току и напряжению;

$\hat{\phi}_r$  – это модуль потокосцепления ротора, который оценивается UIO;

$\Omega$  – это частота вращения ротора;

$N_p$  – число пар полюсов;

$f$  – коэффициент трения;

$J$  – момент инерции;

$T_L$  – момент нагрузки;

$\theta_s$  – угол поля статора.

$$\begin{aligned} a_1 &= \left( \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{M_{sr}^2}{\sigma L_s L_r T_s} \right); & a_2 &= \frac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r T_r}; & a_3 &= \frac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r}; \\ c &= \frac{1}{\sigma L_s}; & \sigma &= 1 - \frac{M_{sr}^2}{L_s L_r}; & T_s &= \frac{L_s}{R_s}; & T_r &= \frac{L_r}{R_r}; \\ b_1 &= \frac{M_{sr}}{T_r}; & b_2 &= -\frac{1}{T_r}; & m &= \frac{N_p M_{sr}}{L_r}; & \Omega &= N_p \Omega. \end{aligned} \quad (2)$$

Выражения  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c$  и  $m$  зависят от параметров АД

где  $R_s$  и  $R_r$  являются сопротивлениями статора и ротора соответственно,

$L_s$  и  $L_r$  - индуктивность намагничивания статора и ротора соответственно,

$T_s$  и  $T_r$  - константы статора и ротора, соответственно, а  $M_{sr}$  - взаимная индуктивность статора и ротора.

Электромагнитный момент, выраженный в виде зависимости от тока статора  $I_{sq}$  и модуля потокосцепления ротора  $\hat{\phi}_r$  представлен ниже:

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{N_p M_{sr}}{L_r} \hat{\phi}_r I_{sq} \quad (3)$$

Асинхронный двигатель питается от ШИМ-инвертора. Двигатель приводит в движение механическую нагрузку, характеризующуюся инерцией  $J$ , коэффициентом трения  $B$  и моментом нагрузки  $T_L$ . В контуре регулирования скорости используется пропорционально-интегральный регулятор для получения заданного тока по оси  $i_q$ , который управляет моментом двигателя. Поток двигателя управляется заданием тока по оси  $i_d$ . Сигналы тока, скорости и крутящего момента двигателя доступны на выходе блока "Асинхронный двигатель" в программном комплексе MatLab/Simulink.

### **Разработка имитационной модели асинхронного двигателя в программном комплексе MatLab/Simulink**

На рис. 1 приведена имитационная модель АД с векторным управлением с моментом нагрузки  $T_L=0$  и угловой скоростью  $\omega_m = 120$  рад/с. На рис. 2 показаны параметры асинхронного двигателя. На рис. 3 показаны графики изменения напряжения между двумя фазами, электрического тока в трех фазах, угловой скорости двигателя и вращающего момента.

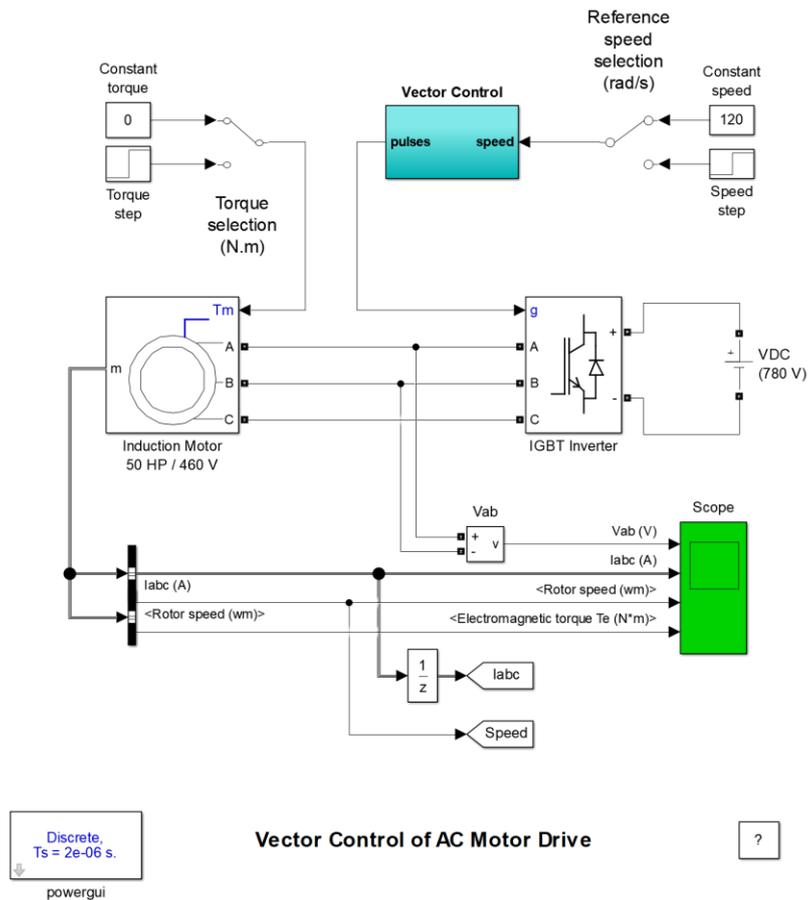


Рис.1 – Модель асинхронного двигателя с векторным управлением с моментом нагрузки  $T_L=0$  и  $\omega_m = 120$  рад/с

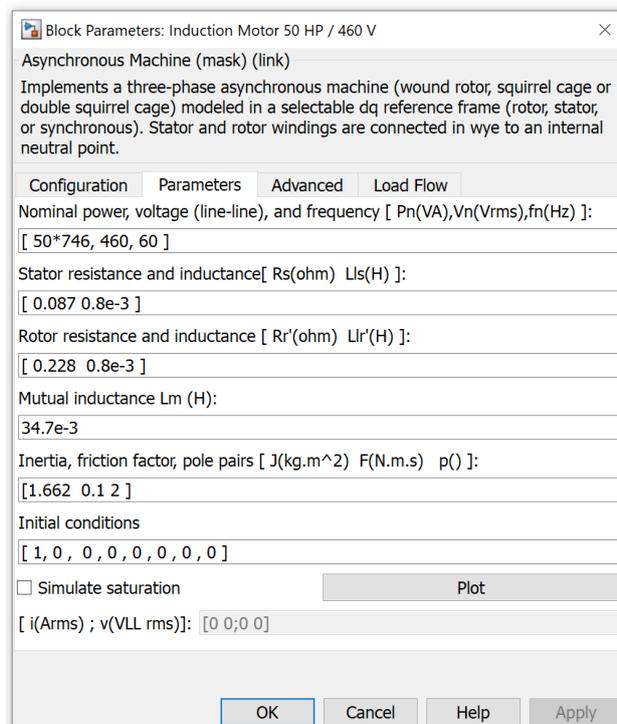


Рис. 2 – Параметры асинхронного двигателя

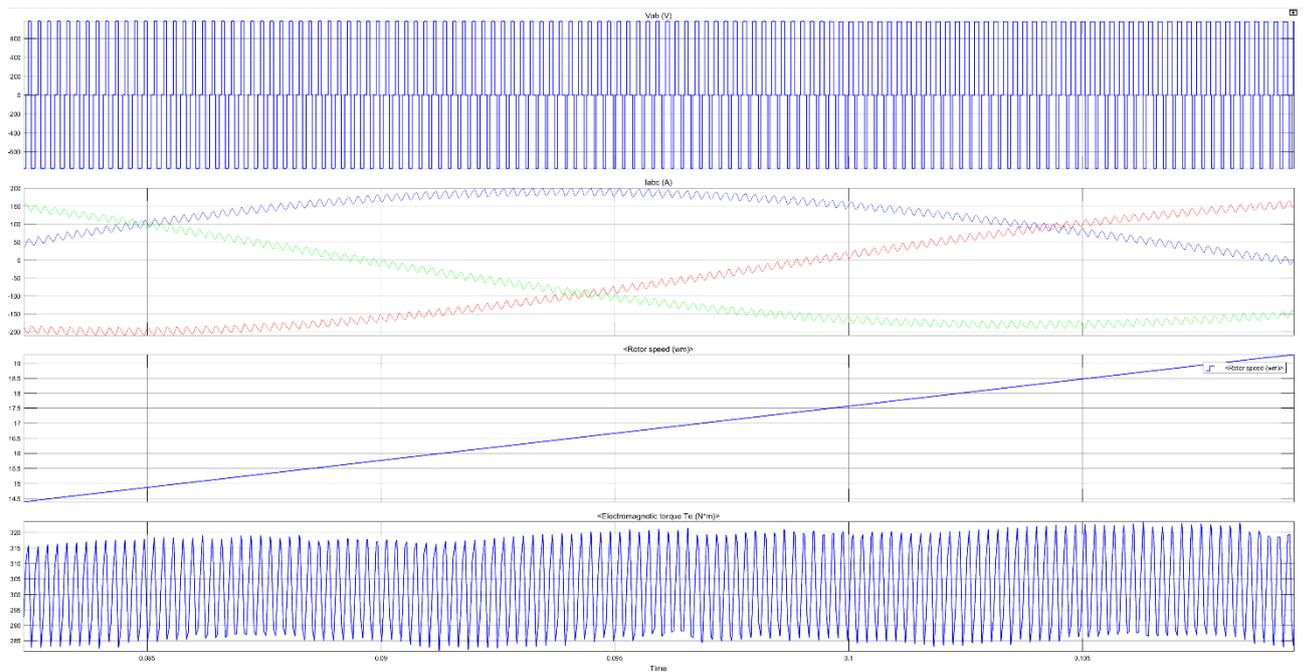


Рис. 3 – Графики изменения напряжения между двумя фазами, электрического тока в трех фазах, угловой скорости двигателя и вращающего момента

По окончании времени моделирования через 3 с система достигла своего устойчивого состояния, что показано на рис. 4.

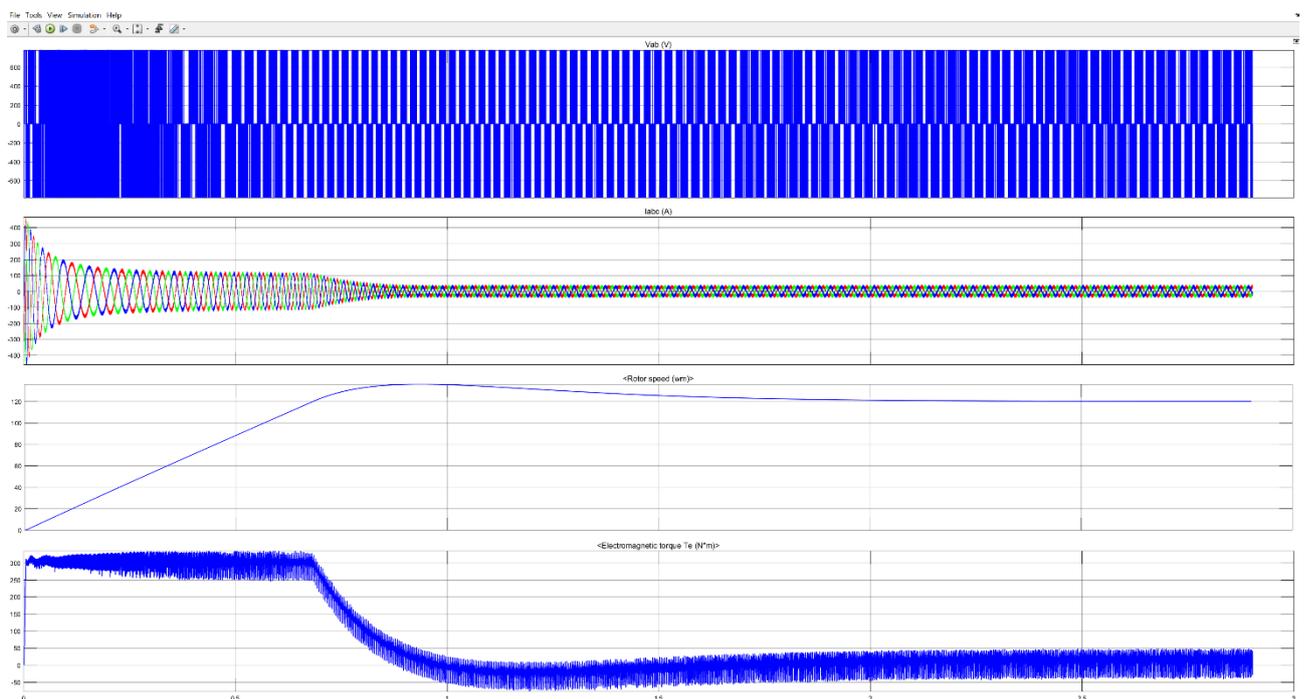


Рис. 4 – Графики изменения напряжения между двумя фазами, электрического тока в трех фазах, угловой скорости двигателя и вращающего момента

Далее показана реакция на изменение заданной скорости и момента нагрузки. Вектор состояния начальных условий "xInitial" для запуска с  $\omega_m = 120$  рад/с и  $T_L = 0$  Н·м автоматически загружается в рабочее пространство при запуске моделирования (см. Свойства модели). При использовании двух блоков Manual Switch, чтобы переключиться с

блоков "Постоянная скорость" и "Постоянный момент" на блоки Step (заданная скорость  $w_{ref}$  изменяется от 120 до 160 рад/с при  $t = 0,2$  с, а момент нагрузки  $T_L$  изменяется от 0 до 200 Н·м при  $t = 1,8$  с). Модель с изменением скорости и момента нагрузки показана на рис. 5. Реакция привода на изменения скорости и момента нагрузки показана на рис. 6. На рис. 7 показана модель управления АД с измерением сигналов на затворах IGBT транзисторов, формирующих ШИМ.

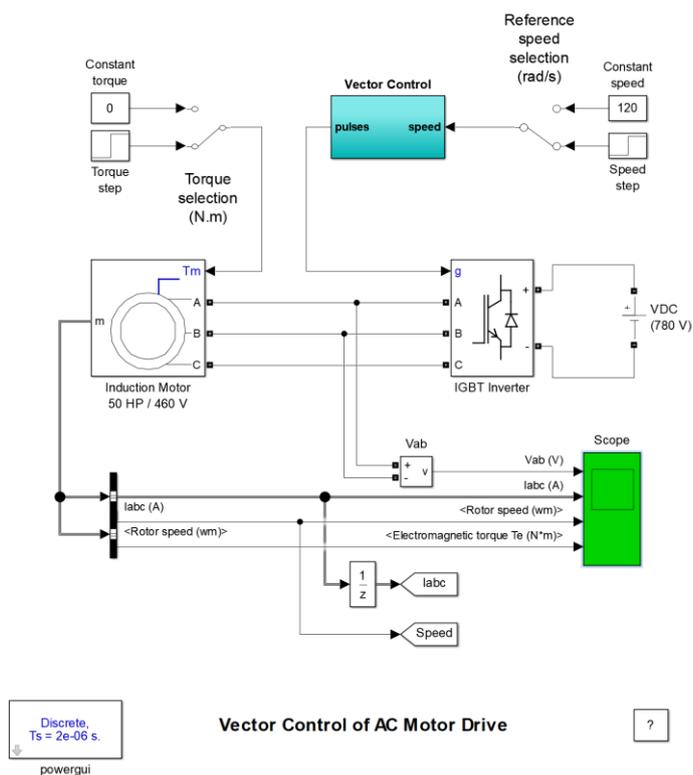


Рис. 5 – Модель асинхронного двигателя с векторным управлением с изменением момента нагрузки  $T_L$  и  $w_m$

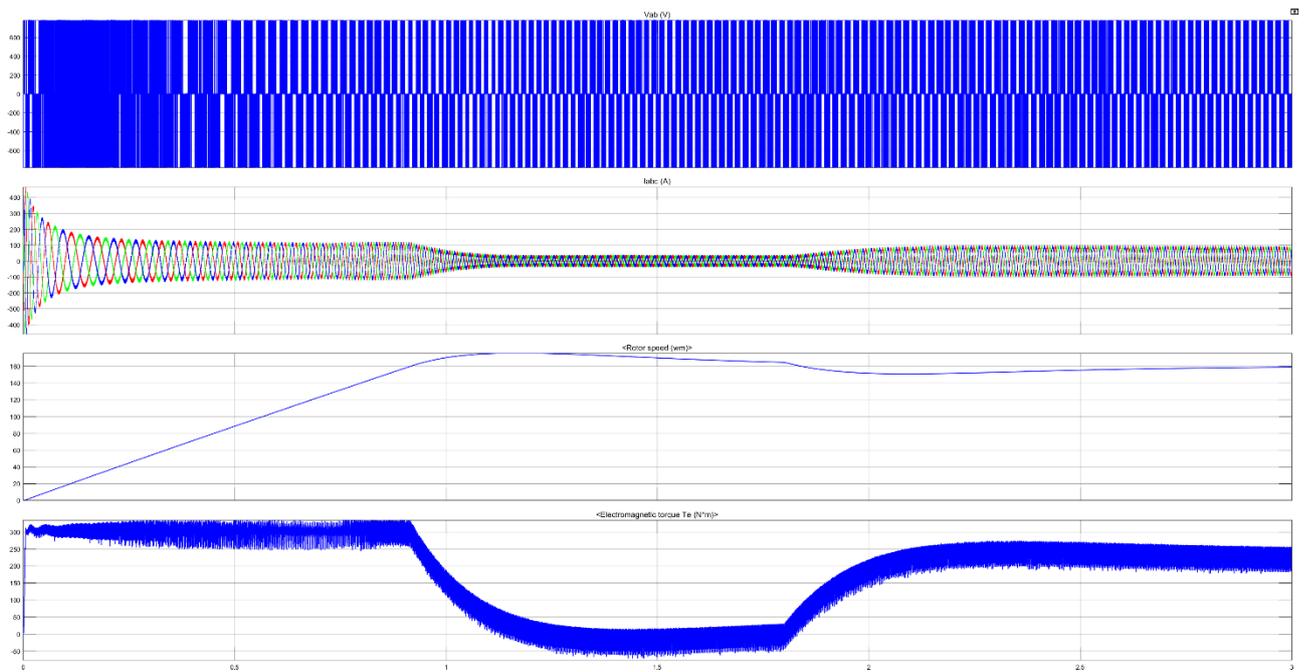


Рис. 6 – Графики изменения напряжения между двумя фазами, электрического тока в трех фазах, угловой скорости двигателя и вращающего момента с изменением скорости и нагрузки

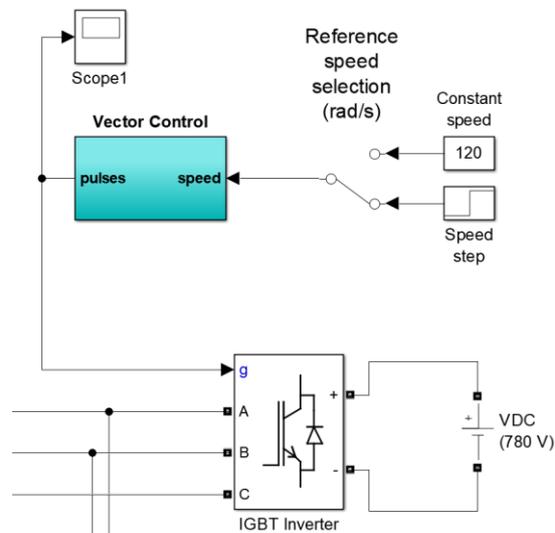


Рис. 7 – Модель управления АД с измерением сигналов на затворах IGBT транзисторов, формирующих ШИМ

Модельно ориентированное проектирование программы управления на примере цифровых сигнальных процессоров фирмы Texas Instruments

Далее на основе модельно ориентированного проектирования программы управления формируется микропроцессорный блок, реализующий векторное управление АД и электронный блок, формирующий сигналы ШИМ. Методика проектирования на примере цифровых сигнальных процессоров фирмы Texas Instruments (TI) – контроллере

LAUNCHXL-F28379D и инверторе DRV8312-69M-KIT при работе с программным продуктом Motor Control Blockset приведена в работе [15].

На вкладке Hardware модели Simulink нужно выбрать Build, Deploy & Start. Это генерирует код C, проект CCS и целевой .out файл. Система использует последовательную передачу, чтобы загрузить этот целевой .out файл из компьютера в микропроцессор и запустить загруженный алгоритм.

Требуется обновить параметры конфигурации для модели в Simulink®, которая была создана, прежде чем начинать моделирование или записать модель в микроконтроллер. В окне Simulink нужно выбрать Hardware Settings во вкладке HARDWARE, чтобы открыть диалоговое окно Configuration Parameters и выбрать целевой компьютер в поле Hardware board, которое показано на рис. 8.

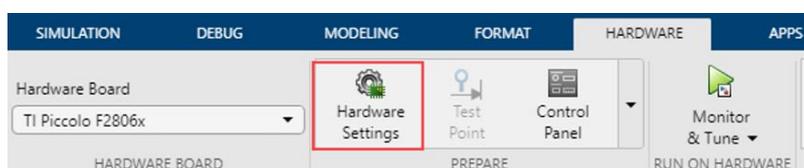


Рис. 8 – Окно Simulink

Для настройки решателя во вкладке Solver диалогового окна Configuration Parameters выбирается фиксированный шаг дискретного решателя с типом auto в поле Fixed-step size.

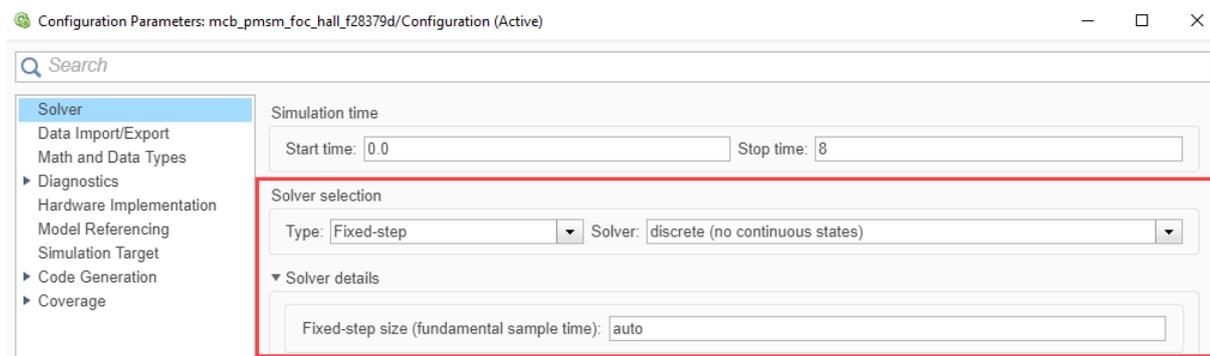


Рис. 9 – Окно Configuration Parameters

При необходимости использования датчика обратной связи по скорости вращения вала АД необходимо соединить энкодер с платой микроконтроллера и сконфигурировать параметры в диалоговом окне Configuration Parameters при помощи следующих шагов:

1. Открыть вкладку **Hardware Implementation**.
2. Выбрать группу **eQEP** под **Hardware board settings**> **Target hardware resources**.
3. Обновить следующие поля назначения контактов EQEP, приведенные в табл. 1.

## Назначение контактов EQEP

Поле назначения контактов EQEP	Канал
EQEP1A pin assignment	Квадратурный канал энкодера А
EQEP1B pin assignment	Квадратурный канал энкодера В
EQEP1I pin assignment	Квадратурный индекс энкодера

Следующий пример на рис. 10 показывает eQEP настройку для квадратурного датчика энкодера, соединенного с платой LAUNCHXL-F28379D.

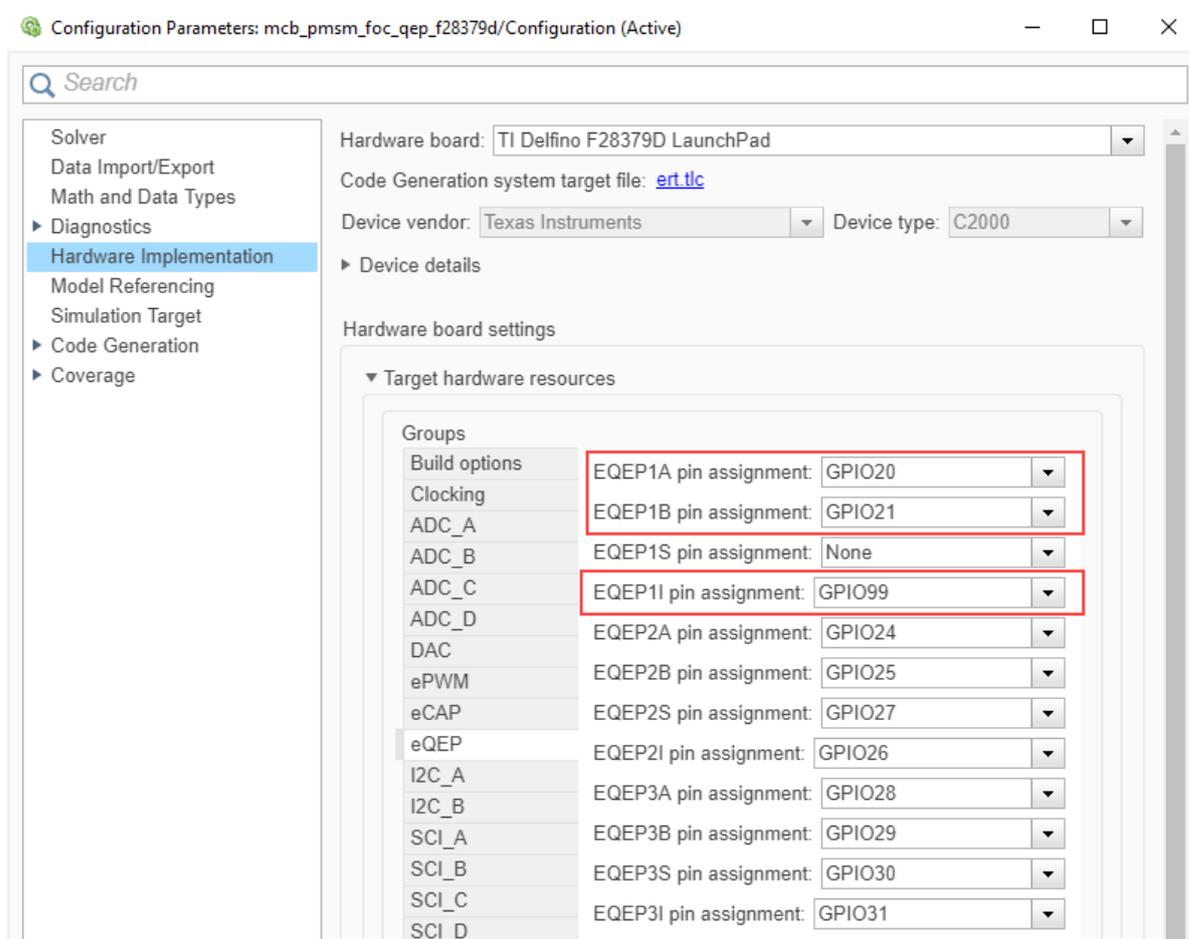


Рис. 10 – Настройка для квадратурного датчика энкодера, соединенного с платой LAUNCHXL-F28379D

Разработана нелинейная динамическая модель асинхронного двигателя в пространстве состояний во вращающейся системе (d-q) координат, синхронизированной с потоком статора. Разработана имитационная модель асинхронного двигателя в программном комплексе MatLab/Simulink с возможностью задания угловой скорости

вращения и момента сопротивления. Выполнено модельно ориентированное проектирование программы управления на примере цифровых сигнальных процессоров фирмы Texas Instruments на плате LAUNCHXL-F28379D.

#### Литература

1. Crowder R. Electric Drives and Electromechanical Systems: Applications and Control. 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, 2020. 309 p. ISBN 978-0-08-102884-1.
2. El-Sharkawi M.A. Fundamentals of Electric Drives. 2nd Edition. Cengage Learn, 2019. 364 p. ISBN 978-1-305-97096-0.
3. Gurocak H. Industrial Motion Control: Motor Selection, Drives, Controller Tuning, Applications. N.-Y.: Wiley, 2015. 320 p.
4. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. 5th Edition. Newnes, 2019. 495 p. ISBN 978-0-08-102615-1.
5. Kim Sang-Hoon. Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors. Elsevier Science, 2017. 438 p. ISBN 978-0128121382.
6. Mohan N., Raju S. Analysis and Control of Electric Drives: Simulations and Laboratory Implementation. Wiley, 2021. 546 p. ISBN 978-1-119-58455-1.
7. Степанов П.И., Лагуткин С.В., Никитин Ю.Р. Комплексная токовая и вибродиагностика электромеханических систем // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С.160–165. ISSN 1813-7911.
8. Степанов П.И., Лагуткин С.В., Никитин Ю.Р. Механические и электрические диагностические параметры электрических приводов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (24). – С. 59-63. ISSN 1813-7911.
9. Никитин Ю.Р., Трефилов С.А. Разработка системы диагностирования приводов мобильных роботов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 4-1 (342). – С. 59–68. ISSN 2073-7408. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-59-67.
10. Никитин Ю. Р., Божек П., Пиварчикова Е. Разработка диагностической модели привода в пространстве состояний. Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования: материалы VIII Междунар. конф. (Россия, Ижевск, 23–24 апреля 2019 г.): в 2 т. Т. 1. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2019. – 624 с. ISBN 978-5-7526-0832-2 (Т. 1). – ISBN 978-5-7526-0831-5. – С.287-292.
11. Trefilov, S. A., Nikitin, Yu. R. Robot drives diagnostics by identifiability criterion based

- on state matrix. Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications - 2019 : Proceedings of the V International Forum (Izhevsk, Russia, November 20-22, 2019). Izhevsk : Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2019. 123 p. 10.6 Mb. Pp.105-114. ISSN 2658-3658. DOI: 10.22213/2658-3658-2019-105-114.
12. Nikitin Yu. R. Trefilov S. A. Diagnostics of Robot Drives Based on DC Motors by Identifiability Criterion of Nonlinear Discrete Model in State Space. Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications – 2020. Proceedings of the VI International Forum (Izhevsk, Russian Federation, December 2-4, 2020). Pp.24-31. DOI: 10.22213/2658-3658-2020-24-31.
  13. Степанов П.И., Куриц И., Лагуткин С.В., Никитин Ю.Р. Разработка системы принятия решений для диагностики электроприводов. МЕХАТРОНИКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: последние достижения, вызовы и тенденции: Международная научная конференция, International Scientific Conference: MECHATRONICS, PRODUCTION TECHNOLOGIES, DIGITAL ENTERPRISE: latest success, challenges and trends. 14.04.2021. – С. 88–93. ISBN 978-80-8096-062-9.
  14. Ратников И.А. Никитин Ю. Р. Диагностика асинхронного двигателя на базе модельного подхода // II Всероссийская научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации» Сборник трудов конференции. – Белебей, СамГТУ, 2021. – 586 с. – С. 69–71. [Электронный ресурс]. URL:<https://bf.samgtu.ru/uploads/conference/2021/sbornik-..> (дата обращения 25.06.2021)
  15. Rossi M., Toscani N., Mauri M., Dezza F.C. Introduction to Microcontroller Programming for Power Electronics Control Applications: Coding with MATLAB and Simulink. CRC Press, 2022. 452 p. ISBN 978-1-032-05303-5. DOI: 10.1201/9781003196938.

# УПРАВЛЕНИЕ ПЯТИФАЗНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

**А.А.Банников, Ю.Р. Никитин**

*ИжГТУ имени М.Т.Калашиникова, г. Ижевск*

[bannikov.alex.00@gmail.com](mailto:bannikov.alex.00@gmail.com)

[nikitin@istu.ru](mailto:nikitin@istu.ru)

**Аннотация:** В данной статье показана модель пятифазного синхронного двигателя с постоянными магнитами и имитационная модель устройства управления. Построена имитационная модель синхронного двигателя в программном продукте SimInTech. При подаче ступенчатого воздействия на вход время переходного процесса составляет 0.03 с. При увеличении момента инерции нагрузки в 10 раз точность отработки скорости понижается. Максимальная ошибка отработки скорости двигателя составляет 40% в момент времени 0.2 с. Это является следствием изменения модели объекта управления. Предложено выполнять идентификацию модели и адаптировать ПИИ-регуляторы в соответствии параметрами нагрузки.

**Ключевые слова:** модель, пятифазный двигатель, синхронный двигатель с постоянными магнитами.

## **Введение**

Промышленное использование электрических приводов началось в начале прошлого века. Тогда использовалось постоянное напряжение или переменное напряжение на трех фазах. Одним из основоположников электрических приводов считается датчанин Х. Эрстед, который в 1820 году показал возможность взаимодействия магнитного поля и проводника с током. Француз А. Ампер в этом же году разработал теорию и построил математическую модель этого взаимодействия. Британский учёный М. Фарадей в 1821 году продемонстрировал принцип преобразования электрической энергии в механическую энергию через электромагнитное поле. Российские учёные Б.С. Якоби и Э.Х. Ленц в 1834 году впервые создали электрический двигатель постоянного тока. В 1837 году американец Девенпорт построил электрический двигатель с более простым коммутатором. В 1838 году Б.С. Якоби усовершенствовал конструкцию электродвигателя, который является прототипом современной электрической машины. В 1841 году англичанин Ч. Уитсон построил однофазный синхронный электродвигатель. В 1876 году российский ученый П.Н. Яблочков разработал несколько конструкций синхронных генераторов для питания изобретённых им свечей, а также изобрёл трансформатор. В 1888 году итальянец Г. Феррарис и югослав Н. Тесла открыли явление вращающегося магнитного поля, что положило начало конструированию многофазных электродвигателей. Феррарисом и Теслой были разработаны несколько моделей двухфазных двигателей переменного тока. Русским электротехником М.О. Доливо-Добровольским в 1889 году была разработана трёхфазная система переменного тока. В этом же году он запатентовал асинхронный

электродвигатель с короткозамкнутым ротором, а несколько позднее и с фазным ротором. М.О. Доливо-Добровольским также были разработаны 3-х фазный синхронный генератор и 3-х фазный трансформатор, конструкции которых остаются практически неизменными и в наше время.

Все машины переменного тока были разработаны как трехфазные устройства. Теоретически машины переменного тока могут быть построены с любым количеством фаз. Приводы с большим числом фаз обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными трехфазными приводами: уменьшение амплитуды и увеличение частоты пульсаций момента, уменьшение гармонических токов ротора, уменьшение значения электрического тока на фазу без увеличения напряжения на фазу, уменьшение гармоник тока звена постоянного тока, более высокая надежность и увеличение мощности при той же массе [1-5].

Наиболее важными характеристиками современного привода являются высокая надежность, хорошие характеристики управления, низкие требования к техническому обслуживанию и ремонту, и низкие эксплуатационные расходы. Новые силовые полупроводниковые элементы, таких как MOSFET и IGBT, увеличивает возможности управления электрическими машинами [6,7]. Исследования в области современных электрических приводах приведены в работах [8-24].

В данной работе построена модель пятифазного синхронного двигателя, управляемого транзисторным преобразователем–регулятором напряжения на основе силовых полупроводниковых переключателей. Исследовано влияние режимов работы двигателя и момента инерции нагрузки на точность скорости вращения двигателя.

### **1 Математическая модель пятифазного синхронного двигателя**

На рисунке 1 изображена векторная диаграмма, поясняющая процессы, происходящие в синхронном двигателе. Будем рассматривать их во вращающейся системе координат  $dq$ , ось  $d$  которой ориентирована по потоку ротора [8].

Ротор двигателя, являющийся постоянным магнитом, создает потокосцепление  $\psi_f$ , равное произведению потока ротора на число витков обмотки статора. Направлен вектор этого потокосцепления по оси ротора  $d$  от положительного полюса к отрицательному и отстает от вектора тока статора  $I_s$  на некоторый угол  $\varphi$ . Постоянный поток вращающегося ротора создает в обмотках статора вектор ЭДС  $E$ , направленный под прямым углом к потоку и опережающий его на 90 градусов (производная потокосцепления ротора  $\frac{d\psi_f}{dt}$ ) [8].

Амплитуда вектора ЭДС определяется выражением:

$$E = \psi_f \cdot \omega_e \quad (1)$$

где  $\omega_e$  – скорость вращения поля.

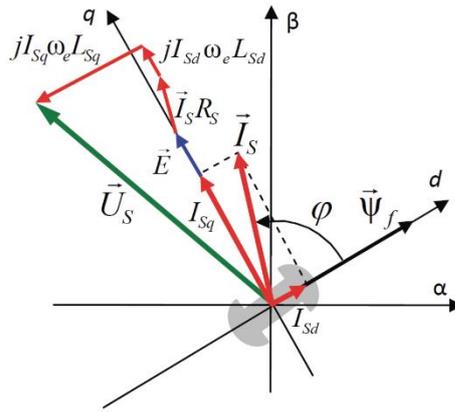


Рисунок 1 – Векторная диаграмма, поясняющая процессы, происходящие в синхронном двигателе [8]

Согласно рис. 1, можно записать следующее векторное соотношение [8]:

$$U_S = E + I_S R_S + j\omega_e (I_{Sd} L_{Sd} + I_{Sq} L_{Sq}) \quad (2)$$

где  $U_S$  – вектор напряжения статора;

$I_S$  – вектор тока статора, а  $I_{Sd}$  и  $I_{Sq}$  - его составляющие;

$L_{Sd}$  и  $L_{Sq}$  – индуктивность статора по осям  $d$  и  $q$ ;

$R_S$  – сопротивление статора.

В соответствии с рис. 1, вектор статорного напряжения уравновешивается вектором ЭДС и падением напряжения на активном ( $R_S$ ) и реактивном ( $L_{Sd}$  и  $L_{Sq}$ ) сопротивлениях статорной обмотки.

Вращающий момент двигателя возникает в результате силового взаимодействия между векторами тока и потокосцепления статора. Момент определяется векторным произведением действующих значений этих векторов. Учитывая фазность и число пар полюсов двигателя ( $Z_p$ ) можно записать следующее выражение для вычисления момента двигателя [8]:

$$M_{em} = \frac{3}{2} Z_p (I_S \times \psi_S) = \frac{3}{2} Z_p |I_S| |\psi_S| \sin \varphi \quad (3)$$

где  $\varphi$  – угол между векторами тока и потокосцепления статора.

Формула для расчета электромагнитного момента двигателя в системе  $dq$  координат будет выглядеть так [8]:

$$M_{em} = \frac{3}{2} Z_p (I_{Sq} \psi_f + I_{Sd} I_{Sq} (L_{Sd} - L_{Sq})) \quad (4)$$

Модель электромагнитных процессов двигателя показана на рисунке 2.

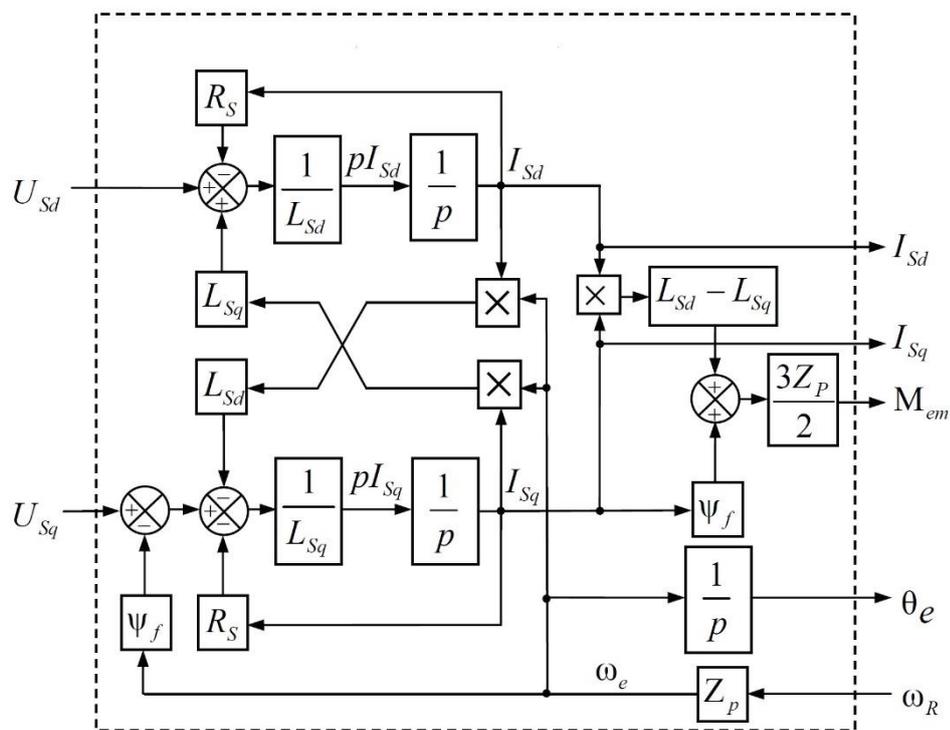


Рисунок 2 – Модель электромагнитных процессов двигателя [8]

Модель дополнена вычислителем угла поля ротора ( $\theta_e$ ), который получается интегрированием скорости поля ( $\omega_e$ ). Входными сигналами модели являются напряжения и скорость, а выходными - токи, электромагнитный момент и угол поля.

Двигатель получает пятифазное напряжение, сформированное с помощью широтно-импульсной модуляции, имеет момент сопротивления нагрузки с некоторым моментом инерции, а на выходе выдает электромагнитный вращающий момент и скорость. Математическая модель пятифазного двигателя используется для моделирования пятифазной синхронной машины.

## 2 Система привода синхронного двигателя на основе пятифазного регулятора напряжения с использованием IGBT

Имитационная модель двигателя и устройства управления разработана на базе ПИ регулятора по угловой скорости с использованием датчиков положения, датчиков электрического тока и IGBT транзисторов в качестве силовых переключателей. Имитационная модель устройства управления в программном продукте SimInTech показана на рисунке 2. Скорость приведена в относительных единицах относительно номинальной скорости двигателя. Скорость, равная 1, соответствует номинальной скорости двигателя. Устройство управления имеет два контура обратной связи. Внешний контура обратной связи реализован как ПИ-регулятор скорости двигателя. Внутренний быстродействующий

контур обратной связи реализован как два ПИ-регулятора проекций электрического тока двигателя на оси  $d$  и  $q$ .

Параметры двигателя приведены в таблице 1. Параметры ПИ-регулятора скорости двигателя приведены в таблице 2. Параметры ПИ-регулятора проекций электрического тока двигателя на оси  $d$  и  $q$  приведены в таблице 3.

Таблица 1

Параметры двигателя

Название параметра	Обозначение параметра	Значение параметра
Сопrotивление фазы статора, Ом	$R_S$	16
Индуктивность фазы статора, Гн	$L_S$	0,112
Потокосцепление ротора, Вб	$F$	0,4

Таблица 2

Параметры ПИ-регулятора скорости двигателя

Название параметра	Обозначение параметра	Значение параметра
Коэффициент пропорциональный	$k_p$	4
Коэффициент интегральный	$k_i$	150

Таблица 3

Параметры ПИ-регулятора проекций электрического тока двигателя на оси  $d$  и  $q$

Название параметра	Обозначение параметра	Значение параметра
Коэффициент пропорциональный	$k_p$	4
Коэффициент интегральный	$k_i$	400

На рисунке 3 показаны заданная угловая скорость и угловая скорость двигателя при подаче ступенчатого воздействия на вход с моментом инерции нагрузки  $0.7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . На рисунке 4 показаны заданная угловая скорость и угловая скорость двигателя при подаче на вход с моментом инерции нагрузки  $0.7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . На рисунке 5 показаны заданная угловая скорость и угловая скорость двигателя при подаче на вход с моментом инерции нагрузки  $7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

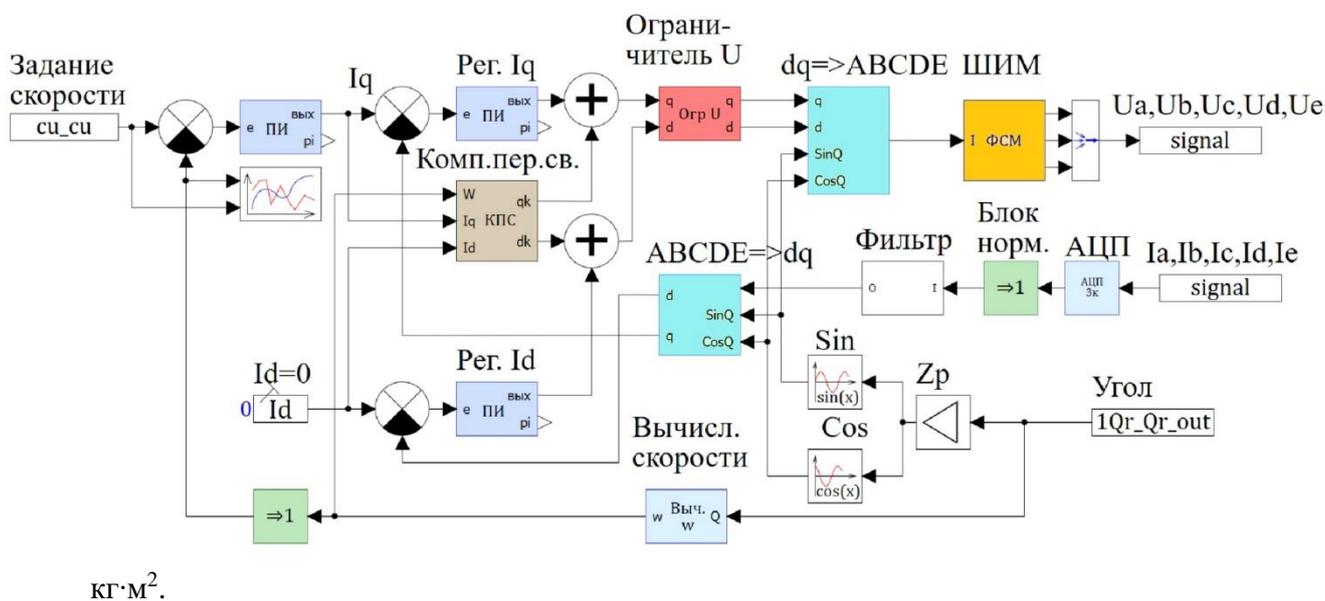


Рисунок 3 – Имитационная модель устройства управления

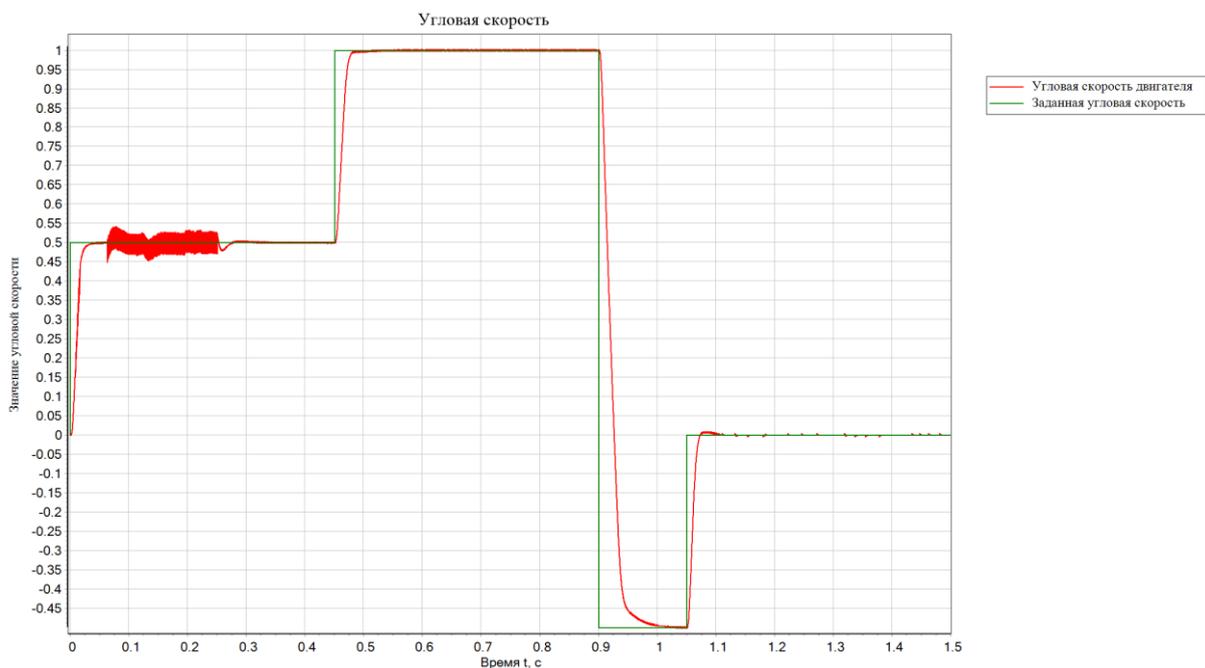


Рисунок 4 – Заданная угловая скорость и угловая скорость двигателя при моменте инерции нагрузки  $0.7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

При подаче ступенчатого воздействия на вход время переходного процесса составляет  $0.03 \text{ с}$ . Если разгон двигателя выполнять плавно, то точность отработки траектории повышается, как показано на рисунке 5.

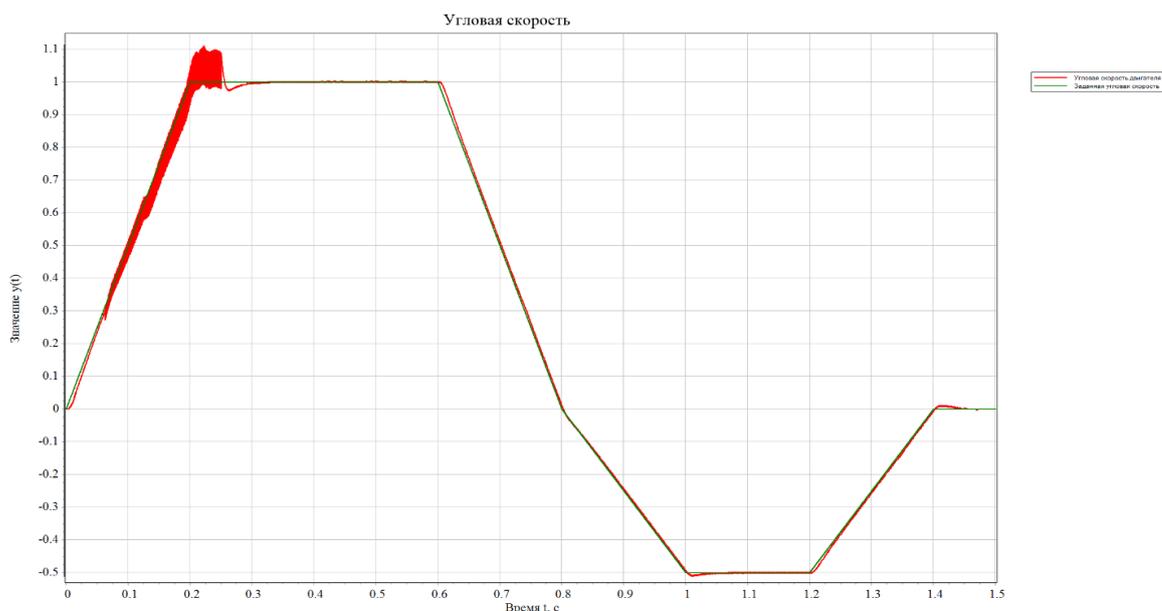


Рисунок 5 – Заданная угловая скорость и угловая скорость двигателя при моменте инерции нагрузки  $0.7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

При увеличении момента инерции нагрузки в 10 раз точность отработки скорости понижается. Максимальная ошибка отработки скорости двигателя составляет 40% в момент времени 0.2 с., как показано на рисунке 6. Это является следствием изменения модели объекта управления с нагрузкой. Поэтому необходимо выполнять идентификацию модели и адаптировать ПИ-регуляторы. При превышении порогового значения момента инерции нагрузки, соответствующего параметрам вращающего момента двигателя должен выдаваться сигнал аварии.

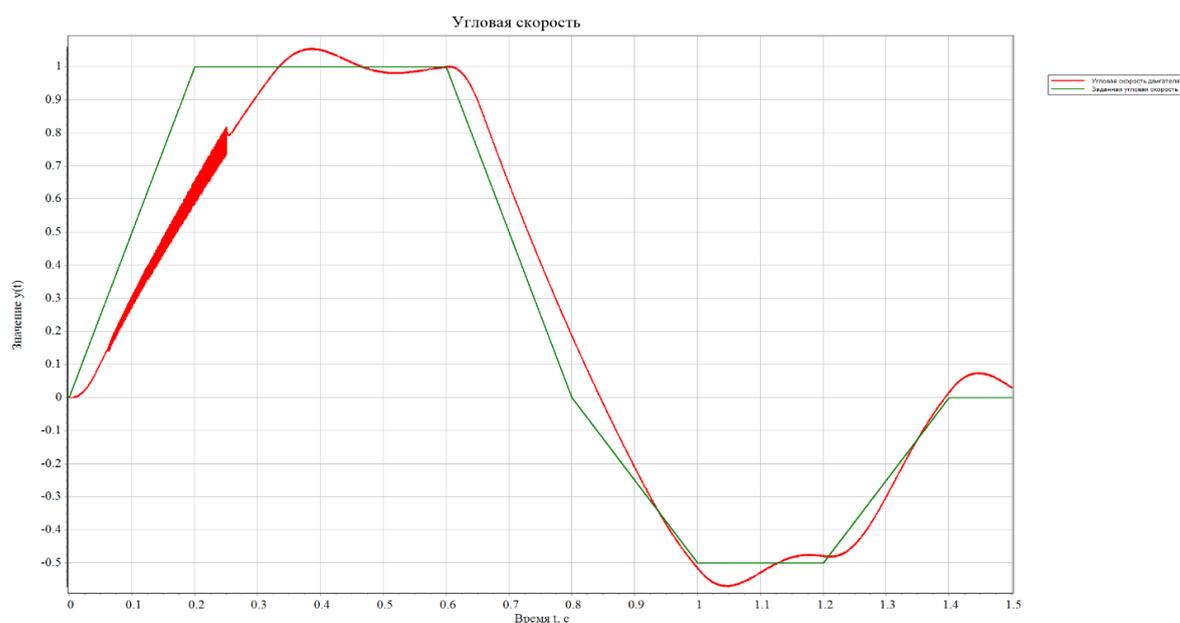


Рисунок 6 – Заданная угловая скорость и угловая скорость двигателя при моменте инерции нагрузки  $7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

## Заключение

В данной работе разработана имитационная модель пятифазных синхронных двигателей на основе IGBT и проведена оценка результатов. При подаче ступенчатого воздействия на вход время переходного процесса составляет 0.03 с. При увеличении момента инерции нагрузки в 10 раз точность отработки скорости понижается. Максимальная ошибка отработки скорости двигателя составляет 40% в момент времени 0.2 с. Это является следствием изменения модели объекта управления. Предложено выполнять идентификацию модели и адаптировать ПИ-регуляторы в соответствии параметрами нагрузки.

## Литература

1. Williamson S., Smith S. Pulsating torques and losses in multiphase induction machines. IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 39, No. 4, 2003, pp. 986-993.
2. Green S., Atkinson D.J., Jack A.G., Mecrow B.C., King A. Sensorless operation of a fault tolerant PM drive. IEEE Proc. Electr. Power Appl., Vol. 150, No. 2, 2003, pp. 117-125.
3. Wang J.B., Atallah K., Howe D. Optimal torque control of fault-tolerant permanent magnet brushless machines. IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 39, No. 5, 2003, pp. 2962-2964.
4. Gataric S. A polyphase Cartesian vector approach to control of polyphase AC machines. Proc. IEEE Ind. Appl. Soc. Annual Meeting IAS, Rome, Italy, 2000, Paper no. 38-02.
5. Kashif A.R., Saqib M.A., Soft starting of an induction motor using adaptive neuro fuzzy interface system. Proc. Int. conf. on Electrical Engg., ICEE 07, pp. 1-5, 11-12 April 2007.
6. Saracoglu M. Kale, Ozdemir E. A novel technique for optimal efficiency control of induction motor fed by PWM IGBT ac chopper. IEEE Conf. Proc., PESC 04, Aachen, Germany, vol. 5, June 2004, pp.3353 – 3358.
7. Veszpremi K., Hunyar M. New application fields of the PWM IGBT ac chopper. IEEE Conf. Power Electronics and Variable Speed Drives, London, UK, Sept. 2000 pp. 46–51.
8. Калачев Ю.Н. SimInTech: Моделирование в электроприводе. Москва, 91 с.
9. Трефилов С.А., Никитин Ю.Р., Лекомцев П.В. Модель бесколлекторного двигателя постоянного тока в пространстве состояний при векторном управлении // Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. 2020. № 3 (11). С. 28-38. ISSN 2658-4727
10. Божек П., Никитин Ю.Р., Красноперов Р.А. Параметрический синтез ПИД-закона управления на основе непрерывной модели привода электротележки на базе асинхронного двигателя. МЕХАТРОНИКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ

- ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: последние достижения, вызовы и тенденции: Международная научная конференция, International Scientific Conference: MECHATRONICS, PRODUCTION TECHNOLOGIES, DIGITAL ENTERPRISE: latest success, challenges and trends. 14.04.2021. – С. 12–22. ISBN 978-80-8096-062-9.
11. Никитин Ю.Р., Красноперов Р.А., Божек П. Оценка адекватности оптимизированной непрерывной модели привода электротележки на базе асинхронного двигателя. МЕХАТРОНИКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: последние достижения, вызовы и тенденции: Международная научная конференция, International Scientific Conference: MECHATRONICS, PRODUCTION TECHNOLOGIES, DIGITAL ENTERPRISE: latest success, challenges and trends. 14.04.2021. – С. 23–30. ISBN 978-80-8096-062-9.
  12. Степанов П.И., Куриц И., Лагуткин С.В., Никитин Ю.Р. Разработка системы принятия решений для диагностики электроприводов. МЕХАТРОНИКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: последние достижения, вызовы и тенденции: Международная научная конференция, International Scientific Conference: MECHATRONICS, PRODUCTION TECHNOLOGIES, DIGITAL ENTERPRISE: latest success, challenges and trends. 14.04.2021. – С. 88–93. ISBN 978-80-8096-062-9.
  13. Красноперов Р. А., Никитин Ю. Р. Разработка системы оптимального управления скоростью асинхронного двигателя в приводе электротележки // II Всероссийская научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации»: Сборник трудов конференции. – Белебей, СамГТУ, 2021. – 586 с. – С. 39–42. [Электронный ресурс]. URL:<https://bf.samgtu.ru/uploads/conference/2021/sbornik-..> (дата обращения 25.12.2021)
  14. Ратников И.А. Никитин Ю. Р. Диагностика асинхронного двигателя на базе модельного подхода // II Всероссийская научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации» Сборник трудов конференции. – Белебей, СамГТУ, 2021. – 586 с. – С. 69–71. [Электронный ресурс]. URL:<https://bf.samgtu.ru/uploads/conference/2021/sbornik-..> (дата обращения 25.12.2021)
  15. Никитин Ю.Р., Трефилов С.А., Никитин Е.В. Идентифицируемость модели привода мехатронного устройства на базе двигателя постоянного тока по измерительной матрице // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019.

- № 4-1 (336). – С. 114–122. ISSN 2073-7408.
16. Трефилов С. А., Никитин Ю. Р. Диагностика приводов роботов на базе двигателя постоянного тока по критерию идентифицируемости нелинейной дискретной модели в пространстве состояний // Вестник УГАТУ. 2020. Т. 24, № 1 (87). С. 103–110. ISSN 1992-6502.
  17. Никитин Ю.Р., Трефилов С.А. Разработка системы диагностирования приводов мобильных роботов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 4-1 (342). – С. 59–68. ISSN 2073-7408. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-1-59-67.
  18. Лекомцев П.В., Никитин Ю.Р., Трефилов С.А. Моделирование гибридного шагового двигателя в пространстве состояний при переменном моменте сопротивления нагрузки // Интеллектуальные системы в производстве, 2020, Том 18, № 3. – С.58–63. ISSN 1813-7911. DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-58-63.
  19. Штоллманн В., Никитин Ю.Р., Шошин А.О. Устройства RELAZ // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020, том 23, № 3. С. 93–104. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-93-104.
  20. Никитин Ю.Р., Лекомцев П.В., Трефилов С.А. Влияние параметров шагового двигателя на критерий идентифицируемости для нелинейной дискретной модели в пространстве состояний // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020, том 23, № 4. С. 52–59. ISSN (online) 2413-1172. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-52-59.
  21. Лекомцев П. В., Никитин Ю. Р., Трефилов С. А. Идентификация двигателя постоянного тока на основе квазиоптимального нелинейного алгоритма управления // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 2. С. 68–76. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-2-68-76.
  22. Герман-Галкин С.Г., Лебедев В.В., Бормотов А.В. Модульная синхронная индукторная машина в системе электропривода // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015; 16(11): 731-737. DOI: 10.17587/mau.16.731-737.
  23. Краснодубец Л.А., Олейников А.М. ПИД регулятор как платформа для реализации адаптивных законов управления электроприводом // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016;17(12):809-816. DOI: 10.17587/mau.17.809-816.
  24. Герман-Галкин С.Г., Гаврилов Р.С., Мустафаев Ю.Н. Структурные и имитационные модели в модельно-ориентированном проектировании вентильного электропривода для опорно-поворотного устройства // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017; 18(1): 56-63. DOI: 10.17587/mau.18.56-63/.

## УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

**Шаповалов К.Ю., Дильдин П.Е., Николаев Н.А., Закураев В.В.**

*АО КЗТС, г.Кировград, Свердловская обл.*

[shapovalov@kzts.ru](mailto:shapovalov@kzts.ru)

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[vzakurayev@mail.ru](mailto:vzakurayev@mail.ru)

**Аннотация:** Рассмотрена возможность ускоренных испытаний режущих инструментов с применением метода планирования эксперимента. Приводятся результаты, полученные при испытаниях твердосплавного инструмента производства АО Кировградский завод твердых сплавов.

**Ключевые слова:** испытания, режущий инструмент, период стойкости инструмента, износ режущей кромки.

Методы оценки режущей способности инструмента, в том числе и методы ускоренных испытаний, базируются на комплексном понятии – обрабатываемость материалов [1]. Суть данного процесса заключается в том, что результаты испытаний режущих инструментов рассматриваются относительно обрабатываемого материала при обеспечении совместного контакта. В контакте инструмент-заготовка формируются специфические условия напряженно-деформационного состояния обрабатываемого материала (при стружкообразовании) и режущего лезвия. Создание какими-либо искусственными способами или устройствами подобной схемы нарушения лезвия успехов не имели. Адекватность условий физической модели нагружения не обеспечивается [2], [3].

С учетом большого числа марок материалов, различия их свойств, операций, стадий обработки (черновая, чистовая) предполагающих варьирование режимных параметров, а также определения геометрических параметров лезвий и обеспечение стружколомающей способности лезвий, классические способы испытаний, в том числе и ускоренные, обладают значительной трудоемкостью [4].

Кроме того, возникающее несоответствие условий испытаний инструмента у производителя и последующих условий применения у потребителей, вследствие разнообразия характеристик производственной среды является причиной различия в оценке качества инструмента. В большинстве случаев, эта оценка не в пользу производителя. Причиной расхождения результатов оценки является существенный «разброс» действительных состояний технологической системы, уровней квалификации персонала, рассеянием физико-механических свойств исходных заготовок.

В связи с этим, просматривается необходимость для производителей инструмента обеспечивать не только продажу и поставки инструментов, но и оказание инжиниринговых услуг в виде рекомендаций по эффективности применения инструментов в технологических процессах механической обработки. Одним из условий обеспечения данного положения является создание метода ускоренных испытаний с учётом выявления области режимных параметров, учитывающих возможные изменения характеристик состояния технологической системы по данным потребителей. В случае отсутствия таких данных их необходимо смоделировать при испытаниях.

Таким образом, в создаваемом методе ускоренных испытаний должны отражаться возможные диапазоны изменения не только скорости резания, но и варьирования величины подачи, глубины резания, а также уровень состояния технологической системы.

Многофакторность механической обработки была и остается одним из главных особенностей процессов формообразования, основой которого является направленное разрушение. Вследствие этого разрабатываемый метод ускоренных испытаний инструмента должен создаваться на принципах многофакторности.

В арсенале современных средств описания многофакторных процессов наиболее успешным, в последнее время, является подход, основанный на сочетании математической модели процесса с наполнением (верификацией) ее значениями физических параметров факторов, получаемых непосредственно в процессе лабораторных, либо производственных испытаний. Подобные математические модели принято трактовать, как цифровой двойник (digital twin) или цифровая копия физического объекта или процесса.

Для изучения многофакторных систем наиболее целесообразным является применение статистических методов планирования эксперимента. Под планированием эксперимента понимают процесс определения числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Эти методы позволяют во многих случаях при минимальном числе опытов получать модели многофакторных процессов [5].

Характерными особенностями процесса планирования эксперимента являются стремление минимизировать число опытов; одновременное варьирование всех исследуемых факторов по специальным правилам-алгоритмам; применение математического аппарата, формализующего многие действия исследователя; выбор стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии опытов.

На данный момент развития исследований процессов механической обработки достоверно известно о возможности учета в методе ускоренной оценки работоспособности режущего инструмента следующих основных значимых факторов:

- а) силовые факторы процесса по данным измерения мощности резания;
- б) температурные факторы (в основном определяются путем расчета);
- в) влияние динамических процессов оценивается по измерению параметров колебаний в технологической системе;
- г) фактор износостойкости следует определять экспериментально на основе метода планирования эксперимента.

В соответствии с использованием перечисленных факторов вырисовывается основа метода ускоренной оценки эксплуатационных свойств твердосплавного режущего инструмента.

Таким образом, для создания ускоренного метода оценки работоспособности твердосплавного режущего инструмента последовательно осуществляется отработка всех перечисленных факторов в производственных условиях АО КЗТС.

Получение исходных данных для определения периодов стойкости инструмента

1) Для математического описания процессов изнашивания и разрушения инструмента при резании наиболее широко применяется расширенное уравнение Тейлора [1]. Искомыми величинами в нем являются средние значения износа  $h_{cp}$  инструмента и соответствующие этим значениям износа периоды времени работы инструмента –  $T_c$ :

$$T = \frac{C}{v^{a_1} * S^{a_2} * t^{a_3}}, \quad (1)$$

где  $C$  – постоянный коэффициент, характеризующий условия опыта;

$V$  – скорость резания;

$S$  – рабочая подача;

$t$  – глубина резания;

$a_1, a_2, a_3$  – показатели степени при режимных параметрах.

Эти традиционные зависимости получены, исходя из предположения, что основным видом отказа (разрушения) режущей части является изнашивание. Поэтому период стойкости инструмента устанавливается только до вполне определенного износа, величина которого в испытаниях считается предельной.

Из теории резания [1] известно, что из режимных параметров наибольшее влияние на период стойкости инструмента оказывают скорость резания и величина подачи. Глубина резания имеет меньшее влияние на период стойкости, и поэтому часто многофакторные эксперименты проводят при двух изменяющихся факторах – скорости и рабочей подачи. Влияние глубины –  $t$  учитывается в постоянной  $C$ .

2) По этой причине для определения стойкостной зависимости вида (1), можно использовать полный факторный эксперимент вида  $2^k$ , где  $k = 2$  – число факторов – скорость резания и подача. Степенная зависимость

$$T = \frac{C}{V^{a_1} \cdot S^{a_2}} \quad (2)$$

может быть упрощена путем логарифмирования. В результате получено уравнение в виде полинома первой степени:

$$\ln T = \ln C - a_1 \cdot \ln V - a_2 \cdot \ln S \quad (3)$$

Далее осуществляется процедура представления выражения (3) в кодированном виде [5]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 - b_2 \cdot X_2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (4)$$

3) Следующим шагом определения стойкостной зависимости является получение экспериментальных данных вида  $h_3 = f(\tau)$ ,

Таким образом, в результате испытаний необходимо выполнить 4 опыта. Каждый фактор (скорость и подача) задаются на двух уровнях. При этом необходимо произвести в каждом опыте по 4-5 измерений величины износа для построения зависимости  $h_3 = f(\tau)$ . Величина предельного (допустимого) износа ( $h_g$ ) задается, исходя из рекомендаций (нормативов) для твердосплавного инструмента. Определение времени  $\tau_i$  осуществляется путем экстраполяции кривой износа по 4-5 точкам до пересечения с уровнем величины  $h_g$ .

4) Для статистически значимой оценки величины периода стойкости каждой режущей кромки необходимо каждый опыт повторить не менее 3-5 раз. Возможен и другой вариант определения достоверности получаемых результатов определения стойкости.

На основе многочисленных данных испытаний режущих инструментов из твердых сплавов оценивался коэффициент вариации периода стойкости. Коэффициент вариации стойкости определяется отношением среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ) опыта к среднему значению периода стойкости:

$$Var = \sigma / T_{CP} \quad (5)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичного отклонения результатов опыта;

$T_{CP}$  – среднее значение периода стойкости.

Для инструмента из твердых сплавов удовлетворительным считается  $Var = 0,2 - 0,3$ . Для нахождения рассеяния значений периода стойкости принимаем  $Var = 0,2$ . Тогда значения каждого периода стойкости по данным испытания может быть принято как

$$T_i = T_{CP} \pm \sigma \quad (6)$$

При испытаниях новых марок твердых сплавов целесообразно выполнить предварительные опыты (в пределах 10 – 15) с целью установления опытной величины коэффициента вариации стойкости. В качестве основного вида отказа принимается момент

достижения предельного износа по задней поверхности лезвия. Кроме того, процесс изнашивания – это процесс, развивающийся во времени.

В основе построения математической модели периода стойкости инструмента лежит процесс изнашивания лезвия. По результатам экспериментальных испытаний строятся кинетические «кривые износа», представляющие собой реализацию случайной последовательности значений износа, рисунок 1. В работе [6] отмечается, свойства случайного процесса зависят от степени однородности начального качества и характера приращения износа. Об однородности начального качества косвенно можно судить по результатам статистической проверки однородности опытных данных.

Для проверки этого предположения выполнен анализ свойств экспериментальных значений приращения износа. В данном случае, приращение износа рассматривается как случайная последовательность  $\delta_i$ , тогда  $\delta_{ij}$  будет  $j$ -ый член этой последовательности, принадлежащей  $i$ -ой реализации

$$\delta_{ij} = h_{ij} - h_{i,j-1} \quad (7)$$

$$\tau = \tau_j - \tau_{j-i} \quad (8)$$

где  $i$  – порядковый номер реализации износа (от 1 до 5 в нашем опыте);

$j$  – порядковый номер (время) реализации на графиках износа (рисунок 1);

$h_{ij}$  – износ  $i$ -ой режущей кромки за время  $j$ , т.е. за время  $(\tau_0 + j\tau)$ .

Гистограмма опытных распределений приращений ( $\delta_i$ ) износа приведена на рисунке 2. Учитывая вид гистограммы, в качестве подходящего теоретического закона, описывающего распределение приращений износа, целесообразно принять гамма-распределение. Это согласуется с результатами работы [6].

Проверка гипотезы о стационарности и некоррелированности приращений износа выполнялась по методике, изложенной в работе [7]. Для этого построена нормированная корреляционная функция случайной последовательности приращений износа –  $\rho(\delta)$ , рисунок 3.

Учитывая полученные результаты следует полагать, что приращения износа при  $\tau \geq 10$  минут являются стационарной последовательностью независимых величин, а процесс изнашивания лезвий СМП, как процесс со стационарными приращениями износа.

Аналогичные результаты расчетов выполнены для остальных трех опытов полного факторного эксперимента.

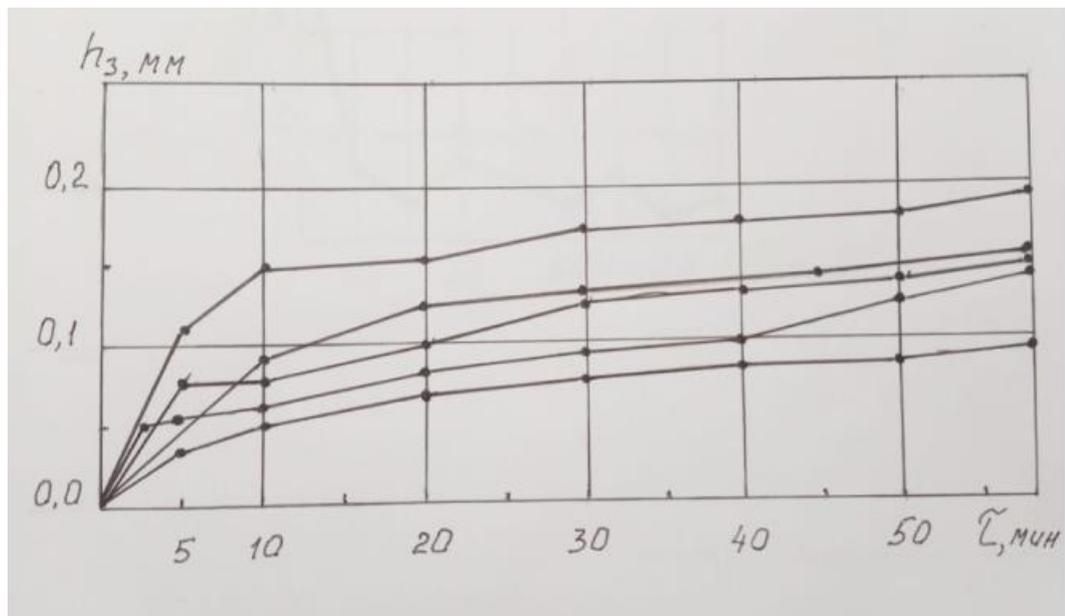


Рисунок 1 – Графики износа режущих лезвий СМП по результатам опытов

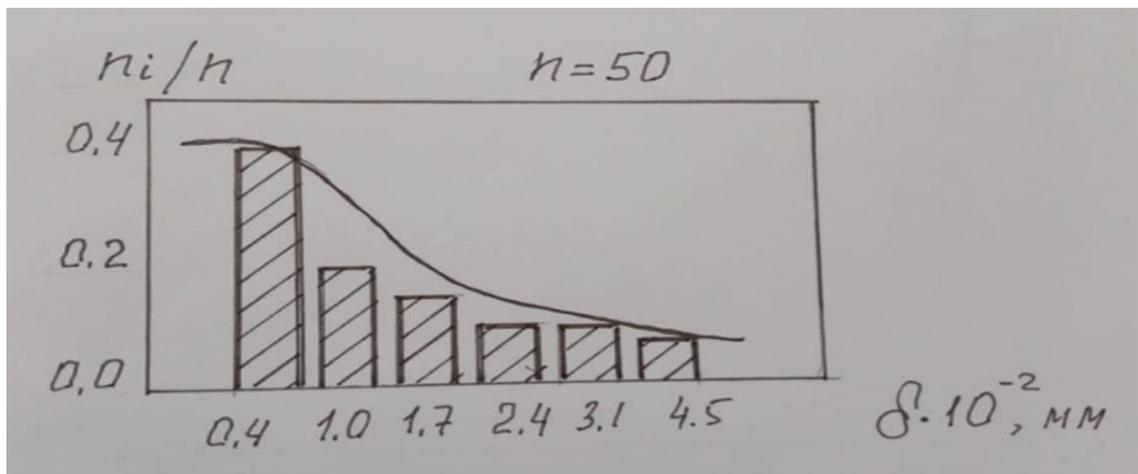


Рисунок 2

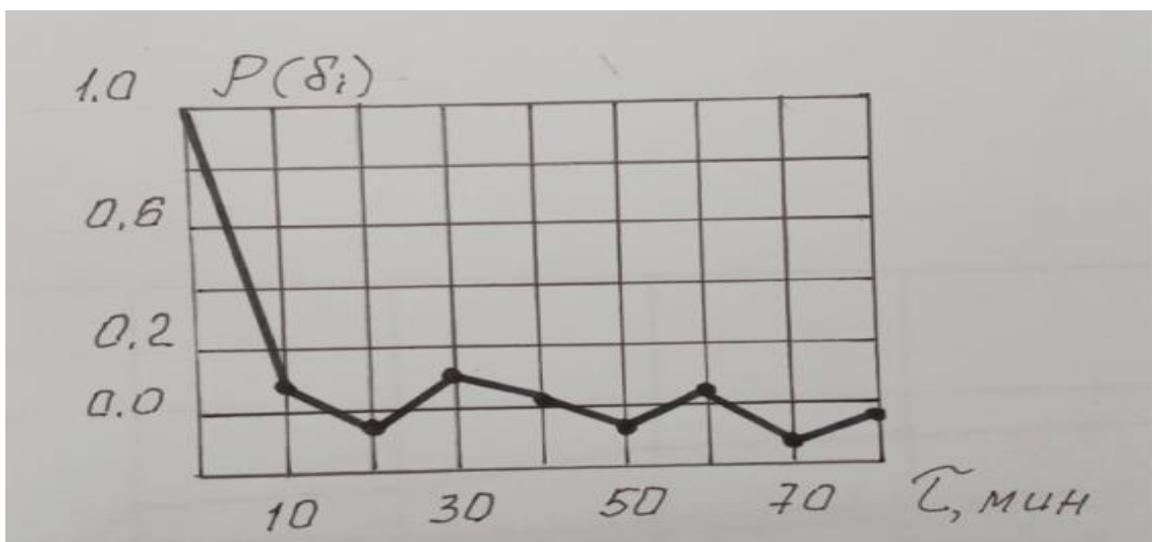


Рисунок 3

Результаты выполнения МФЭ

Испытания резцов со СМП выполнялись в лаборатории резания Кировградского завода твердых сплавов. Условия опытов и уровни факторов приведены в таблицах 1 и 2.

Сплав ТС33РТ, СМП – CNMG – 120408 РМ

Таблица 1

Условия опытов

№ опыта	Скорость резания $V$ , м/мин	Рабочая подача $S$ , мм/об	Период стойкости $T$ , мин	
1	130	0,1	162,5	$\pm 24,3$
2	350	0,1	115,0	$\pm 17,25$
3	130	0,55	95,0	$\pm 14,25$
4	350	0,55	2,0	$\pm 0,3$

Таблица 2

Уровни факторов

Факторы	Кодированное обозначение	Натуральные уровни факторов		
		верхний +1	основной 0	нижний -1
Скорость резания $v$ , м/мин $Inv$	$x_1$	350	240	130
		5,858	5,481	4,868
Рабочая подача $S$ , мм/об $InS$	$x_2$	0,55	0,325	0,1
		-0,598	-1,124	-2,303

Пример фрагмента расчета по программе для условий первой серии опытов приведен на рисунке 4. Результаты расчета величины скорости резания и подачи приведены в таблице 3.

**Опыт № 1 V=Vmin, S=Smin**

Задайте вектора значений h и t

h3 :=	0.11	t3 :=	5
	0.12		10
	0.15		15
	0.18		20
	NaN		NaN
	NaN		NaN
	NaN		NaN

Номер начальной точки для обработки n1 := 1

Номер конечной точки для обработки n2 := 4

Уровень для определения T T0 := 0.5

1

$$T1 := \frac{(T0 - b)}{a} = 87.5$$

$$T_{1,1} := 0.8T1$$

$$T_{1,2} := T1$$

$$T_{1,3} := 1.2T1$$

$$x := t3_1 - T1$$

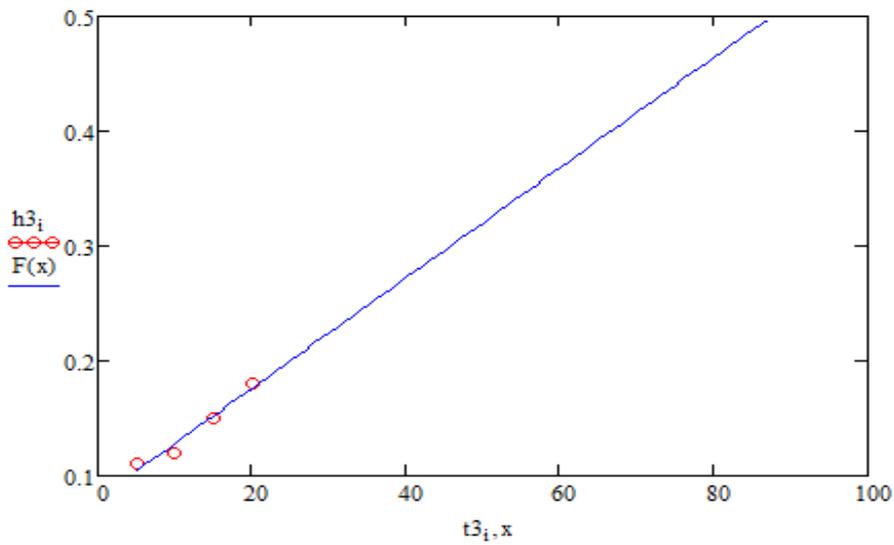


Рисунок 4 – Экстраполяция результатов опытов по измерению величины износа

### Результаты расчета

$$V = K \left( \frac{C}{T \cdot S^{a2}} \right)^{\frac{1}{a1}}$$

где:  $C = 1.811 \times 10^{13}$        $a1 = 5.281$        $a2 = 2.13$

$K = 1$       **Корректировочный коэффициент (может быть изменен)**

cohren(GR, GT) = "Дисперсии измерений однородны"

Таблица 3

Зависимость допустимых скоростей резания при заданной подаче и уровне стойкости

Период стойкости мин.	Подача S, мм/об									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	530	401	340	303	277	257	242	229	218	209
20	465	351	298	266	243	226	212	201	192	184
30	430	325	276	246	225	209	196	186	177	170
40	408	308	262	233	213	198	186	176	168	161
50	391	295	251	223	204	190	178	169	161	154
60	378	285	242	216	197	183	172	163	156	149

### Выводы:

1. На основании результатов испытания режущих инструментов со сменными пластинами из сплава ТС33РТ установлено, что приращения износа режущей кромки во всей совокупности полученных результатов является стационарным процессом. Это позволяет надежно экстраполировать результаты кратковременных испытаний на заданную величину износа задней поверхности лезвий.
2. Применение метода планирования экспериментов существенно сокращает время испытаний и расходы обрабатываемого материала.

### Литература

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф.Бобров. М.: Машиностроение, 1975.
2. Макаров А.Д. Анализ характеристик обрабатываемости и параметров оптимизации процесса резания / А.Д.Макаров // Тез.докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Современные пути повышения производительности и точности металлообрабатывающего оборудования и автоматизации технологических

- процессов в машиностроении". М., 1980. С. 146-149.
3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента/ Т.Н. Лоладзе. М.: Машиностроение, 1982.
  4. ISO 3685 International standard. – 48 с.
  5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
  6. Невельсон Р.А., Филиппов Г.В. Ускоренные испытания режущего инструмента на надежность (стойкость) при нормальных режимах резания. В сб. Повышение качества, надежности и долговечности промышленных изделий, ЛДНТП, 1970.
  7. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. М., изд-во «Совместное радио», 1966.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГЕНАРЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ПОСЛЕ 3D-ПЕЧАТИ

**Чумичева Е. А., Бастрикова Е. Е., Лагуткин С. В.**

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[echumi4eva@yandex.ru](mailto:echumi4eva@yandex.ru)

[kbastrikova@list.ru](mailto:kbastrikova@list.ru)

[stas.lagutkin@mail.ru](mailto:stas.lagutkin@mail.ru)

**Аннотация:** В статье рассмотрен рост рынка аддитивного производства, новая уникальная установка, заинтересованность производственной компании, конкурентоспособность, возможная реализация проекта.

**Ключевые слова:** Рынок, конкуренты, покупатели, установка для регенерации, реализация.

На сегодняшний день на многих предприятиях, как в России, так и за рубежом, отсутствует возможность вторичного использования отработанного порошка после 3D-печати, в связи с чем актуальны работы по созданию устройств, позволяющих отделить годный металлический порошок от нежелательных включений, образованных вследствие воздействия на исходный материал. Разработка подобного оборудования интересна и для повышения качества новых металлопорошковых композиций, к которым в аддитивном производстве предъявляются особые требования.

Перед проектированием нового и, может быть, уникального оборудования следует проанализировать рынок и выявить перспективы его развития с точки зрения спроса на 3D-принтеры, существующей конкуренции, а также, потенциальных покупателей

### **Спрос на 3D-принтеры и их комплектующие**

2020 год стал серьезной встряской для всей мировой промышленности, пришло четкое понимание того, что аддитивное производство способно оперативно справляться с трудностями, которые связаны с простоями предприятий и логистическим коллапсом, и может стать для бизнеса катализатором роста.

Главными движущими силами глобального рынка аддитивного производства аналитики считают:

- Выгоды новых моделей производства и управления логистикой;
- Растущий спрос на кастомизированные продукты;
- Сокращение производственных издержек.

Рост рынка продуктов и услуг 3D-печати в 2020-2024, по данным компании Wohlers Associates [1] представлен на рисунке 1.

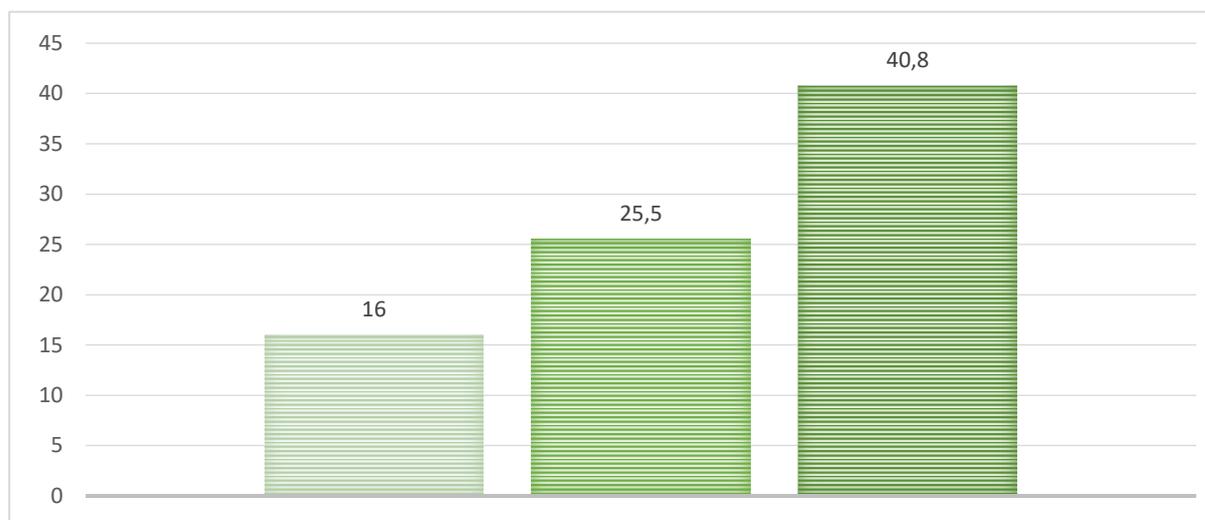


Рисунок 1 – Рост рынка продуктов и услуг 3D-печати в 2020-2024

По данным компании Verified Market Research, мировой рынок 3D-печати оценивался в 2017 году в 8,08 млрд долларов США, с перспективой роста до 49,74 млрд к 2025 с совокупным среднегодовым темпом 25,5% в период 2018-2025 годов [2].

Fortune Business Insights в отчете, опубликованном в октябре 2020-го, прогнозирует увеличение объема рынка до 51,77 млрд. долларов к 2026 году со среднегодовым ростом 25,8% [3].

Technavio в своем исследовании (ноябрь 2020) оценивает рост этого сегмента рынка на 1,572 млрд. долларов в период 2020-2024 с совокупным среднегодовым темпом 13%. Производители и провайдеры услуг во всех уголках Земли оценили оперативность и экономичность 3D-печати [4].

Одним из главных факторов роста являются производственные предприятия, активно внедряющие 3D-печать в качестве жизнеспособной альтернативы традиционным способам производства. Пройдя путь от прототипирования до производства готовых изделий, 3D-печать станет одним из ключевых факторов развития промышленных производств.

Стоит так же обратить внимание на материалы, которые используют для изготовления той или иной продукции на 3D-принтерах.

В этом году материалы снова оказались среди многих важнейших достижений, а количество их поставщиков за последние два года удвоилось. Отрасль 3D-печати металлами остается растущим рынком, который в 2020 году оценивался в 1 млрд. долларов. По прогнозам его объем будет ежегодно увеличиваться более чем на 27% в течение следующих нескольких лет.

Учитывая уникальные требования, предъявляемые к порошковым материалам, рынок порошков для аддитивного производства и цепочки их поставок постоянно развиваются. Действительно, процесс изготовления порошков для 3D-принтеров по-прежнему является довольно узкоспециализированным и затратным, однако он необходим для индустриализации 3D-печати металлами и производства сертифицированных деталей. Порошки для аддитивного производства должны соответствовать особым требованиям к структуре, чистоте и гранулометрическому составу.

На рынке 3D-печати существенно растет потребность в порошке алюминиевых сплавов. Согласно отчету, финансируемому Equispheres, спрос в этом сегменте вырастет до более чем 695 млн. долларов в 2023 году, что представляет среднегодовой темп роста в 36,5% [5].

Рост производства основных видов материалов для 3D-печати по данным Senvol Database представлен на рисунке 2 [6].

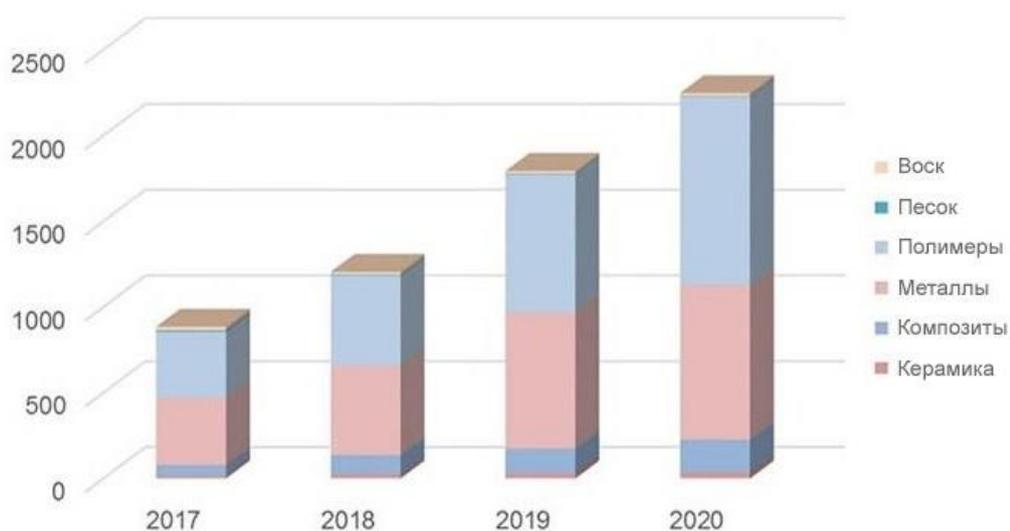


Рисунок 2 – Рост производства основных видов материалов для 3D-печати

В связи с ростом использования 3D-принтеров увеличивается и спрос на материалы. Поднимается вопрос об утилизации непригодного сырья. Но не всегда компании выгодно просто избавиться от вторсырья, ведь часто достаточно большая часть может быть использована повторно, при должном уровне очистки. Вторичное использование металлического порошка позволит сократить расходы на содержание складов и повысить количество продукции без потери ее качества

#### **Основные действующие конкуренты**

Среди ведущих компаний, решающих вопросы сепарации отработанного порошка от мелкодисперсных включений, можно выделить Hosokawa Alpine AG, Netzsch GmbH (Германия) и ОДО «Ламел-777» (Республика Беларусь).

Hosokawa Alpine AG – компания, была основана в 1898 году. Основной компетенцией является производство машин и систем для **обработки порошков, гранулятов и сыпучих материалов**, а также систем для **экструзии выдувных пленок**. Стоимость поставляемого оборудования – от 500 тыс.Евро [7].

Netzsch GmbH – предприятие, основанное в 1891 году и работающее в сфере машино- и приборостроения, которое располагает производственными, сбытовыми и сервисными организациями в разных странах мира. Стоимость поставляемого оборудования – от 350 тыс.Евро [8].

ОДО «Ламел-777» – белорусская компания, была основана в 1997 году. Предприятие занимается разработкой и производством технологического оборудования и линий для физико-механической переработки различных дисперсных материалов, в том числе рудного и нерудного минерального сырья и различных промышленных отходов. Стоимость поставляемого оборудования – от 50 тыс.евро [9].

#### **Потенциальные покупатели**

В данный момент основным потенциальным покупателем технологии является научно-производственное объединение «Центротех».

ООО «НПО «Центротех» входит в контур управления Топливной компании «ТВЭЛ» Госкорпорации «Росатом». За последние годы предприятие вошло в число лучших промышленных и машиностроительных заводов нового типа. Технический парк завода оснащен самым современным, универсальным и высокоточным оборудованием для удовлетворения широкого спектра потребностей промышленности в целом.

#### **Опытная установка регенерации металлического порошка**

Работа установки происходит следующим образом (рис.3):

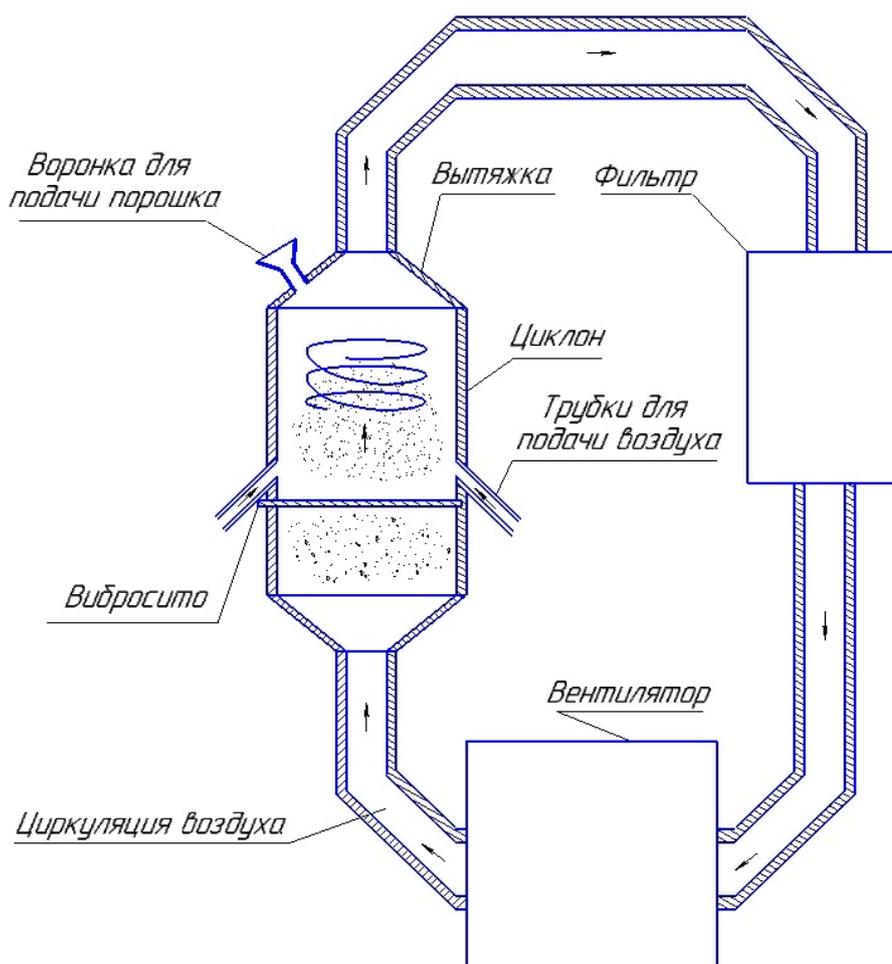


Рисунок 3 – Схема очистки металлического порошка

Подача использованного порошка осуществляется через специальную воронку, путем дозированного ссыпания в камеру вращения. Воздух, поступающий из вентилятора, создает восходящий вихревой поток, в котором происходит дезагломерация частиц. Тонкодисперсные частицы проходят тщательную фильтрацию, в процессе которой частицы золь задерживаются в фильтре, а чистый воздух возвращается в цикл. Очищенные от золь и пылевых фракций частицы годного порошка оседают в нижней части камеры и могут быть извлечены, как в непрерывном цикле, так и периодическом и использованы повторно в аддитивном технологическом процессе.

Этапы создания опытно-промышленной установки и необходимые для этого инвестиции представлены в таблице 1.

## Этапы реализации проекта и инвестиции

Этап	Результат	Сроки	Инвестиции
Формулировка идеи, оформление ТЗ	Договоренность с заказчиком, ТЗ, перечень ресурсов	2 месяца	-
Разработка пилотной установки	Расчеты, создание 3D модели установки	3 месяца	300 000 руб
Внедрение	Реальная установка (прототип), верификация и валидация, НИОКР	6 месяцев	1 500 000 руб
Эксплуатация	Обратная связь, доработка	2 месяца	200 000 руб
Итого		14 месяцев	2 000 000 руб

Основные участники рынка аддитивных технологий, заинтересованные в такой установке это изготовители 3D-изделий, производители 3D-принтеров, а также, предприятия, активно использующие 3D-печать.

В заключении хотелось бы отметить, что аддитивное производство все активнее развивается, с каждым годом расширяя сферы использования технологий, это приводит к вовлечению новых металлов без возможности использовать все еще пригодный отработанный материал. Также, его утилизация накладывает дополнительную нагрузку на окружающую среду, сохранение которой с каждым годом становится все актуальней.

Предложенная установка позволяет повысить коэффициент использования материала, и, как следствие, существенно уменьшить производственные потери при его многократном использовании. Технология регенерации достаточно проста и обещает быть экономически выгодной, особенно на фоне стоимости аналогичных предложений зарубежных производителей

## Литература

1. Wohlers Associates. Statista 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://wohlersassociates.com/> (Дата обращения: 25.09.2021).
2. The global 3D printing market [Электронный ресурс]. URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/> (Дата обращения: 25.09.2021).

3. 3D Printing Market Worth \$51.77 Billion at 25.8% CAGR [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/10/30/2117800/0/en/3D-Printing-Market-Worth-51-77-Billion-at-25-8-CAGR-Growing-Demand-for-Prototyping-Technology-from-Defense-Industry-to-Widen-Sales-Horizons-Fortune-Business-Insights.html> (Дата обращения: 25.09.2021).
4. The Market For 3D Printing Medical Devices [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technavio.com/> (Дата обращения: 25.09.2021).
5. Press Release: Leading Analyst Firm Predicts 36% Annual Increase In Aluminum Powder Requirements For AM Market By 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://equispheres.com/increase-additive-manufacturing-aluminum-powder-demand/> (Дата обращения: 29.09.2021).
6. Analysis of Additive Manufacturing materials from Wohlers and Senvol Database [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pim-international.com/analysis-of-additive-manufacturing-materials-from-wohlers-and-senvol-database/> (Дата обращения: 29.09.2021).
7. HOSOKAWA ALPINE AG [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hosokawa-alpine.com/> (Дата обращения: 31.09.2021).
8. Company [Электронный ресурс]. URL: <https://www.netzsch.com/en/> (Дата обращения: 31.09.2021).
9. О компании [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lamel777.ru/> (Дата обращения: 31.09.2021).

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ ЖЕЛЕЗА:  
I. РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОДЕЛИ  $2\gamma$  СОСТОЯНИЙ НА  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  И  $\delta$  ФАЗЫ

Эйшинский Е. Р.

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[e1010101@yandex.ru](mailto:e1010101@yandex.ru)

**Аннотация:** Данная статья открывает цикл работ, посвященных новой феноменологической модели выделенных электронных состояний (ВЭС) атомов железа, позволяющей взглянуть на электронное строение и свойства полиморфных модификаций Fe с единой точки зрения. Модель ВЭС принципиально отличается от известной модели  $2\gamma$ -состояний Вейсса тем, что применяется не только к ГЦК фазе, но и ко всем остальным металлическим фазам Fe. Полученные результаты подтверждают перспективность модели для рассмотрения ключевых вопросов физики железа.

**Ключевые слова:** Модель  $2\gamma$ -состояний Вейсса; модель выделенных электронных состояний; полиморфные модификации железа; локальный магнитный момент атома; ферромагнетизм  $\alpha$ -Fe; корреляции d-электронов железа.

### Введение

Трудно переоценить значимость той роли, которую железо играет в современном технологическом и научном мире. Прежде всего, оно является основой чёрной металлургии, родоначальником громадного количества современных конструкционных материалов – сталей, сплавов и соединений. Во-вторых, железо обладает целым комплексом уникальных свойств – является элементом с не полностью заполненной 3d-оболочкой, обладает ферромагнетизмом, необычным полиморфизмом и аномалиями многих физических свойств. В-третьих, Fe традиционно служит площадкой для проверки и отработки новых теоретических методов и концепций физики твёрдого тела. Наконец, в последние годы большое внимание исследователей было привлечено к изучению строения и свойств железа в экстремальных по температуре и давлению условиях внутреннего ядра Земли [1,2].

Представляется весьма удивительным, что, несмотря на громадное количество теоретических и экспериментальных исследований и большое число разнообразных идей, теорий и гипотез о природе упомянутых выше особенностей железа, происхождение многих из них до сих пор остаётся неясным [3-5].

Для такого положения дел имеются объективные причины. Основная из них - чрезвычайно высокая сложность объекта исследования. Перечислим некоторые обстоятельства, усложняющие понимание внутренней природы предмета обсуждения:

- железо является элементом с более чем наполовину заполненной 3d-оболочкой (число d-электронов  $n_d > 5$ );
- важнейшую роль в поведении железа, в частности, в его ферромагнетизме играют локальные и нелокальные корреляции d-электронов [2,6];

- железо имеет несколько структурных модификаций ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ), существующих в разных диапазонах температуры и давления, и обладающих очень различными свойствами; например, ОЦК  $\alpha$  - фаза является ферромагнитной, а остальные фазы либо парамагнитны ( $\gamma$ ,  $\delta$ ), либо немагнитны ( $\epsilon$ );
- по не до конца понятным причинам низкотемпературная  $\alpha$ -фаза железа обладает не плотноупакованной ГЦК (или ГПУ) решёткой, как должно было бы быть [6], а менее плотной ОЦК решёткой;
- d-электроны атомов железа в металлических фазах имеют сложную природу; они являются частично коллективизированными и частично локализованными; участвуют и в когезии (межатомной связи) и в ферромагнетизме ( $\alpha$  - фаза); сам принцип их разделения на связующие и магнитные представляет собой предмет дискуссии.

Перечисленные виды сложности сильно запутывают общую картину электронного строения железа и делают её очень трудной для теоретического описания. Следствием этого является большое количество разнообразных теоретических подходов, пытающихся объяснить те или иные частные (магнитные, упругие, структурные, транспортные и т.п.) свойства железа и его сплавов. При этом практически отсутствуют попытки дать их системное описание с единой точки зрения.

Исторически структурные, объёмные и магнитные свойства железа и его сплавов чаще всего исследовались с помощью двух основных методов - моделей различной степени детальности, среди которых выделяется известная модель  $2\gamma$  состояний Вейсса [7,8], и строгих одноэлектронных расчётов зонной структуры Fe и его сплавов [4].

В последние два десятилетия в области вычислений зонной структуры твёрдых тел произошёл качественный скачок, и сегодня в ней безоговорочно доминируют компьютеризированные методы, основанные на исходных принципах квантовой механики (так-называемые *ab initio* или первопринципные методы), требующие для своего проведения очень значительных вычислительных мощностей. Среди большого числа таких подходов выделяются различные модификации комбинированного метода DFT + DMFT, достигшие серьёзных успехов в объяснении многих свойств 3d магнетиков, в том числе железа [4,9].

Несмотря на то, что первопринципные расчёты позволили сильно продвинуться в понимании электронного строения фаз железа, они пока что не смогли дать исчерпывающий ответ на ряд важных вопросов, в частности они не объясняют глубинную причину структурной устойчивости и ферромагнетизма  $\alpha$ -Fe. Затруднения

первопринципных расчётов связаны, в частности, с тем, что на сегодняшний день их точность ( $\sim$  несколько сотых эВ) сравнима по величине с разностью свободных энергий различных структурных модификаций железа и не позволяет сделать однозначный вывод о том, какая из фаз будет устойчива в тех или иных условиях.

По указанным причинам было бы преждевременным полностью отказаться от модельных подходов при рассмотрении электронного строения и свойств фаз железа и его сплавов. Отметим, что, хотя такие подходы, казалось бы, уже стали предметом истории, ссылки на гипотезу Вейсса время от времени продолжают появляться в современной научной литературе [10,11]. Поэтому представляется целесообразным наряду со сложными, компьютеризированными расчётами из первых принципов использовать для анализа электронного строения и свойств фаз железа также и феноменологические модели, имеющие, при всей своей кажущейся простоте, ряд несомненных достоинств.

Эти модели более наглядны и просты для понимания, чем сложные расчёты. Они не требуют мощных вычислительных ресурсов. Значения важных параметров моделей определяются непосредственно из экспериментальных данных. Модели позволяют изначально закладывать в описание некоторые важные физические свойства, которые трудно рассчитать непосредственно из первых принципов, например, корреляции 3d-электронов.

При этом модельный подход по определению несёт в себе некоторую нестрогость, чтобы не сказать недоговорённость. Однако он и не претендует на всеобъемлющее исчерпывающее описание объекта исследования. Оптимальной задачей для такого подхода видится что-то вроде прокладывания пути в очень запутанной экспериментальной и теоретической ситуации и нахождения в ней некоторых надёжных опорных точек. Цифровые значения величин в этих точках могут и должны послужить исходными данными для дальнейшего продвижения вперёд с помощью продвинутых первопринципных расчётов. Кроме того, такие опорные точки полезны ещё и в том плане, что позволяют сформулировать нечто подобное “правилам отбора”, с помощью которых можно с самого начала решения той или иной задачи исключать из рассмотрения структурные и магнитные варианты, которые явно не согласуются с данными по опорным точкам, и, таким образом, резко сокращать время и ресурсы, требуемые для решения задачи.

В предлагаемой здесь модели выделенных электронных состояний (ВЭС) электронное строение всех фаз железа рассматривается с единой точки зрения. Впервые данная идея была высказана ещё в 80-х годах прошлого века [12-15]. По разным причинам (главным образом, из-за труднодоступности основных публикаций, депонированных в

ВИНИТИ) тогда она не привлекла внимания специалистов, и, казалось бы, на сегодняшний день окончательно утратила свою актуальность.

Автор после большого перерыва провёл анализ широкого спектра экспериментальных и теоретических работ в области физики железа и его соединений с целью выявить опытные факты, явно противоречащие модели ВЭС и, следовательно, указывающие на её несостоятельность. Объём выборки проанализированных статей составил несколько сотен наименований. Неожиданно выяснилось, что такие факты в просмотренных многочисленных литературных источниках отсутствуют.

Это обстоятельство, вместе с отмеченным выше отсутствием на сегодняшний день удовлетворительного теоретического объяснения некоторых фундаментальных свойств железа, таких как низкотемпературная стабильность ОЦК  $\alpha$ -фазы, её ферромагнетизм и природа магнитообъёмного эффекта, послужило основанием для того, чтобы попытаться развить модель ВЭС дальше и повторно (а, точнее, впервые) вынести её на суд научной общественности.

Подчеркнём, что использование модели ВЭС для описания аллотропных модификаций железа не противоречит общим принципам теории твёрдого тела. Более того, имеется несколько указаний на реальную возможность такого единообразного рассмотрения различных кристаллических фаз железа и его сплавов с 3d -элементами. Например, в работе [16] уже высказывалась идея о том, что объём атома железа зависит только от величины его локального магнитного момента и не зависит от симметрии кристаллической решётки. При этом максимальные значения атомного момента в сплавах железа с ОЦК и ГЦК решётками оказались одинаковыми и равными:

$$(\mu_{\text{Fe}}^{\alpha})_{\text{макс}} \approx (\mu_{\text{Fe}}^{\gamma})_{\text{макс}} = 2,8 \mu_{\text{B}} \quad (1)$$

Во-вторых, согласно конфигурационной модели электронного строения вещества, в твёрдом теле у атома любого 3d элемента имеются некоторые выделенные, особо стабильные электронные конфигурации, причём состояние атомов данного 3d элемента в любой его кристаллической фазе является статистической смесью этих стабильных конфигураций [17]. В конфигурационной модели принимается, что изменение электронного состояния атомов при полиморфных превращениях или при изменении термодинамических параметров (давления и температуры) описывается с помощью изменения весов упомянутых стабильных конфигураций.

Переходя непосредственно к теме настоящей работы, отметим, что представление результатов исследования в виде цикла статей, т.е. разделение очень значительного по объёму материала на части, оформленные в виде отдельных публикаций, преследовало две взаимосвязанные цели:

- выделить в отдельную статью логически завершённую часть материала и

- облегчить читателям восприятие всего комплекса идей и полученных результатов в целом.

Центральной идеей данной статьи является мысль о том, что различие электронного строения и свойств различных металлических модификаций железа обусловлено разным типом суперпозиций двух выделенных универсальных многоэлектронных состояний его атомов и разными весами этих состояний в суперпозиции.

В дальнейших работах цикла эта идея развивается и применяется к фундаментальным структурным, магнитным и магнитообъёмным свойствам железа, до сих пор не имеющим исчерпывающего объяснения.

Статья организована следующим образом.

В разделе 2 изложены основные положения модели ВЭС атомов железа.

В разделе 3 проводится обсуждение полученных результатов и намечен план и содержание следующих статей цикла.

В разделе 4 представлены выводы работы.

## 2 Основные положения модели ВЭС

В качестве отправной точки модели ВЭС используем гипотезу  $2\gamma$  - состояний Вейсса [7, 8], согласно которой в  $\gamma$ -Fe и в ГЦК сплавах Fe его атомы могут находиться в одном из двух состояний ( $\gamma_1$  или  $\gamma_2$ ), очень близких по энергии ( $|E_{\gamma_1} - E_{\gamma_2}| \leq 0,05$  эВ), но сильно различающихся по значениям атомных объёмов ( $V_{\gamma_2} > V_{\gamma_1}$ ) и локальных магнитных моментов ( $\mu_{\gamma_2} > \mu_{\gamma_1}$ ) (см. таблицу 1).

Таблица 1

Параметры состояний  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  [7, 8]

Состояние	Тип магнитного упорядочения	$\mu_{\text{Fe}}, \mu_{\text{B}}$	$V_{\text{Fe}}, \text{Å}^3$
$\gamma_1$	АФМ*	0,5...0,7	11,09
$\gamma_2$	ФМ*	2,8	12,00

\* АФМ - антиферромагнитный, ФМ - ферромагнитный.

Главное предположение модели ВЭС, принципиально отличающее её от гипотезы Вейсса, заключается в том, что электронное состояние атомов не только  $\gamma$ -Fe, а любой другой металлической фазы железа представляет собой квантовую суперпозицию двух универсальных многоэлектронных атомных состояний. Введём единые для всех полиморфных модификаций железа обозначения двух ВЭС его атомов

$$|1\rangle \text{ и } |2\rangle \quad (2)$$

или

$$\text{Fe}_1 \text{ и } \text{Fe}_2. \quad (3)$$

Выделенные состояния  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  являются ортогональными друг к другу

$$\langle 1|2\rangle = 0 \quad (4)$$

Соотношение (4) надо понимать следующим образом. Выделенные состояния  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  должны в максимально возможной степени отличаться по своим основным физическим параметрам - величинам локального магнитного момента  $\mu_{\text{Fe}}$  и атомного объёма  $V_{\text{Fe}}$ .

В качестве выделенного многоэлектронного состояния  $|1\rangle$  (“немагнитное”, “связующее” состояние) выбирается состояние, в котором находятся все атомы железа ГПУ немагнитной  $\epsilon$ -фазы, стабильной при высоких давлениях ( $P \geq 10 \dots 14$  ГПа) [18].

Поскольку и в ОЦК, и в ГЦК сплавах железа максимальная величина локального магнитного момента атомов приблизительно одинакова и равна  $2,8 \mu_{\text{B}}$  (см. соотношение (1)), за выделенное многоэлектронное состояние  $|2\rangle$  (далее - “магнитное” состояние) выбирается вейссовское состояние  $\gamma_2$ .

В таблице 2 приведены значения основных физических параметров состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ , в качестве которых в [12] были выбраны следующие величины:

- атомный объём  $V_{\text{ат}}$  (объём, приходящийся на один атом железа в кристаллической решётке фазы);
- локальный магнитный момент атома  $\mu_{\text{ат}}$ ;
- изомерный сдвиг  $\delta_{\text{Fe}^{57}}$  ядра изотопа железа  $\text{Fe}^{57}$ .

Значения указанных параметров для состояния  $\text{Fe}_2$  были найдены в [12] с помощью экстраполяции концентрационных зависимостей атомных объёмов  $V_{\text{ат}}$  и изомерных сдвигов  $\delta_{\text{Fe}^{57}}$  в ОЦК и ГЦК сплавах Fe с 3d - элементами на чистое железо, а значения параметров для состояния  $\text{Fe}_1$  - с помощью экстраполяции зависимостей этих параметров от давления в  $\epsilon$ -фазе железа на значение нулевого внешнего давления  $P = 0$ .

Таблица 2

Основные параметры состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  при  $T \approx 300\text{K}$  [12]

Состояние	Тип магнитного упорядочения	$\mu_{\text{Fe}}, \mu_{\text{B}}$	$\delta, \text{мм/с}$	$V_{\text{Fe}}, \text{\AA}^3$
$ 1\rangle$	НМ*	0	- 0,15	11,15
$ 2\rangle$	ФМ	2,8	0,05	12,00

\* НМ - немагнитный

Многоэлектронное состояние атома железа  $Fe^k$  в любой металлической фазе может быть выражено через выделенные состояния  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  следующим образом

$$Fe^k = C_1^k \cdot |1\rangle + C_2^k \cdot |2\rangle \quad (5)$$

где индекс  $k$  обозначает фазу железа,  $k = \alpha, \gamma, \delta, \varepsilon$ .

Выражение (5) означает, что состояние атомов железа в фазе  $k$  определяются амплитудами вероятности  $C_1^k$  и  $C_2^k$  нахождения атомов в выделенных состояниях  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ . Из (5) следует, что для значения физической величины  $\Phi^k$  в фазе  $k$  можно записать выражение

$$\Phi^k = f_1^k \cdot \Phi_1 + f_2^k \cdot \Phi_2 \quad (6)$$

где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  - значения величины  $\Phi$  в выделенных состояниях  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ , а

$$f_1^k = |C_1^k|^2, \quad f_2^k = |C_2^k|^2 \quad (7)$$

- вероятности (веса) нахождения состояния  $Fe^k$  фазы в состояниях  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ .

В модели двух ВЭС электронное строение и физические свойства  $\alpha, \gamma, \delta$  и  $\varepsilon$  фаз железа отличаются характером суперпозиционных электронных состояний  $Fe^k$  и значениями весов  $f_1^k$  и  $f_2^k$ . Определим значения  $f_1^k$  и  $f_2^k$  для всех фаз железа.

Начнём с ГЦК  $\gamma$ -фазы. С помощью (6) выражение для произвольной физической величины  $\Phi$  в  $\gamma$ -фазе записывается так

$$\Phi^\gamma = f_1^\gamma \cdot \Phi_1 + f_2^\gamma \cdot \Phi_2 \quad (8)$$

Используя формулу (8), выразим объём атома железа в  $\gamma$ -фазе

$$V^\gamma = f_1^\gamma \cdot V_1 + f_2^\gamma \cdot V_2 \quad (9)$$

где  $f_1^\gamma = f_1^\gamma(P, T)$ ,  $f_2^\gamma = f_2^\gamma(P, T)$  - зависящие от температуры и давления вероятности нахождения атома железа в  $\gamma$  фазе в состояниях  $Fe_1$  и  $Fe_2$ . Определим значения  $f_1^\gamma$  и  $f_2^\gamma$  при комнатной температуре  $T_{\text{комн}}$  и атмосферном давлении (нулевом избыточном давлении  $P = 0$ ). Используем для этого значение атомного объёма, определенное для мелкодисперсных включений  $\gamma$ -Fe в Cu (см. [12])

$$V^\gamma(300 \text{ K}, P = 0) = 11,40 \text{ \AA}^3 \quad (10)$$

Подставляя величину  $V^\gamma$  в формулу (9), с помощью значений  $V_1$  и  $V_2$  из табл.2 получаем:

$$f_1^\gamma(300 \text{ K}, P = 0) \approx 0,7; \quad f_2^\gamma(P = 0) \approx 0,3 \quad (11)$$

Перейдём к ГПУ  $\varepsilon$ -фазе. В модели ВЭС принимается, что электронное состояние атомов  $\varepsilon$ -фазы не зависит от давления  $P$ . Поскольку состояние атома железа в этой фазе изначально было выбрано за выделенное состояние  $Fe_1$ , запишем

$$f_1^\varepsilon(300 \text{ K}) = 1, \quad f_2^\varepsilon(300 \text{ K}) = 0 \quad (12)$$

Следовательно, выражение для произвольной физической величины в  $\varepsilon$ -фазе выглядит так:

$$\Phi^\varepsilon = \Phi_1 \quad (13)$$

Далее, переходим к ОЦК  $\alpha$ -фазе. Считая значения объёмов  $V_1$  и  $V_2$  состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , приведённые в таблице 2, инвариантными относительно симметрии кристаллической решетки железа, используем их для расчёта вероятностей  $f_1^\alpha, f_2^\alpha$  нахождения атома железа  $\alpha$ -фазы в состояниях  $Fe_1$  и  $Fe_2$ . Для атомного объёма  $\alpha$ -Fe записываем выражение, аналогичное выражению (9) для  $\gamma$ -Fe

$$V^\alpha = f_1^\alpha \cdot V_1 + f_2^\alpha \cdot V_2 \quad (14)$$

Подставляя в левую часть (14) экспериментальную величину  $V^\alpha(300 \text{ К}, P = 0) = 11,776 \text{ \AA}^3$  [19], находим:

$$f_2^\alpha(300 \text{ К}, P = 0) = 0,736; f_1^\alpha(300 \text{ К}, P = 0) = 0,264 \quad (15)$$

Из (15) следует, что

$$f_2^\alpha(300 \text{ К}, P = 0) \approx 0,75; f_1^\alpha(300 \text{ К}, P = 0) \approx 0,25 \quad (16a)$$

и

$$f_2^\alpha(300 \text{ К}, P = 0) : f_1^\alpha(300 \text{ К}, P = 0) \approx 3 \quad (16b)$$

Полученное соотношение (16b) позволяет предположить, что в  $\alpha$ -Fe при комнатной температуре и атмосферном давлении для отношения весов состояний  $Fe_2$  и  $Fe_1$  имеет место не приблизительное, а точное равенство  $f_2^\alpha : f_1^\alpha = 3$ . Для обоснования этого предположения примем во внимание очень важную особенность  $\alpha$ -фазы железа.

Известно, что она сохраняет устойчивость своей ОЦК решётки при росте внешнего давления от 0 до точки  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon} \sim 10 \dots 14$  ГПа, когда одновременно происходит коллапс её ферромагнетизма и структурный ОЦК  $\rightarrow$  ГПУ фазовый переход. При этом во всём диапазоне существования  $\alpha$ -фазы,  $0 \leq P < P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$ , значения температуры Кюри  $T_c$  и атомного магнитного момента  $\mu^\alpha$  остаются практически неизменными [18].

Описанная структурная и магнитная стабильность  $\alpha$ - фазы железа позволяет предположить, что в широких диапазонах изменения давления и температуры

( $0 \leq P < P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$ ,  $0 \leq T < T_c$ ) электронное состояние  $Fe^\alpha$  её атомов представляет собой очень устойчивую суперпозицию выделенных состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$ . В такой стабильной суперпозиции соотношение весов выделенных состояний вряд ли может быть произвольным. Следовательно, можно принять, что для весов  $f_1^\alpha$  и  $f_2^\alpha$  имеют место не приблизительные, а строгие равенства

$$f_1^\alpha = 1/4; f_2^\alpha = 3/4 \quad (17a)$$

$$f_2^\alpha : f_1^\alpha = 3 \quad (17b)$$

справедливые в указанных диапазонах изменения внешнего давления и температуры.

Соотношения (17а), (17б) представляют собой *центральное предположение модели ВЭС применительно к  $\alpha$ -фазе железа*. Подробно картина электронного строения  $\alpha$ -Fe, основанная на значениях весов (17а) описывается в следующей статье цикла. Пока же отметим, что значение любой физической величины  $\Phi$  в  $\alpha$ -фазе железа можно найти с помощью выражения:

$$\Phi^\alpha = 1/4 \cdot \Phi_1 + 3/4 \cdot \Phi_2 \quad (18)$$

Формулы (8) и (18) могут быть использованы для нахождения параметров  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  любой физической величины  $\Phi$ , если известны экспериментальные значения  $\Phi^\alpha, \Phi^\gamma$  и значения весов  $f_1^\alpha, f_2^\alpha, f_1^\gamma, f_2^\gamma$ .

В таблице 3 собраны вместе веса  $f_1^k, f_2^k$  всех структурных фаз Fe. Для полноты картины в таблице приведены значения этих весов для  $\delta$ -фазы Fe, взятые из работы [12]. Электронное строение этой фазы требует дополнительного рассмотрения и будет представлено в отдельной статье.

Таблица 3. Веса состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$  атомов в полиморфных модификациях Fe

Фаза \ Вес	$\alpha$ - Fe (ОЦК), $0 \leq P < P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$ , $T \leq T_c$	$\gamma$ - Fe (ГЦК), $P = 0$ , $T = 300$ К	$\delta$ - Fe (ОЦК) $P = 0$ $T \geq T_{\gamma \rightarrow \delta}$	$\varepsilon$ - Fe (ГПУ) $P \geq P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$ $T = 300$ К
$f_1^k$	0,25	0,7	0,22-0,25	1
$f_2^k$	0,75	0,3	0,75-0,78	0

### 3 Обсуждение полученных результатов

Обсудим результаты, полученные в модели ВЭС. В разделе 2 принято, что многоэлектронное состояние атома  $Fe^k$  в фазе k может быть представлено суперпозицией двух выделенных многоэлектронных состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  (формула (5)), инвариантных относительно симметрии кристаллической решётки. Свойства произвольной фазы железа k определяются значениями весов  $f_1^k, f_2^k$  нахождения выделенных состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  в суперпозиционном состоянии  $Fe^k$  этой фазы, а также типом суперпозиции состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  в ней.

Тип суперпозиции состояния  $Fe^k$  фазы k определяется типом межатомных корреляций d-электронов в этой фазе. Вопрос о корреляциях d-электронов является одним из основных вопросов физики твёрдого тела чистых 3d металлов и сплавов, в том числе железа [2,6]. Одним из достоинств предложенной модели ВЭС является то, что в ней разделение корреляций d-электронов на локальные (одноузельные, внутриатомные) и нелокальные (междуузельные, межатомные) выполняется естественным образом. Например, описание выделенного состояния  $Fe_2$  изначально учитывает внутриатомные

корреляции d-электронов (хундовский обмен), приводящие к появлению у атома нескомпенсированного спина  $S = 3/2$  и локального магнитного момента  $\mu_2 = 2,8 \mu_B$ . Подчеркнём, что, поскольку в модели ВЭС принимается, что состояние  $Fe_2$  не зависит от симметрии кристаллической решётки, внутриатомные d-электронные корреляции также от неё не зависят или зависят очень слабо. Междузельные корреляции d-электронов, разумеется, зависят от типа кристаллической решётки железа, и их точный учёт представляет собой сложную теоретическую проблему. Характер междузельных корреляций 3d-электронов в ОЦК  $\alpha$ -фазе железа будет рассмотрен в следующей публикации [20].

Отметим, что в дальнейших статьях (2-й и 3-й) цикла работ в рамках модели ВЭС с единой точки зрения даётся простое объяснение ряда экспериментальных фактов, которые, на первый взгляд, кажутся несвязанными между собой. Перечислим их.

Во 2-й статье [20] будут представлены:

- новая необычная картина электронного строения  $\alpha$ -фазы железа;
- объяснение природы нелокальных корреляций d-электронов в ферромагнитной  $\alpha$ -фазе железа;
- объяснение связи между электронным строением упорядоченного сплава  $Fe_3M$  ( $M = Si, Al$ ) со структурой DO3 и электронным строением  $\alpha$ -фазы железа;
- объяснение происхождения локальных магнитных моментов атомов FeI и FeII в сплавах  $Fe_3M$ ;
- объяснение необычной анизотропии относительных тепловых колебаний атомов 2-х ближайших соседей в  $\alpha$ -фазе железа, определённой методом точного EXAFS [5].

В 3-й статье [21] будет дано количественное объяснение объёмного эффекта,  $(\Delta V)_{\alpha \rightarrow \epsilon}$ , структурного фазового перехода ОЦК  $\rightarrow$  ГПУ в Fe.

#### 4 Выводы

Кратко перечислим основные выводы статьи.

Впервые модель ВЭС для  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$  и  $\delta$  фаз железа была сформулирована почти 40 лет тому назад. По ряду причин в то время она оказалась вне поля зрения научной общественности. Настоящая статья представляет собой повторную попытку привлечь внимание исследователей в области физики железа к этой модели.

Центральная идея предлагаемого феноменологического подхода состоит в следующем. В отличие от модели  $2\gamma$  - состояний Вейсса, которая была разработана для описания свойств одной ГЦК фазы чистого железа и его сплавов, в модели ВЭС все структурные модификации железа рассматриваются с единой точки зрения с помощью

выделенных многоэлектронных состояний атомов,  $Fe_1$  и  $Fe_2$ . В каждой полиморфной модификации состояние атома железа является или одним из двух выделенных состояний или их квантовой суперпозицией.

В дальнейших работах будет показано, что простая и наглядная картина электронного строения фаз железа, возникающая в модели ВЭС, таит в себе большие возможности и открывает новые пути для более глубокого объяснения и понимания различных феноменов физики железа, природа которых до настоящего времени остаётся неясной.

#### Литература

1. А.И. Катанин/ Магнетизм железа и никеля - на Земле и внутри Земли [Электронный ресурс] // Газета "Коммерсантъ. Наука". - 2017- №6 - с.34. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3396757>
2. L. V. Pourovskii, J. Mravlje, M. Pozzo, D. Alfè. Electronic correlations and transport in iron at Earth's core conditions. // Condensed Matter > Strongly Correlated Electrons. URL: <https://arxiv.org/abs/2004.03700>
3. И.К. Разумов, Ю.Н. Горностырев, М.И. Кацнельсон. К теории фазовых превращений в железе и стали на основе первопринципных подходов. [Электронный ресурс] // Журнал "Физика металлов и металловедение". - 2017 - том 118 - №4 - с.380 - 408. URL: [https://www.researchgate.net/publication/315627577\\_k\\_teorii\\_fazovyh\\_prevrasenij\\_v\\_ze\\_ize\\_i\\_stali\\_na\\_osnove\\_pervoprincipnyh\\_podhodov](https://www.researchgate.net/publication/315627577_k_teorii_fazovyh_prevrasenij_v_ze_ize_i_stali_na_osnove_pervoprincipnyh_podhodov)
4. И.А. Абрикосов, А.В. Пономарева, П. Стенег, С.А Баранникова., Б. Аллинг. Недавний прогресс в моделировании парамагнитного состояния магнитных материалов. [Электронный ресурс] // Журнал "Текущее мнение в области твердого тела и материаловедения" - Том 20 - выпуск 2 - апрель 2016 г., с. 85-106. URL: [https://www.researchgate.net/publication/283195621\\_Recent\\_progress\\_in\\_simulations\\_of\\_the\\_paramagnetic\\_state\\_of\\_magnetic\\_materials](https://www.researchgate.net/publication/283195621_Recent_progress_in_simulations_of_the_paramagnetic_state_of_magnetic_materials)
5. S. Voccato, A. Sanson, I. Kantor and others. Thermal and magnetic anomalies of  $\alpha$ -iron: An exploration by extended x-ray absorption fine structure spectroscopy and synchrotron x-ray diffraction. [Электронный ресурс] // Journal of Physics Condensed Matter - 2016 – v.28 - № 35. URL: <https://af.booksc.eu/book/60577542/452d26>

6. И.В. Леонов, А.И. Потеряев, Ю. Н. Горностырев и др. Electronic correlations determine the phase stability of iron up to the melting temperature/ [Электронный ресурс] // Scientific Reports - 2014 -volume 4 - Article number: 5585 URL: <https://www.nature.com/articles/srep05585>
7. Larry Kaufman, E.V. Clougherty, R.J. Weiss. The lattice stability of metals - III. Iron. [Электронный ресурс] // Acta Metallurgica - 1963 - v.11, №5 - p.323-335 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0001616063901573>
8. R.J. Weiss. The Origin of the 'Invar' Effect. [Электронный ресурс] // Proc. Phys. Soc. - 1963 - v.82 - №2 - p.281. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0370-1328/82/2/314>
9. E. Pavarini, E. Koch, D. Vollhardt, A. Lichtenstein (Eds.). The LDA+DMFT approach to strongly correlated materials. [Электронный ресурс] // Autumn school organized by the DFG Research Unit 1346 Dynamical Mean-Field Approach with Predictive Power for Strongly Correlated Materials at the Forschungszentrum Jülich on 4 – 7 October 2011. URL: <https://www.cond-mat.de/events/correl11/manuscripts/correl11.pdf>
10. Zhou Li, H. Mao, M. Selleby. Thermodynamic Modeling of Pure Co Accounting Two Magnetic States for the Fcc Phase [Электронный ресурс] // Journal of Phase Equilibria and Diffusion - 2018 - v.39, №4, p.p.502–509/ URL: [https://www.researchgate.net/publication/326310724\\_Thermodynamic\\_Modeling\\_of\\_Pure\\_Co\\_Accounting\\_Two\\_Magnetic\\_States\\_for\\_the\\_Fcc\\_Phase](https://www.researchgate.net/publication/326310724_Thermodynamic_Modeling_of_Pure_Co_Accounting_Two_Magnetic_States_for_the_Fcc_Phase)
11. N. E. Christensen, J. Kudrnovský, C. O. Rodriguez and others. Unified approach to electronic, thermodynamical, and transport properties of Fe<sub>3</sub>Si and Fe<sub>3</sub>Al alloys. [Электронный ресурс] // Physical review B - 2014 - v.90, p.134408. URL: [https://www.szfki.hu/~vincze/PDF/PRB\\_90\\_2014\\_134408.pdf](https://www.szfki.hu/~vincze/PDF/PRB_90_2014_134408.pdf)
12. Е.Р. Эйшинский. Магнитные и магнитообъемные свойства Fe и Fe-Ni сплавов в модели выделенных состояний атомов железа [Электронный ресурс] // Дис. ... канд. физико-математические науки : 01.04.07. - М.: РГБ, 2006. - (Из фондов Российской государственной библиотеки). URL: <https://www.dissercat.com/content/magnitnye-i-magnitoobemnye-svoistva-fe-i-fe-ni-splavov-v-modeli-vydelennykh-sostoyanii-atomo>
13. Е.Р. Эйшинский, В.Н. Крюк. Зависимость магнитного момента атома железа от локального окружения и межатомные обменные взаимодействия в ГЦК Fe-Ni сплавах. // Деп. в ВИНТИ - № 4876 - 1983.
14. Е.Р. Эйшинский, М.П. Кащенко. Зависимость магнитного момента атома железа от локального окружения и инварные аномалии в ГЦК Fe-Ni сплавах. // Дел. в ВИНТИ - № 3490 -1983.

15. Е.Р. Эйшинский. Два электронных состояния атомов железа в его ГЦК и ОЦК модификациях. // Деп. ВИНТИ - № 1082 - 1984.
16. Schlosser W.F. Calculation of the atomic volumes of Fe - Ni and Fe - Co alloys. // Phys. stat. sol. (a) - 1973 - v. 17, p. 199-205. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pssa.2210170122>
17. Г.В. Самсонов, И.Ф. Прядко, Прядко Л.Ф. Электронная локализация в твердом теле. // М.: Наука - 1976, - 339 с.
18. A. Dewaele, C. Denoual, S. Anzellini and others. Mechanism of the  $\alpha$ - $\epsilon$  phase transformation in iron [Электронный ресурс] // Phys. Rev. B - 2015 - v.91, p.174105. URL: <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.91.174105>
19. H.K. Mao, W. A. Bassett, T. Takahashi. Effect of Pressure on Crystal Structure and Lattice Parameters of Iron up to 300 kbar. [Электронный ресурс] // Journal of Applied Physics - 1967 - v.38 - p.272 URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1708965>
20. Е.Р. Эйшинский. Электронное строение металлических фаз железа: II. Строение ОЦК  $\alpha$ -фазы. [Электронный ресурс] Труды XVI региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, техники и образования в атомной отрасли» (25 февраля 2022 года), - Новоуральск: Изд-во НТИ НИЯУ МИФИ, 2022. - с.238 (этот сборник). URL:
21. Е.Р. Эйшинский. Электронное строение металлических фаз железа: III. Объёмный эффект  $\alpha \rightarrow \epsilon$  фазового превращения. [Электронный ресурс] //Труды XVI региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, техники и образования в атомной отрасли» (25 февраля 2022 года), - Новоуральск: Изд-во НТИ НИЯУ МИФИ, 2022. - с.257 (этот сборник). URL:

# ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ ЖЕЛЕЗА:

## II. СТРОЕНИЕ ОЦК $\alpha$ -ФАЗЫ

Эйшинский Е. Р.

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[e1010101@yandex.ru](mailto:e1010101@yandex.ru)

**Аннотация:** В статье в рамках феноменологической модели выделенных электронных состояний (ВЭС) описано электронное строение ОЦК  $\alpha$ -фазы железа. Показано, что причиной стабильности этой фазы является скоррелированный междуузельный обмен выделенными электронными состояниями,  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , между атомами, находящимися в сопряжённых ГЦК подрешётках ОЦК решётки. Временной интервал, в течение которого протекает указанный обмен, равен  $\sim(10^{-14}-10^{-13})$  с. Веса выделенных состояний в  $\alpha$ -фазе равны  $f_1^\alpha = 1/4$ ,  $f_2^\alpha = 3/4$  в широком диапазоне температур и давлений. Дано объяснение связи магнитного момента  $\mu_{Fe}^\alpha = 2,2 \mu_B$  в  $\alpha$ -Fe с магнитным моментом выделенного состояния  $Fe_2$ ,  $2,8 \mu_B$ . Показана связь двух сортов атомов железа, FeI и FeII, в упорядоченных сплавах  $Fe_3M$  ( $M$  - Si, Al, структура  $DO_3$ ), с выделенными состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$ . Качественно объяснена экспериментально наблюдаемая необычно большая анизотропия колебаний атомов 2-х б.с. в  $\alpha$ - фазе железа.

**Ключевые слова:** модель выделенных электронных состояний; скоррелированный междуузельный обмен состояниями атомов; нелокальные корреляции d-электронов  $\alpha$ -Fe; анизотропия колебаний атомов 2-х б.с. в  $\alpha$ - фазе железа; стабильность ОЦК решётки  $\alpha$ -Fe; ферромагнетизм  $\alpha$ -Fe; атомы железа FeI и FeII в сплаве  $Fe_3M$ .

### Введение

Данная статья является второй в цикле работ, описывающих электронное строение и свойства металлических фаз железа в рамках модели выделенных электронных состояний (ВЭС) [1]. Статья посвящена ОЦК  $\alpha$ -фазе - самой необычной, интригующей и наиболее широко используемой в технике и промышленности из всех аллотропных модификаций железа.

Кратко перечислим основные особенности этой фазы. Прежде всего,  $\alpha$ - Fe является первым известным людям ферромагнетиком, очень подробно изученным к настоящему времени. Однако, как это ни странно, несмотря на огромное количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных ферромагнетизму железа, его глубинная природа до сих пор окончательно не раскрыта [2-3]. Далее, в железе при росте температуры нарушается последовательность чередования структурных фаз, характерная для Ru и Os - элементов, находящихся под ним в V группе периодической таблицы Менделеева [4]. У Ru и Os при низких температурах стабильной является фаза с гексагональной плотноупакованной (ГПУ) решёткой, которая сменяется с ростом температуры фазой с менее плотной ОЦК решёткой, переходящей затем в жидкую фазу. У железа последовательность смены структурных модификаций с ростом температуры выглядит иначе: ниже  $T_{\alpha \rightarrow \gamma} = 1185$  К стабильна ОЦК решётка ( $\alpha$ -фаза), выше  $T_{\alpha \rightarrow \gamma}$  - ГЦК решётка ( $\gamma$ -

фаза), выше  $T_{\gamma \rightarrow \delta} = 1665$  К - снова ОЦК решётка ( $\delta$ -фаза) и, наконец, выше  $T_{\delta \rightarrow ж} = 1811$  К - жидкая фаза.

Причиной стабильности низкотемпературной  $\alpha$ -фазы железа принято считать её ферромагнетизм (Зинер, [5]), возникающий ниже температуры Кюри  $T_c = 1043$  К [2]. Но, поскольку, как упомянуто выше, сама природа ферромагнетизма железа до конца не ясна, глубинная причина стабильности ОЦК  $\alpha$ -фазы Fe также остаётся непонятной.

Неясная природа стабильности ОЦК  $\alpha$ -Fe постоянно привлекает внимание исследователей (см., например, [4,6]). Авторы статьи [6] даже усомнились в том, что  $\alpha$ -фаза железа имеет простую ОЦК решётку и прямо поставили вопрос: "Однако неоднократно наблюдавшиеся, необъяснимые аномалии физических величин, измерявшихся на протяжении многих лет многими группами (исследователей - Е.Э.) в сочетании с проблемами с расчётами из первых принципов наводят на мысль, что *что-то не так с этой общепринятой картиной простой ОЦК структуры  $\alpha$ -Fe* (курсив мой - Е.Э.)". Для выяснения того, что же всё-таки не так с ОЦК решёткой железа, они выполнили точное EXAFS исследование  $\alpha$ -фазы Fe и получили необычные результаты, которым, однако, не смогли дать убедительное объяснение. Эти результаты рассмотрены ниже в пункте 3.3.

В статье в рамках модели ВЭС [1,7] получена очень необычная картина электронной структуры  $\alpha$ -Fe, согласно которой в локальных объёмах металла в интервале времени  $\Delta t \sim (10^{-14} - 10^{-13})$  с происходят динамические процессы скоррелированного обмена выделенными состояниями,  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , между различными вариантами "сверхрешётки"  $Fe_2^3Fe_1$  (см. раздел 2). Обычная "одноузельная" ОЦК решётка  $\alpha$ -Fe, в которой все атомы находятся в идентичных электронных состояниях,  $Fe^\alpha$ , появляется только на временах  $t > 10^{-13}$  с в результате усреднения по интервалу времени  $(10^{-14} - 10^{-13})$ , в котором происходят указанные выше обменные процессы.

Назовём такой процесс стабилизации ОЦК  $\alpha$ -фазы Fe её "динамической стабилизацией". Ранее, насколько известно автору, подобная картина электронного строения  $\alpha$ - фазы Fe в литературе не встречалась.

Сделаем несколько предварительных замечаний. Значения временных интервалов, на которых происходит динамическая стабилизация  $\alpha$ - фазы, определены приблизительно и могут в дальнейшем уточняться. Вопрос о размерах локальных областей решётки, в которых протекают процессы скоррелированного обмена состояниями, является принципиальным, поскольку затрагивает несколько важных проблем магнетизма железа, в частности проблему ближнего магнитного порядка в парамагнитной ОЦК  $\alpha$ -фазе. Однако, его рассмотрение выходит за рамки настоящей статьи.

Подчеркнём, что представленная ниже картина электронного строения  $\alpha$ -фазы Fe не является строго доказанной; аргументы в её пользу зачастую носят качественный, либо полуколичественный характер. Однако, остаётся мало сомнений в достоверности этой картины, поскольку с её помощью просто и наглядно объясняется несколько, на первый взгляд несвязанных друг с другом, феноменов физики железа и его сплавов. Таких как:

- 1) происхождение атомного магнитного момента  $\mu_{\text{Fe}}^{\alpha} = 2,2 \mu_{\text{B}}$  в ОЦК  $\alpha$ -Fe;
- 2) происхождение двух типов атомов железа, FeI и FeII, в сплавах Fe3M (M - Si, Al) и численные значения их магнитных моментов;
- 3) большая анизотропия локальной динамики атомов вторых ближайших соседей (2-х б.с.) в  $\alpha$ -фазе Fe.

Статья организована следующим образом.

В разделе 2 в рамках модели ВЭС описана картина электронного строения  $\alpha$ -Fe.

В разделе 3 с помощью полученной картины рассматриваются и объясняются упомянутые выше факты физики железа и его сплавов.

В разделе 4 проведено обсуждение полученных результатов и намечены направления дальнейшей работы.

В разделе 5 сформулированы основные выводы.

## 2. Электронное строение ОЦК $\alpha$ -Fe

Предварительно сделаем необходимые пояснения, касающиеся терминов, используемых в статье, включая основной термин - *выделенное электронное состояние* атома железа в металлической фазе.

Традиционно в расчётах зонной структуры твёрдых тел под состояниями коллективизированных электронов понимаются одночастичные состояния с заданными значениями импульса, энергии и проекции спина.

Под «*выделенными электронными состояниями*» в модели ВЭС понимаются *многоэлектронные* состояния атомов железа в его металлических фазах. Преимущество такого описания состоит в том, что локальные внутриатомные корреляции 3d-электронов, обусловленные, в первую очередь, хундовским обменом, закладываются в *многоэлектронные* состояния изначально (a priori). Прилагательное *выделенные* указывает на тот факт, что число *многоэлектронных* состояний в модели ВЭС для простоты ограничивается двумя. Отметим, что выделенные электронные состояния считаются в ВЭС инвариантными, независимыми от симметрии кристаллической решётки железа.

Дополнительно в работе используется представление о «*решёточных*» (многоатомных) электронных состояниях, под которыми понимаются специфические

суперпозиции выделенных электронных состояний всех атомов, находящихся в некоторой локальной области кристалла. Преимуществом, получаемым при вводе в рассмотрение “*решётчных*” состояний, является то, что они выбираются с учётом симметрии кристалла и в очень наглядной форме позволяют учесть нелокальные, междуузельные корреляции выделенных многоэлектронных состояний соседних атомов железа.

С учётом сказанного, уточним и расширим основные положения модели ВЭС, изложенные ранее [1].

### 2.1 Основные положения модели ВЭС

Электронное строение всех металлических фаз железа ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ) описывается с помощью двух выделенных универсальных многоэлектронных состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$  (или  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ ) [1,7].

В качестве выделенного многоэлектронного состояния  $|1\rangle$  (немагнитное, “связующее” состояние атома железа) выбрано состояние атома железа в ГПУ  $\epsilon$ -фазе (стабильной при  $P \geq P_{\alpha \rightarrow \epsilon} \sim 10 \dots 14$  ГПа) [8]. Известно, что эта фаза является немагнитной, и атомы в ней имеют нулевой магнитный момент,  $\mu_1 = 0$ . Конфигурацию состояния  $|1\rangle$  условно запишем как  $3d^6 4s^2$ . Возможно, она отличается от указанной, но здесь существенно только то, что она содержит три пары  $3d (\downarrow\uparrow)$  связующих электронов. В этой конфигурации отсутствует локальный магнитный момент. Полный спин выделенного электронного состояния  $|1\rangle$  равен  $S_1 = 0$ .

За выделенное многоэлектронное состояние  $|2\rangle$  (“магнитное” состояние) принимается состояние с локальным атомным магнитным моментом  $\mu_2 = 2,8$   $\mu_B$ . Важно подчеркнуть следующий экспериментальный факт. Ни в одной металлической фазе чистого железа атомный магнитный момент не достигает этого значения, и, значит, ни одна из фаз чистого железа не состоит из одних атомов, находящихся в состоянии  $Fe_2$ . Моментом  $\mu_2 = 2,8$   $\mu_B$  атомы железа обладают только в сплавах Fe с Ni и Co с большим содержанием второго компонента, а также в некоторых других сплавах [7].

Электронная конфигурация состояния  $|2\rangle$  с большой степенью вероятности представляет собой конфигурацию  $3d^7 4s^1$ . В состоянии  $|2\rangle$  атом железа имеет три “магнитных” d-электрона, спины которых выстроены параллельно, благодаря локальному, внутриатомному хундовскому обмену. Значение полного спина выделенного электронного состояния  $|2\rangle$  равно  $S_2 = 3/2$ . Оставшиеся четыре d-электрона атома образуют две пары  $3d (\downarrow\uparrow)$  связующих электронов.

Произвольное многоэлектронное состояние атома железа в любой металлической фазе является суперпозицией двух выделенных состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$

$$Fe^k = C_1^k \cdot |1\rangle + C_2^k \cdot |2\rangle \quad (1)$$

где индекс  $k$  обозначает фазу железа,  $k = \alpha, \gamma, \delta, \varepsilon$ ;

$C_1^k$  и  $C_2^k$  - амплитуды вероятности нахождения атомов в выделенных состояниях  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ . Структура фаз различается значениями  $C_1^k, C_2^k$  и видом суперпозиции (1).

Состояния  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  являются ортогональными друг другу

$$\langle 1|2\rangle = 0 \quad (2)$$

в том смысле, что, как описано выше, они максимально различаются по своим свойствам - состояние  $|1\rangle$  является “связующим” со спином  $S_1 = 0$ , а состояние  $|2\rangle$  - “магнитным” со спином  $S_2 = 3/2$ .

Основные параметры состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ , в качестве которых выбраны локальный магнитный момент атома  $\mu_{ат}$ , атомный объём  $V_{ат}$  (объём, приходящийся на один атом железа в решётке фазы) и изомерный сдвиг  $\delta_{Fe^{57}}$  ядра изотопа железа  $Fe^{57}$  [7], приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  при  $T = T_{комн}$  [7]

Состояние	Тип магнитного упорядочения	$\mu_{Fe}, \mu_B$	$\delta, \text{мм/с}$	$V_{Fe}, \text{Å}^3$	$a^{\gamma**}, \text{Å}$	$a^{\alpha**}, \text{Å}$
$ 1\rangle$	НМ*	0	-0,15	11,15	3,546	2,815
$ 2\rangle$	ФМ	2,8	0,05	12,00	3,634	2,884

\* НМ - немагнитный

\*\*  $a^\gamma, a^\alpha$  - постоянная \*решетки  $\gamma$  и  $\alpha$  фаз.

Отметим важное обстоятельство. Атомный объём  $V_2$  состояния  $|2\rangle$ , имеющего большой локальный атомный момент  $\mu_2$ , значительно превосходит атомный объём  $V_1$  состояния  $|1\rangle$  с нулевым моментом. Другими словами, значение атомного объёма атома железа прямо коррелирует с его локальным моментом. Данное обстоятельство имеет решающее значение для магнитообъёмного эффекта железа и его сплавов, рассмотренного в работах [7, 9].

Из (1) и (2) следует, что значение физической величины  $\Phi$  в фазе  $k$  можно записать так

$$\Phi^k = f_1^k \cdot \Phi_1 + f_2^k \cdot \Phi_2 \quad (3)$$

где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  - значения этой физической величины в состояниях  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ , а

$$f_1^k = |C_1^k|^2, \quad f_2^k = |C_2^k|^2 \quad (4)$$

- веса или вероятности нахождения состояния  $Fe^k$  в состояниях  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ .

Для  $\alpha$ -Fe соотношение (3) переписывается в виде:

$$\Phi^\alpha = f_1^\alpha \cdot \Phi_1 + f_2^\alpha \cdot \Phi_2 \quad (5)$$

Центральной идеей модели ВЭС применительно к ОЦК  $\alpha$ -фазе железа является следующее предположение, сформулированное ранее в [1,7]. В этой фазе для весов  $f_1^\alpha, f_2^\alpha$  в широких диапазонах изменения давления и температуры ( $0 \leq P < P_{\alpha \rightarrow \epsilon}, 0 \leq T < T_c$ ) выполняются строгие равенства:

$$f_1^\alpha = 0,25 = 1/4; \quad f_2^\alpha = 0,75 = 3/4 \quad (6)$$

и соотношение

$$f_2^\alpha : f_1^\alpha = 3 : 1 \quad (7)$$

Ниже показано, что из выражения (7) вытекает много важных и неожиданных следствий.

## 2.2. Геометрические аспекты ОЦК решётки Fe

Выражение (7) для весов  $f_1^\alpha, f_2^\alpha$  прямо указывает на возможность упорядоченного расположения атомов железа в выделенных состояниях  $Fe_1$  и  $Fe_2$  в узлах ОЦК решётки, т.е. на возможность образования в ней “сверхрешётки”  $Fe_2^3Fe_1$ , имеющей структуру  $DO_3$ .

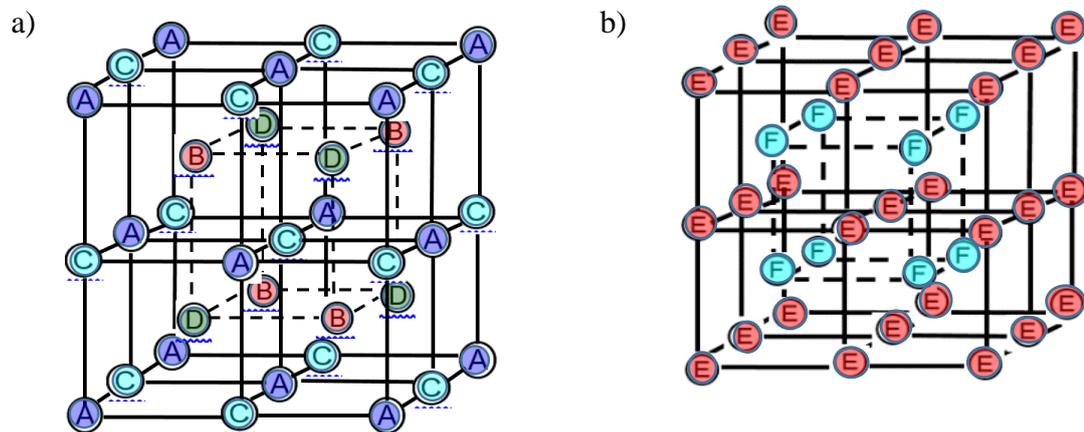


Рисунок 1 – Распределение узлов решётки ОЦК

- а) по узлам 4-х ГЦК подрешёток (А, В, С, D),
- б) по узлам 2-х ПК подрешёток (Е, F).

Как известно, кристаллическую ОЦК решётку можно представить в виде четырёх взаимопроникающих ГЦК подрешёток, узлы которых обозначены на рис.1 а) буквами А, В, С, D, или в виде двух взаимопроникающих простых кубических (ПК) подрешёток, узлы которых обозначены на рис.1 б) буквами Е и F.

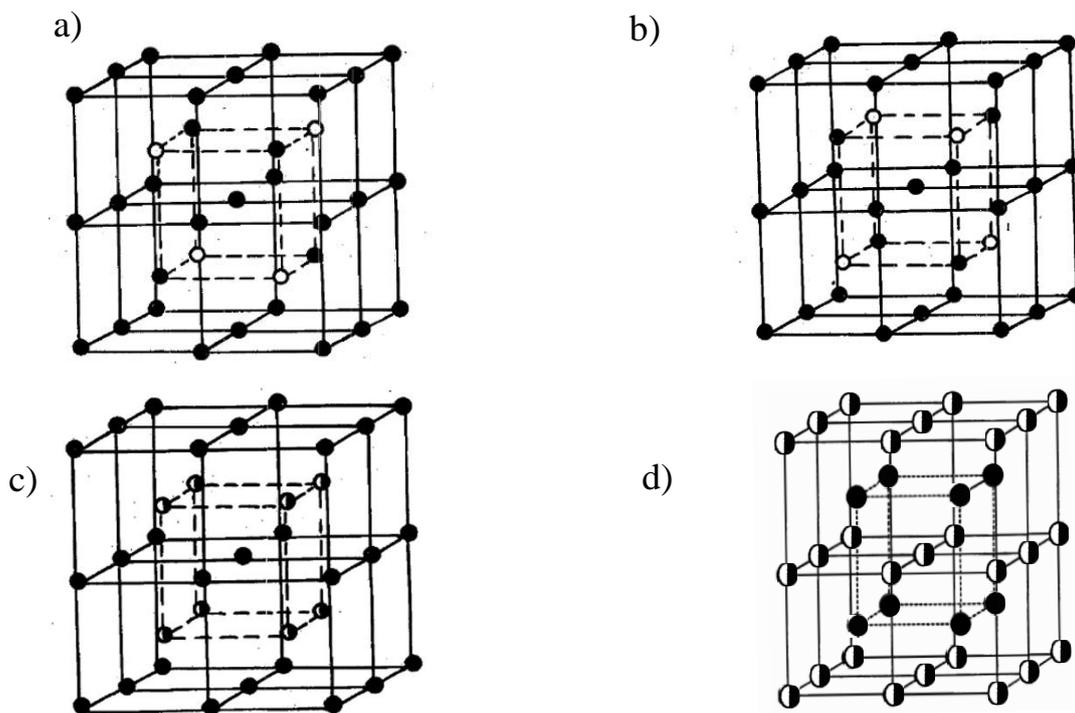


Рисунок 2 – а), b) Два варианта “сверхрешётки”  $Fe_2^3Fe_1$  (структура  $DO_3$ );

с), d) два варианта “сверхрешётки”  $Fe_2Fe_{1,5}$  (структура B2).

○ –  $Fe_1$ ,      ● –  $Fe_2$ ,      ◐ –  $Fe_{1,5}$  (см. формулы (8), (10), (11)).

Введём несколько новых обозначений. Атомы железа в состояниях  $Fe_1$  и  $Fe_2$  могут быть расположены по узлам ГЦК подрешёток ОЦК решётки различными способами. Например, так (рис.2 а): в узлах подрешётки В располагаются атомы  $Fe_1$ , а в узлах трёх других подрешёток (А, С, D) – атомы  $Fe_2$ . Назовём такое расположение атомов железа “решёточным” состоянием (далее - *вариантом*)  $|B\rangle$  “сверхрешётки”  $Fe_2^3Fe_1$  (по букве В, обозначающей подрешётку, в узлах которой находятся атомы  $Fe_1$ ).

Сразу оговоримся, что такое расположение атомов железа по узлам подрешёток является очень кратковременным. Оно существует в течение некоторого малого интервала времени  $\Delta t$  (см. пункт 2.3) и при этом реализуется не во всём кристалле, а лишь, в некоторой его локальной части  $\Delta V$ .

Из соображений симметрии следует, что кроме варианта  $|B\rangle$  существуют ещё три варианта упорядоченного расположения атомов  $Fe_1$  и  $Fe_2$  по узлам “сверхрешётки”  $Fe_2^3Fe_1$  - вариант  $|D\rangle$  (рис.2 b) и варианты  $|A\rangle$  и  $|C\rangle$ ). Также из соображений симметрии очевидно, что средние значения интервалов времени, в течении которых реализуются варианты  $|A\rangle$ ,  $|B\rangle$ ,  $|C\rangle$  и  $|D\rangle$ , одинаковы.

Введём ещё одно важное определение. Обозначим символом  $Fe_{1,5}$  одноатомное многоэлектронное состояние, “промежуточное” между выделенными состояниями  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$

$$\text{Fe}_{1,5} = (1/\sqrt{2})\langle (|1\rangle + |2\rangle) \rangle_{\Delta t} \quad (8a)$$

где угловые скобки  $\langle \rangle_{\Delta t}$  указывают на то, что заключённая в них величина усредняется по интервалу времени  $\Delta t$ . Из выражения (8a) следует, что магнитный момент атома железа в “промежуточном” состоянии  $\text{Fe}_{1,5}$  равен

$$\mu_{1,5} = \frac{1}{2} \mu_2 = 1,4 \mu_B \quad (8б)$$

Далее, обозначим символами  $|E\rangle$  и  $|F\rangle$  варианты “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2\text{Fe}_{1,5}$  со структурой B2 по букве той простой кубической подрешётки, E или F, в узлах которой находятся атомы железа в “промежуточном” состоянии  $\text{Fe}_{1,5}$ .

### 2.3. Скоррелированный междуузельный обмен состояниями $\text{Fe}_1 \rightleftharpoons \text{Fe}_2$ в ОЦК решётке железа

Обозначим символом  $|I\rangle$  основное по энергии “решёточное” состояние ОЦК решётки железа. В отличие от одноатомных многоэлектронных выделенных состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ , состояние  $|I\rangle$  представляет собой многоатомную суперпозицию одинаковых “одноузельных” состояний  $\text{Fe}^\alpha$  атомов железа, находящихся в узлах ОЦК решётки некоторой локальной части кристалла. Несложно показать [7], что состояние  $|I\rangle$  может быть представлено в виде суперпозиции 4-х вариантов “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2^3\text{Fe}_1$

$$|I\rangle = \frac{1}{2} (|A\rangle + |C\rangle + |B\rangle + |D\rangle) = \quad (9a)$$

$$= \frac{1}{2} (|A\rangle + |C\rangle) + \frac{1}{2} (|B\rangle + |D\rangle) \quad (9б)$$

или 2-х вариантов “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2\text{Fe}_{1,5}$

$$|I\rangle = (1/\sqrt{2})(|E\rangle + |F\rangle) \quad (9в)$$

Варианты  $|E\rangle$  и  $|F\rangle$  “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2\text{Fe}_{1,5}$  (структура B2, рис.2 d), c)) выражаются через варианты  $|A\rangle$ ,  $|B\rangle$ ,  $|C\rangle$ ,  $|D\rangle$  “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2^3\text{Fe}_1$  (структура DO<sub>3</sub>, рис.2 a), b)) следующим образом:

$$|E\rangle = (1/\sqrt{2})(|A\rangle + |C\rangle) \quad (10a)$$

$$|F\rangle = (1/\sqrt{2})(|B\rangle + |D\rangle) \quad (10б)$$

Из (10a), (10б) следует, что 4 варианта “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2^3\text{Fe}_1$  разбиваются естественным образом на две пары вариантов - ( $|A\rangle$ ,  $|C\rangle$ ) и ( $|B\rangle$ ,  $|D\rangle$ ). Назовём варианты  $|A\rangle$  и  $|C\rangle$  (и подрешётки A и C) взаимно сопряжёнными друг другу. Варианты  $|B\rangle$  и  $|D\rangle$  (и подрешётки B и D) также являются взаимно сопряжёнными. Наконец, варианты  $|E\rangle$  и  $|F\rangle$  “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2\text{Fe}_{1,5}$  (и подрешётки E и F) сопряжены друг другу.

Отметим, что ближайшие друг к другу атомы железа, находящиеся в узлах подрешёток A и C, являются атомами вторых ближайших соседей (2 б.с.) ОЦК решётки. Это справедливо и для ближайших друг к другу атомов железа, находящихся в узлах

подрешёток В и D. Влияние взаимодействия атомов 2 б.с. на свойства  $\alpha$  - фазы железа обсуждается ниже.

Теперь, основываясь на формулах (9а) – (9в), (10а), (10б), опишем картину электронного строения  $\alpha$ -Fe. Варианты  $|E\rangle$  и  $|F\rangle$  “сверхрешётки”  $Fe_2Fe_{1,5}$  являются результатом динамического скоррелированного междуузельного (нелокального) обмена выделенными состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , происходящего между атомами 2-х б.с., находящихся в узлах пар сопряжённых подрешёток (А, С) и (В, D), соответственно.

Пусть в некоторый малый промежуток времени  $\Delta t_1$  в кристалле железа реализуется вариант  $|E\rangle$  “сверхрешётки”  $Fe_2Fe_{1,5}$ . В течение этого промежутка времени состояния атомов железа в узлах пары сопряжённых подрешёток В и D остаются неизменными (состояния  $Fe_2$ ), в то время как в узлах другой пары сопряжённых подрешёток (А и С) происходит процесс скоррелированного изменения состояний атомов железа (рис. 2 с), 2 d)). С учётом 10(а) отразим такой процесс записью:

$$(Fe_2^A Fe_1^C \rightleftharpoons Fe_1^A Fe_2^C) Fe_2^B Fe_2^D \rangle_{\Delta t_1} \quad (11a)$$

где символ “ $\rightleftharpoons$ ” как раз обозначает скоррелированный процесс обмена выделенными электронными состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$  между узлами сопряжённых подрешёток А и С. В результате обменного процесса (11а) любой атом железа из подрешёток А и С будет находиться в состояниях  $Fe_1$  и  $Fe_2$  в течение одинаковых промежутков времени, равных  $(1/2)\Delta t_1$ . Тогда, после усреднения по интервалу времени  $\Delta t_1$ , выражение (11а) можно переписать так

$$\langle Fe_{1,5}^{A,C} Fe_2^{B,D} \rangle_{\Delta t_1} \rightarrow \langle Fe_{1,5}^E Fe_2^F \rangle_{\Delta t_1} \quad (11б)$$

где символы  $Fe_{1,5}^{A,C}$  и  $Fe_2^{B,D}$  обозначают, что на временах  $t \approx \Delta t_1$  в узлах ГЦК подрешёток А и С атомы железа будут иметь промежуточное состояние  $Fe_{1,5}$ , а в узлах ГЦК подрешёток В и D - состояние  $Fe_2$ .

При этом усредненные по промежутку времени  $\Delta t_1$  значения весов для атомов железа, находящихся в различных ГЦК подрешётках ОЦК решётки, будут равны

$$\langle f_1^A \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_1^C \rangle_{\Delta t_1} = 1/2; \langle f_2^A \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_2^C \rangle_{\Delta t_1} = 1/2 \quad (12a)$$

$$\langle f_1^B \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_1^D \rangle_{\Delta t_1} = 0; \langle f_2^B \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_2^D \rangle_{\Delta t_1} = 1 \quad (12б)$$

Поскольку в ОЦК структуре решёточные состояния  $|E\rangle$  и  $|F\rangle$  являются эквивалентными, в другой промежуток времени  $\Delta t_1$  процесс обмена состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$  будет протекать между узлами сопряжённых подрешёток В и D, в то время как в сопряжённых подрешётках А и С атомы будут находиться в состоянии  $Fe_2$

$$\langle Fe_2^A Fe_2^C (Fe_2^B Fe_1^D \rightleftharpoons Fe_1^B Fe_2^D) \rangle_{\Delta t_1} \quad (13a)$$

$$\langle \text{Fe}_2^{\text{A,C}} \text{Fe}_{1,5}^{\text{B,D}} \rangle_{\Delta t_1} \rightarrow \langle \text{Fe}_2^{\text{E}} \text{Fe}_{1,5}^{\text{F}} \rangle_{\Delta t_1} \quad (136)$$

Средние по этому интервалу времени  $\Delta t_1$  значения весов будут равны

$$\langle f_1^{\text{A}} \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_1^{\text{C}} \rangle_{\Delta t_1} = 0; \langle f_2^{\text{A}} \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_2^{\text{C}} \rangle_{\Delta t_1} = 1 \quad (14a)$$

$$\langle f_1^{\text{B}} \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_1^{\text{D}} \rangle_{\Delta t_1} = 1/2; \langle f_2^{\text{B}} \rangle_{\Delta t_1} = \langle f_2^{\text{D}} \rangle_{\Delta t_1} = 1/2 \quad (146)$$

Предположим, теперь в общем случае, что переход от решёточного состояния  $|E\rangle$  ( $\text{Fe}_{1,5}^{\text{E}} \text{Fe}_2^{\text{F}}$ ) к решёточному состоянию  $|F\rangle$  ( $\text{Fe}_2^{\text{E}} \text{Fe}_{1,5}^{\text{F}}$ ) происходит в течение интервала времени с другой длительностью  $\Delta t_2$ . Тогда, обращаясь к формулам (9a) – (9в), получаем для основного решёточного состояния  $\alpha$ -фазы  $|I\rangle$ , которое представляет собой многоатомную суперпозицию одноузельных электронных состояний  $\text{Fe}^\alpha$  в ОЦК решётке, следующую запись:

$$|I\rangle = (1/\sqrt{2}) \langle \text{Fe}_{1,5}^{\text{E}} \text{Fe}_2^{\text{F}} + \text{Fe}_2^{\text{E}} \text{Fe}_{1,5}^{\text{F}} \rangle_{\Delta t_2} \quad (15)$$

Полный интервал времени, в течение которого протекают все описанные выше обменные процессы, равен

$$\Delta t = 2 \cdot \Delta t_1 + \Delta t_2 \quad (16)$$

В качестве оценки этого интервала примем значение  $\Delta t = 2,3 \cdot 10^{-14}$  с, полученное в [7]. Данная оценка представляется приемлемой, поскольку значение  $\Delta t$  лежит выше характерного времени перескоков отдельных d-электронов между соседними атомами,  $\sim (10^{-16} \dots 10^{-15})$  с, и ниже времён, характерных для фононных и магнанных возбуждений в  $\alpha$ -Fe,  $\sim (10^{-13} - 10^{-12})$  с.

Усреднение по времени  $t \geq \Delta t$  даёт для всех атомов железа в ОЦК решётке  $\alpha$ -фазы одинаковые веса:

$$\langle f_1^{\text{A}} \rangle_{\Delta t} = \langle f_1^{\text{B}} \rangle_{\Delta t} = \langle f_1^{\text{C}} \rangle_{\Delta t} = \langle f_1^{\text{D}} \rangle_{\Delta t} = 1/4, \quad \langle f_2^{\text{A}} \rangle_{\Delta t} = \langle f_2^{\text{B}} \rangle_{\Delta t} = \langle f_2^{\text{C}} \rangle_{\Delta t} = \langle f_2^{\text{D}} \rangle_{\Delta t} = 3/4 \quad (17)$$

а также очень необычное символическое выражение для одноузельного электронного состояния  $\text{Fe}^\alpha$  атома железа в  $\alpha$ -фазе

$$\begin{aligned} & \langle (\text{Fe}_2^{\text{A}} \text{Fe}_1^{\text{C}} \rightleftharpoons \text{Fe}_1^{\text{A}} \text{Fe}_2^{\text{C}}) \text{Fe}_2^{\text{B}} \text{Fe}_2^{\text{D}} \rightleftharpoons \text{Fe}_2^{\text{A}} \text{Fe}_2^{\text{C}} (\text{Fe}_2^{\text{B}} \text{Fe}_1^{\text{D}} \rightleftharpoons \text{Fe}_1^{\text{B}} \text{Fe}_2^{\text{D}}) \rangle_{\Delta t} = \\ & = \langle \langle (\text{Fe}_2^{\text{A}} \text{Fe}_1^{\text{C}} \rightleftharpoons \text{Fe}_1^{\text{A}} \text{Fe}_2^{\text{C}}) \text{Fe}_2^{\text{B}} \text{Fe}_2^{\text{D}} \rangle_{\Delta t_1} \rightleftharpoons \langle \text{Fe}_2^{\text{A}} \text{Fe}_2^{\text{C}} (\text{Fe}_2^{\text{B}} \text{Fe}_1^{\text{D}} \rightleftharpoons \text{Fe}_1^{\text{B}} \text{Fe}_2^{\text{D}}) \rangle_{\Delta t_1} \rangle_{\Delta t_2} \quad (18) \end{aligned}$$

Напомним, что символ “ $\rightleftharpoons$ ” обозначает процесс скоррелированного нелокального (междуузельного) обмена выделенными электронными состояниями  $\text{Fe}_1$  и  $\text{Fe}_2$  между атомами железа, принадлежащими разным вариантам “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2^3 \text{Fe}_1$ .

### 3. Экспериментальное обоснование предлагаемой картины электронного строения ОЦК $\alpha$ - фазы Fe

Выше получена новая картина электронного строения ОЦК  $\alpha$ - фазы Fe, представляющаяся, на первый взгляд, очень необычной. Однако, как показано ниже, с её помощью удаётся объяснить многие до сих пор непонятные или не вполне понятные экспериментальные факты физики железа.

#### 3.1. Величина атомного магнитного момента $\alpha$ -фазы Fe.

Применим модель ВЭС для определения магнитного момента  $\alpha$ - фазы железа. С помощью формулы (5) получаем для него значение

$$\mu^\alpha = f_2^\alpha \cdot \mu_2 = \frac{3}{4} \cdot \mu_2 = 2,1 \mu_B \quad (19)$$

достаточно близкое к наблюдаемой величине  $\mu^\alpha \approx 2,2 \mu_B$  [1,7]. Отсюда следует, что магнитный момент  $\mu^\alpha$  представляет собой не самостоятельный, независимый атрибут ОЦК  $\alpha$ - Fe , а является производной величиной от магнитного момента выделенного многоэлектронного состояния  $Fe_2$ .

#### 3.2. Упорядоченные сплавы $Fe_3M$ ( $M = Si, Al$ )

На рис. 3 представлена кристаллическая решётка упорядоченных сплавов  $Fe_3M$  ( $M = Si, Al$ ) со структурой  $DO_3$ .

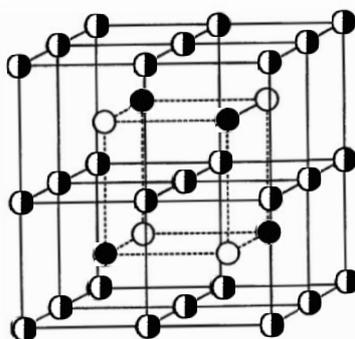


Рисунок 3 – Изображение кристаллической решётки упорядоченного сплава  $Fe_3M$  (структура  $DO_3$ ).

○ - M,   ● - FeI,   ◐ - FeII .

Как упоминалось в п.2.2, эта структура может быть представлена 4-мя ГЦК подрешётками, вставленными друг в друга. Известно, что атомы железа в этих сплавах делятся на два разных сорта: атомы FeI, расположенные в узлах ГЦК подрешётки В, и атомы FeII, расположенные в узлах двух сопряженных ГЦК подрешёток А, С. Атомы М расположены в узлах ГЦК подрешётки D, сопряженной подрешётке В. Атомы FeI имеют кубическое локальное окружение, в их 1-й координационной сфере (1 к.с.) находятся 8

атомов FeII; атомы FeII имеют тетраэдрическое окружение, в их 1-й к.с. находятся 4 атома FeI и 4 атома M.

В таблице 2 приведены данные по экспериментальным значениям локальных магнитных моментов (ЛММ) атомов FeI и FeII [10].

Таблица 2

ЛММ в  $\mu_B$  атомов FeI и FeII в сплавах Fe<sub>3</sub>Si, Fe<sub>3</sub>Al со структурой DO<sub>3</sub> [10]

Сплав	$\mu_{A,C}(T=T_{\text{комн}})$	$\mu_B(T=T_{\text{комн}})$	$\mu_{A,C}(T=0\text{K})$	$\mu_B(T=0\text{K})$
Fe <sub>3</sub> Si	$1,20 \pm 0,12$	$2,40 \pm 0,06$	1,29	2,58
Fe <sub>3</sub> Al	$1,50 \pm 0,10$	$2,18 \pm 0,10$	1,66	2,41

Видно, что моменты двух сортов атомов железа сильно различаются по величине. Отметим, что ранее значение магнитного момента атома FeI часто сравнивали с моментом атома железа в  $\alpha$  - фазе,  $\mu^\alpha \approx 2,2 \mu_B$ , аргументируя это тем, что локальное окружение обоих типов атомов (FeI и Fe $^\alpha$ ) в пределах 1-й к.с. является однотипным (кубическим).

В рамках модели ВЭС сопоставление атомов FeI и Fe $^\alpha$  представляется некорректным. Действительно, сравнивая расположения атомов железа на рис.2 d) и на рис.3, можно заметить следующую особенность. Атомы сорта FeII в структуре DO<sub>3</sub> сплава Fe<sub>3</sub>M занимают положения, эквивалентные положениям, которые в “сверхрешётке” Fe<sub>2</sub><sup>3</sup>Fe<sub>1</sub> ОЦК  $\alpha$ -Fe занимают атомы, находящиеся в суперпозиционном состоянии Fe<sub>1,5</sub>. Т.е. электронное состояние атомов FeII, расположенных в узлах сопряжённых ГЦК подрешёток А, С упорядоченного сплава Fe<sub>3</sub>M, “генетически связано” с электронным состоянием Fe<sub>1,5</sub> атомов железа (формула (8)), расположенных в узлах той же пары сопряжённых ГЦК подрешёток А, С в  $\alpha$ -фазе чистого железа. Действительно, из рассмотрения табл.2 следует, что магнитный момент атома FeII в сплавах Fe<sub>3</sub>Si, Fe<sub>3</sub>Al неплохо согласуется с магнитным моментом  $\mu_{1,5} = 1,4 \mu_B$  атома железа в суперпозиционном состоянии Fe<sub>1,5</sub> (см. (8б)).

С другой стороны, атомы сорта M в упорядоченном сплаве Fe<sub>3</sub>M занимают в ГЦК подрешётке D узлы, которые в  $\alpha$ -фазе железа занимали атомы Fe<sub>2</sub>. Тогда состояние атомов FeI в подрешётке B, сопряжённой подрешётке D, в сплаве Fe<sub>3</sub>M должно быть связано с выделенным электронным состоянием Fe<sub>2</sub>, а не с “усреднённым” одноузельным состоянием Fe $^\alpha$ , в котором находятся атомы в  $\alpha$ -фазе чистого железа. Сравнивая моменты атомов FeI и Fe<sub>2</sub>, видим, что, хотя для обоих сплавов значение  $\mu_{\text{FeI}}$  не достигает значения  $\mu_2 = 2,8 \mu_B$ , тем не менее при T = 0 K оно равно 2,41  $\mu_B$  в сплаве Fe<sub>3</sub>Al и 2,58  $\mu_B$  в сплаве Fe<sub>3</sub>Si и, таким образом, существенно превышает значение момента  $\alpha$ -фазы,  $\mu^\alpha \approx 2,2 \mu_B$ .

Некоторое уменьшение момента атомов FeI, по сравнению со значением  $\mu_2$ , вызвано, скорее всего, влиянием его 2-х б.с. - атомов М.

Таким образом, можно заключить, что в соединениях Fe<sub>3</sub>М между атомами 2 б.с. железа, находящимися в узлах сопряжённых ГЦК подрешёток А, С, продолжает происходить процесс скоррелированного обмена выделенными состояниями Fe<sub>1</sub> и Fe<sub>2</sub>



аналогичный процессу (11a), происходящему в ОЦК  $\alpha$ -Fe. Но, в отличие от чистого  $\alpha$ -Fe, в котором процесс (20) “скрыт от глаз”, в сплавах Fe<sub>3</sub>М результат этого процесса - нахождение атомов железа в узлах сопряжённых ГЦК подрешёток А, С в суперпозиционном состоянии Fe<sub>1,5</sub> (или состоянии FeII) - становится фиксированным во времени и доступным для непосредственного наблюдения в эксперименте.

Другими словами, можно констатировать, что при образовании упорядоченного сплава Fe<sub>3</sub>М со структурой DO<sub>3</sub> роль элементов М (Si, Al) сводится к тому, чтобы зафиксировать атомы железа, находящиеся в узлах ГЦК подрешётки В, в состоянии FeI, близком к состоянию Fe<sub>2</sub>, и визуализировать в виде состояния FeII результат процесса обмена состояниями Fe<sub>1</sub> и Fe<sub>2</sub> (формула (20)) между атомами, находящимися в узлах сопряжённых ГЦК подрешёток А, С.

Полученное объяснение происхождения атомов FeI и FeII в сплавах Fe<sub>3</sub>М свидетельствует в пользу полученной выше картины электронного строения ОЦК  $\alpha$ -фазы чистого Fe. Можно надеяться, что дополнительные расчёты зонной структуры и новые эксперименты подтвердят этот результат. Было бы очень желательно исследовать магнитные свойства данных сплавов при высоких давлениях. При этом интересно выяснить, насколько сильно будут отличаться значения давления, соответствующие коллапсу магнитных моментов железа в сплавах Fe<sub>3</sub>М от соответствующих давлений в чистом ОЦК Fe, лежащих в диапазоне  $P = (10...14)$  ГПа. Также интересно, какую кристаллическую решётку будет иметь соединение Fe<sub>3</sub>М после коллапса магнетизма.

### 3.3. Анализ результатов исследования $\alpha$ -Fe методом точного EXAFS

В этом подразделе остановимся на очень необычных результатах недавнего EXAFS исследования  $\alpha$ -Fe, изложенных в статье [6]. Напомним, что спектроскопия EXAFS даёт информацию о локальной (в пределах 1-й и 2-й к.с.) структуре и атомной динамике твёрдых тел. Нельзя удержаться, чтобы не привести ещё одну цитату из [6]: “...Чтобы найти доказательства того, что *основное состояние ОЦК Fe отличается от простой одноузельной ОЦК решётки* (курсив мой - Е.Э.) ... мы исследовали структуру  $\alpha$ -Fe, впервые выполнив точный EXAFS как функцию температуры до 600 К. Мы также выполнили

рентгеновскую дифрактометрию в зависимости от температуры образца.”. С помощью объединения двух этих экспериментальных техник авторы стремились извлечь информацию о локальной колебательной динамике  $\alpha$ -Fe. Опуская тонкие детали проведения эксперимента и обработки данных, сразу перейдём к интересующему нас результату, полученному в [6].

Локальная колебательная динамика во 2-й к.с. продемонстрировала большую анизотропию, в то время как относительные колебания атомов в 1-й к.с. были почти изотропными. Такое поведение относительных колебаний атомов 2-х б.с. является очень необычным. Поясним этот момент. Анизотропия относительных тепловых колебаний атомов в методике EXAFS определяется коэффициентом

$$\gamma = \langle (\Delta u_{\perp})^2 \rangle / \langle (\Delta u_{\parallel})^2 \rangle \quad (21)$$

где символы  $\Delta u_{\perp}$  и  $\Delta u_{\parallel}$  обозначают перпендикулярную и параллельную проекции относительного смещения двух соседних атомов, угловые скобки - усреднение по времени. Проекция  $\Delta u_{\perp}$  берётся относительно линии, соединяющей соседние атомы между собой. В изотропной системе для коэффициента  $\gamma$  выполняется равенство [6]

$$\gamma = 2 \quad (22)$$

И снова цитата из [6]: “Такое (изотропное - Е.Р.) поведение, наблюдаемое во многих материалах, например, в простых кубических одноатомных кристаллах, таких как медь, твердый криптон, германий, а также и в более сложных кристаллах, таких как структуры вюрцита, объясняется *слабой прочностью межатомной связи и малокоррелированным движением центрального атома относительно атомов внешних координационных сфер*” (курсив мой - Е.Э.).

Авторы работы [6] нашли, что в  $\alpha$ -Fe динамика колебаний атомов 2-й к.с. сильно отличается от изотропной. Коэффициент анизотропии для неё примерно равен

$$\gamma \approx 7 \quad (23)$$

Этот результат означает, что в  $\alpha$ -Fe имеет место сильная корреляция колебаний атомов 2-х б.с. относительно друг друга. Посмотрим, как это можно объяснить в рамках модели ВЭС. На рис.4 изображён фрагмент варианта |С> “сверхрешётки”  $\text{Fe}_2^3\text{Fe}_1$ .

Рассмотрим два атома железа - атом 1 и атом 2, соединенные линией связи, выделенной красным цветом. Эти атомы находятся в сопряжённых ГЦК подрешётках (А и С) и в разных состояниях ( $\text{Fe}_2$  и  $\text{Fe}_1$ ), соответственно. Зелёные стрелки показывают смещения ядер атомов или, по крайней мере, d -электронных плотностей атомов в процессе

обмена выделенными электронными состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$ . Когда в течении интервала времени  $\Delta t_1$  атом 1 совершает переход  $Fe_2 \rightarrow Fe_1$ , атом 2 совершает переход  $Fe_1 \rightarrow Fe_2$ .

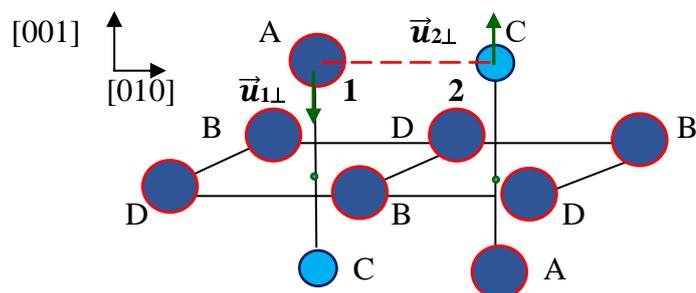


Рисунок 4 – Фрагмент варианта  $|C\rangle$  “сверхрешётки”  $Fe_3Fe_1$ .

Обозначения: А, В, С, D - узлы ГЦК подрешётки ОЦК решётки,  $\text{●}$  - атом  $Fe_2$ ,  $\text{●}$  - атом  $Fe_1$ ,  $\vec{u}_1$ ,  $\vec{u}_2$  - поперечные смещения атомов 1 и 2 относительно штриховой линии, соединяющей центры этих атомов (выделена красным цветом). Маленькие зелёные кружки изображены для наглядности, они обозначают точки пересечения “А - С” линий  $[001]$  с “В, D” плоскостью  $(001)$ .

В течение следующего интервала времени  $\Delta t_1$  атомы 1 и 2 возвращаются в свои исходные выделенные электронные состояния. Важно отметить, что изменение состояний атомов 1 и 2, а, значит, и движение их электронных плотностей в любой момент времени направлены противоположно, т.е. фазы колебаний электронных состояний атомов всегда сдвинуты строго на 180 градусов. Следовательно, перпендикулярная проекция относительного смещения двух соседних атомов  $\Delta u_{\perp}$  (см. (21)) в *любой момент времени* имеет максимально возможную величину, что и объясняет большое значение анизотропии колебаний в (23).

Данное объяснение является качественным, поскольку в реальности атомы участвуют не в одном, а в двух независимых видах движения - скоррелированном противофазном изменении своих электронных состояний и обычном хаотическом тепловом движении. Более строгий анализ результатов статьи [6] находится сейчас в работе и будет опубликован после её завершения.

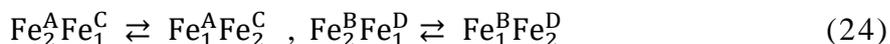
В заключение этого раздела можно констатировать, что наглядное объяснение в рамках модели ВЭС большой анизотропии локальных колебаний 2-х б.с. атомов железа, найденной методом точного EXAFS, является ещё одним веским аргументом в пользу данной модели. Кроме того, оно подтверждает важную роль, которую играет взаимодействие атомов железа с их 2-ми б.с. в ОЦК  $\alpha$ -фазе.

#### 4. Обсуждение результатов

Полученные в рамках модели ВЭС результаты, оказались очень обнадеживающими. Перечислим их.

1. Прежде всего, модель даёт качественный ответ на вопрос, который многие годы волнует исследователей: “Почему у Fe при низких температурах стабильной является не фаза с плотноупакованной ГПУ решеткой, как у Ru и Os, его соседей снизу по V группе периодической таблицы Менделеева, а менее плотная ОЦК  $\alpha$ -фаза?”. В предложенном модельном подходе однородная “одноузельная” ОЦК решётка  $\alpha$ -фазы, все атомы которой находятся в одном и том же электронном состоянии  $Fe^\alpha$ , (раздел 2, формула (18)) является результатом “динамической стабилизации”, т.е. динамических процессов скоррелированных обменов выделенными состояниями,  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , между атомами, расположенными в узлах сопряжённых ГЦК подрешёток “сверхрешётки”  $Fe_2^3Fe_1$ . Данные обменные процессы происходят в интервалах времени  $\Delta t \sim (10^{-14}-10^{-13})$  с и в локальных объёмах решётки. “Одноузельная” ОЦК решётка появляется на временах  $t > 10^{-13} \text{с} > \Delta t$  в результате усреднения по времени протекания указанных обменных процессов.

Подчеркнём, что главную роль в стабилизации  $\alpha$ - фазы Fe играют процессы динамического обмена состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$  между атомами 2-х б.с., находящихся в сопряжённых ГЦК подрешётках



2. Далее, в модели ВЭС получен новый результат. Магнитный момент  $\mu^\alpha$ , который принято считать независимым атрибутом  $\alpha$ -фазы Fe, на самом деле не является таковым. Согласно (19) он оказывается жёстко связанным с магнитным моментом  $\mu_2 = 2,8 \mu_B$  выделенного состояния  $Fe_2$ . Этот результат подчёркивает, что именно магнитный момент  $\mu_2$ , а не момент  $\mu^\alpha$ , является исходным, первичным моментом атома в металлических фазах Fe. Насколько известно, данный факт, касающийся природы магнитного момента  $\mu^\alpha$ , ранее не отмечался.

3. Следующим новым результатом является то, что электронное строение упорядоченных сплавов  $Fe_3M$  ( $M = Si, Al$ ), имеющих структуру DO<sub>3</sub>, находится в очень тесной связи с электронным строением  $\alpha$ - Fe. Атомы FeI, расположенные в узлах ГЦК подрешётки B, “генетически связаны” с атомами  $\alpha$ - Fe, находящимися в состоянии  $Fe_2$ , а атомы FeII, расположенные в сопряжённых ГЦК подрешётках A и C сплавов  $Fe_3M$  - с атомами  $Fe_{1,5}$ , находящимися в узлах соответствующих подрешёток ОЦК  $\alpha$ - Fe. В противоположность тому, что атомы  $\alpha$ - Fe находятся в состояниях  $Fe_2$  и  $Fe_{1,5}$  очень кратковременно ( $\sim 10^{-14}$ с), а потом обмениваются этими состояниями, в сплавах  $Fe_3M$  одни

атомы железа постоянно находятся в состоянии FeI (близком к состоянию  $Fe_2$ ), в то время как другие атомы железа - в состоянии FeII (практически совпадающем с суперпозиционным состоянием  $Fe_{1,5}$ ).

4. Следующий новый результат модели ВЭС - простое и наглядное объяснение аномально большой анизотропии локальных колебаний 2-х б.с. атомов железа, обнаруженной в  $\alpha$ -Fe методом точного EXAFS [6]. В п.3.3 показано (см. рис. 4), что в любой момент времени движения атомов 2-х б.с., происходящие в перпендикулярном направлении к линии их связи, являются полностью коррелированными. Эти атомы колеблются во взаимно противоположных направлениях, что и приводит к большой анизотропии локальной колебательной динамики в  $\alpha$ -Fe.

Подводя итоги, отметим, что каждый из перечисленных выше новых результатов, взятый сам по себе, может не выглядеть абсолютно убедительным свидетельством в пользу модели ВЭС, но собранные воедино они производят сильное впечатление и укрепляют уверенность в справедливости основных положений данной модели. Другими словами, красота проявившейся картины электронного строения ОЦК Fe (формула (18)), а также простота и наглядность объяснения различных свойств железа, не имевших до сих пор ясного истолкования, служит очень впечатляющей иллюстрацией больших возможностей модели ВЭС.

Эти возможности, не в последнюю очередь, связаны с уже упоминавшимся достоинством модели. В ней корреляции d-электронов, играющие основополагающую роль в физике железа [2,4], естественным образом разбиваются на две части - локальные, одноузельные (хундовские) и нелокальные (междуузельные). Первые приводят к появлению у атома железа локального магнитного момента  $\mu_2$  и формализуются в модели ВЭС посредством введения в рассмотрение выделенного многоэлектронного состояния  $Fe_2$ . Вторые проявляются в согласованном, скоррелированном обмене выделенными состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$  между атомами разных ГЦК подрешёток ОЦК решётки.

В завершение статьи сформулируем в виде вопросов наиболее важные направления продолжения работы по уточнению и развитию модели ВЭС, вытекающие из результатов, полученных в первых двух работах цикла - статьи [1] и настоящей статьи.

1. Вопрос о природе ферромагнетизма  $\alpha$ -фазы Fe. Ранее в рамках модели ВЭС автором уже высказывалось предположение, что скоррелированный обмен выделенными электронными состояниями между атомами (группами атомов) 2-х б.с., находящихся в сопряжённых ГЦК подрешётках ОЦК решётки (формула (24)), приводит к ферромагнитному упорядочению магнитных моментов  $\alpha$ -Fe [7]. Другими словами, предполагалось, что необходимым условием протекания такого обмена выделенными

состояниями является параллельность спинов атомов железа. Хотя это предположение выглядит почти самоочевидным, оно не является строго теоретически доказанным и требует своего дальнейшего обоснования.

2. Вопрос, связанный с предыдущим. Более детальное исследование роли и вида взаимодействия атомов 2-х б.с. в  $\alpha$ -Fe.

3. Вопрос о размере локальных областей кристаллической решётки, в которых происходят скоррелированные изменения состояний атомов железа, и о характере изменения этого размера с температурой. К этому вопросу примыкает вопрос о ближнем магнитном порядке в парамагнитном  $\alpha$ -Fe.

В настоящее время проводится работа по получению ответов на перечисленные вопросы. Её результаты будут представлены в отдельных публикациях.

Добавим в завершение, что в третьей статье цикла работ представлено полученное в рамках модели ВЭС объяснение объёмного эффекта  $\alpha \rightarrow \epsilon$  фазового превращения [9].

## 5 Выводы

Феноменологическая модель выделенных электронных состояний применена в статье к описанию строения и свойств ОЦК  $\alpha$ -фазы железа. В работе получена новая необычная картина её электронной структуры. Показано, что в стабилизации  $\alpha$ -фазы решающую роль играют нелокальные междуузельные корреляции d-электронов. Конкретно, стабилизация  $\alpha$ -фазы обусловлена процессами динамического скоррелированного обмена выделенными состояниями между атомами 2 б.с., находящимися в сопряжённых ГЦК подрешётках ОЦК решётки. В рамках модели ВЭС даны объяснения нескольких экспериментальных фактов физики железа, не имевших ранее ясного истолкования. Сформулированы направления дальнейшей работы.

Полученные в статье результаты дают основания надеяться, что уточнение и развитие модели ВЭС в указанных направлениях приведёт к полному пониманию природы ферромагнетизма и стабильности ОЦК  $\alpha$ -фазы Fe.

## Литература

1. Е.Р. Эйшинский. Электронное строение металлических фаз железа:  
I. Распространение модели  $2\gamma$  состояний на  $\alpha$ ,  $\epsilon$  и  $\delta$  фазы. [Электронный ресурс]//Труды XVI региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, техники и образования в атомной отрасли» (25 февраля 2022 года), - Новоуральск: Изд-во НТИ НИЯУ МИФИ, 2022. - с.255 (этот сборник). URL:
2. И.А. Абрикосов, А.В. Пономарева, П. Стенег, С.А. Баранникова., Б. Аллинг  
Недавний прогресс в моделировании парамагнитного состояния магнитных

- материалов. [Электронный ресурс] // Журнал “Текущее мнение в области твердого тела и материаловедения” - Том 20 - выпуск 2 - апрель 2016 г., с. 85-106. URL: [https://www.researchgate.net/publication/283195621\\_Recent\\_progress\\_in\\_simulations\\_of\\_the\\_paramagnetic\\_state\\_of\\_magnetic\\_materials](https://www.researchgate.net/publication/283195621_Recent_progress_in_simulations_of_the_paramagnetic_state_of_magnetic_materials)
3. В.Ю. Ирхин. Описание современной модели магнетизма. [Электронный ресурс] //arXiv:2102.08763v1 [cond-mat.str-el] -2021- 79 с. URL: <https://arxiv.org/abs/2102.08763>
  4. И.В. Леонов, А.И. Потеряев, Ю. Н. Горносырев и др. Electronic correlations determine the phase stability of iron up to the melting temperature. [Электронный ресурс] // Scientific Reports - 2014 -volume 4 - Article number: 5585 URL: <https://www.nature.com/articles/srep05585>
  5. Zener C., Elasticity and anelasticity of metals. [Электронный ресурс] //1948 \_URL: <https://www.worldcat.org/title/elasticity-and-anelasticity-of-metals/oclc/1485228>
  6. S. Voccato, A. Sanson, I. Kantor and others. Thermal and magnetic anomalies of  $\alpha$ -iron: An exploration by extended x-ray absorption fine structure spectroscopy and synchrotron x-ray diffraction. [Электронный ресурс] // Journal of Physics Condensed Matter - 2016 – v.28 - № 35. URL: <https://af.booksc.eu/book/60577542/452d26>
  7. Е.Р. Эйшинский. Магнитные и магнитообъемные свойства Fe и Fe-Ni сплавов в модели выделенных состояний атомов железа [Электронный ресурс] // Дис. ... канд. физико-математические науки : 01.04.07. - М.: РГБ, 2006. - (Из фондов Российской государственной библиотеки). URL: <https://www.dissercat.com/content/magnitnye-i-magnitoobemnye-svoistva-fe-i-fe-ni-splavov-v-modeli-vydelennykh-sostoyanii-atomov>
  8. A. Dewaele, C. Denoual, S. Anzellini and others. Mechanism of the  $\alpha$ - $\epsilon$  phase transformation in iron [Электронный ресурс] // Phys. Rev. B - 2015 - v.91, 174105. URL: <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.91.174105>
  9. Е.Р. Эйшинский. Электронное строение металлических фаз железа: III. Объемный эффект  $\alpha \rightarrow \epsilon$  фазового превращения. [Электронный ресурс]//Труды XVI региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, техники и образования в атомной отрасли» (25 февраля 2022 года), - Новоуральск: Изд-во НТИ НИЯУ МИФИ, 2022. - с.257 (этот сборник). URL:
  10. J. Kudrnovský V. Drchal Lars Bergqvist and others. Unified approach to electronic, thermodynamical, and transport properties of Fe<sub>3</sub>Si and Fe<sub>3</sub>Al alloys. [Электронный ресурс] // Physical Review B - 2014 - v.90 - 134408 URL: [https://www.szfki.hu/~vincze/PDF/PRB\\_90\\_2014\\_134408.pdf](https://www.szfki.hu/~vincze/PDF/PRB_90_2014_134408.pdf)

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ ЖЕЛЕЗА:  
III. ОБЪЁМНЫЙ ЭФФЕКТ  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  ФАЗОВОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ

Эйшинский Е. Р.

*Новоуральский технологический институт – филиал ФГАУО ВО «Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Новоуральск*

[e1010101@yandex.ru](mailto:e1010101@yandex.ru)

**Аннотация:** В модели выделенных электронных состояний (ВЭС) атома железа,  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , проведён анализ объёмного эффекта  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  превращения в Fe. Получено количественное подтверждение того, что в процессе повышения давления от 0 до  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  (давление начала  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового превращения) электронное состояние  $Fe^\alpha$  атомов железа в ОЦК  $\alpha$ -фазе остаётся практически неизменным, а в момент достижения давлением значения  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  электронное состояние атомов железа меняется скачкообразно,  $Fe^\alpha \rightarrow Fe_1$ .

**Ключевые слова:** объёмный эффект фазового превращения; локальный магнитный момент, атомный объём, выделенные электронные состояния атома железа;  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазовое превращение; коллапс магнитного момента; ферромагнитная ОЦК  $\alpha$ -фаза Fe; немагнитная ГПУ  $\varepsilon$ -фаза Fe.

### Введение

Данная статья является третьей, заключительной статьёй первой части цикла работ, посвящённого рассмотрению электронного строения и физических свойств металлических фаз железа в модели выделенных электронных состояний (модель ВЭС) его атомов,  $Fe_1$  и  $Fe_2$  [1-3].

Известно, что  $\alpha$ -Fe сохраняет устойчивость своей ОЦК решётки при росте давления  $P$  от 0 до  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon} \sim 10...14$  ГПа. Экспериментально было показано, что при росте давления в указанном диапазоне значения температуры Кюри  $T_c$  и атомного магнитного момента  $\mu^\alpha$  остаются практически неизменными [4]. Такая структурная и магнитная стабильность  $\alpha$ -Fe послужила основанием для центрального предположения модели ВЭС о том, что электронное состояние  $Fe^\alpha$  атомов  $\alpha$ -Fe представляет собой очень устойчивую суперпозицию, стабильность которой относительно внешних воздействий обусловлена особыми значениями весов состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , равными  $f_1^\alpha = 1/4$ ,  $f_2^\alpha = 3/4$ . При этом в процессе повышения давления от 0 до  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  электронное состояние  $Fe^\alpha$  атомов железа в ОЦК  $\alpha$ -фазе Fe остаётся практически неизменным, а в момент достижения давлением точки  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  электронное состояние атомов железа меняется скачком,  $Fe^\alpha \rightarrow Fe_1$ .

В предыдущей статье [3] была представлена картина электронного строения ОЦК  $\alpha$ -Fe, базирующаяся на значениях весов  $f_1^\alpha = 1/4$ ,  $f_2^\alpha = 3/4$  состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$ , и приведено несколько экспериментальных подтверждений этой картины. Тем не менее, утверждение, что веса ВЭС атомов железа  $Fe_1$  и  $Fe_2$  сохраняют свои значения  $1/4$  и  $3/4$  во всём диапазоне давлений, в котором

существует  $\alpha$ -фаза, представляет собой предположение, которое требуется доказать. В настоящей работе доказательство этого предположения проводится на основании анализа экспериментальных данных [5] по объёмному эффекту фазового перехода ОЦК $\rightarrow$ ГПУ в Fe.

Статья представляет собой краткое сообщение, в котором не представлены ссылки на многие важные публикации, имеющие непосредственное отношение к теме работы. Расширенный вариант статьи, включающий эти ссылки и обсуждение полученных в них результатов, планируется опубликовать в ближайшее время.

Статья организована следующим образом:

- В разделе 2 представлены основные параметры модели ВЭС;
- В разделе 3 приведено обоснование неизменности весов ВЭС во всей области существования  $\alpha$ -Fe и дано количественное объяснение объёмного эффекта фазового  $\alpha\rightarrow\epsilon$  перехода;
- В разделе 4 приведено обсуждение полученных результатов;
- В разделе 5 представлены выводы работы.

## 2. Основные параметры модели ВЭС

Подробное описание модели ВЭС приведено в работах [1-3]. Суть модели состоит в следующем. Состояние атома железа  $Fe^k$  в любой металлической фазе ( $k = \alpha, \gamma, \delta, \epsilon$ ) выражается квантовой суперпозицией двух выделенных многоэлектронных состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$  атома, независимых от симметрии кристаллической решётки. Электронное строение и свойства произвольной фазы железа  $k$  определяются типом суперпозиции и вероятностями нахождения (весами)  $f_1^k$  и  $f_2^k$  состояния  $Fe^k$  атомов фазы в выделенных состояниях  $Fe_1$  и  $Fe_2$ . Основные параметры этих ВЭС - величины спина  $S$ , локального магнитного момента атома железа  $\mu_{Fe}$  и атомного объёма  $V_{Fe}$  представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры ВЭС при  $T = T_{комн}$  [3]

ВЭС	$S$	$\mu_{Fe}, \mu_B$	$V_{Fe}, \text{Å}^3$
$Fe_1$	0	0	11,15
$Fe_2$	3/2	2,8	12,00

В работах [1-3] показано, что значение физической величины  $\Phi^k$  в фазе  $k$  можно записать так

$$\Phi^k = f_1^k \cdot \Phi_1 + f_2^k \cdot \Phi_2 \quad (1)$$

где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  - значения физической величины  $\Phi$  в состояниях  $Fe_1$  и  $Fe_2$ .

Весы ВЭС атомов в  $\varepsilon$ - и  $\alpha$ -фазах железа при  $T = T_{\text{комн}}$  равны [1,2]

$$f_1^\varepsilon = 1, f_2^\varepsilon = 0 \quad (2)$$

$$f_1^\alpha = 1/4, f_2^\alpha = 3/4 \quad (3)$$

Тогда выражение (1) можно переписать для этих фаз следующим образом

$$\Phi^\varepsilon = \Phi_1 \quad (4)$$

$$\Phi^\alpha = 1/4 \cdot \Phi_1 + 3/4 \cdot \Phi_2 \quad (5)$$

### 3. Анализ объёмного эффекта $\alpha \rightarrow \varepsilon$ фазового превращения в Fe

Как было упомянуто во введении, в момент достижения давлением точки начала  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового превращения,  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$ , электронное состояние атомов железа меняется скачкообразным образом

$$\text{Fe}^\alpha(P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}) \rightarrow \text{Fe}^\varepsilon(P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}) \equiv \text{Fe}_1 \quad (6)$$

Существует способ экспериментальной проверки этого предположения методом доказательства от противного. Допустим, что оно неверно. Весы состояний  $\text{Fe}_2$  и  $\text{Fe}_1$  в  $\alpha$ -фазе изменяются с ростом давления и в состоянии  $\text{Fe}^\alpha(P_{\alpha \rightarrow \varepsilon})$  их значения не равны значениям, приведенным в (3). Обозначим эти веса следующим образом

$$f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) \text{ и } f_1^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) = 1 - f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) \quad (7)$$

В выражениях (7) и далее для сокращения записи вместо обозначения  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  используем значок  $P^*$ . В процессе  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового перехода у атомов, составляющих долю  $f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*)$  от общего количества атомов железа, произойдёт скачкообразное изменение состояния



При этом у этих атомов исчезнет локальный магнитный момент

$$\mu_2 \rightarrow \mu_1 = 0 \quad (9)$$

и объём уменьшится на величину

$$\Delta V_{21}(P^*) = V_2(P^*) - V_1(P^*) \quad (10)$$

где  $V_2(P^*)$  и  $V_1(P^*)$  значения объёмов атома железа в состояниях  $\text{Fe}_2$  и  $\text{Fe}_1$  при давлении  $P^*$ .

Тогда с помощью измеренной величины изменения среднего атомного объёма железа в точке перехода (объёмного эффекта  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового превращения)

можно найти экспериментальное значение веса  $f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*)$  выделенного состояния  $\text{Fe}_2$  в точке перехода и затем сравнить его с принятым в модели ВЭС значением

$$f_2^{\alpha, \text{модель}}(P = 0) = 0,75 \quad (11)$$

Запишем для объёмного эффекта  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового перехода выражение

$$\Delta V_{\alpha \rightarrow \varepsilon}^{\text{эксп}}(P^*) = V^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) - V^{\varepsilon, \text{эксп}}(P^*) \quad (12)$$

где  $V^{\alpha, \text{эксп}}(P^*)$  и  $V^{\varepsilon, \text{эксп}}(P^*)$  - экспериментальные значения атомных объёмов ОЦК и ГПУ фаз в точке перехода  $P^*$ . Подставляя в (12) выражения

$$V^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) = f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) \cdot V_2(P^*) + (1 - f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*)) \cdot V_1(P^*) \quad (13)$$

$$V^{\varepsilon, \text{эксп}}(P^*) = V_1(P^*) \quad (14)$$

и используя (10) получаем

$$\Delta V_{\alpha \rightarrow \varepsilon}^{\text{эксп}}(P^*) = f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) \cdot \Delta V_{21}(P^*) \quad (15)$$

Откуда окончательно находим

$$f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*) = \Delta V_{\alpha \rightarrow \varepsilon}^{\text{эксп}}(P^*) / \Delta V_{21}(P^*) \quad (16)$$

Для того, чтобы найти из формулы (16) численное значение  $f_2^{\alpha, \text{эксп}}(P^*)$ , надо знать, как зависит от давления  $P^*$  величина  $\Delta V_{21}(P^*)$  разности объёмов состояний  $\text{Fe}_1$  и  $\text{Fe}_2$ . Используем для определения этой зависимости данные эксперимента. На рис.1, являющемся эскизом рис.5 статьи [5], изображены зависимости атомного объёма железа  $V_{\text{Fe}}$  в  $\alpha$ - и  $\varepsilon$ -фазах от давления  $P$ , а в таблице 2 представлены численные значения объёмов  $V^{\alpha, \text{эксп}}(P^*)$ ,  $V^{\varepsilon, \text{эксп}}(P^*)$  для нескольких значений давления  $P^*$  из области прямого  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  перехода.

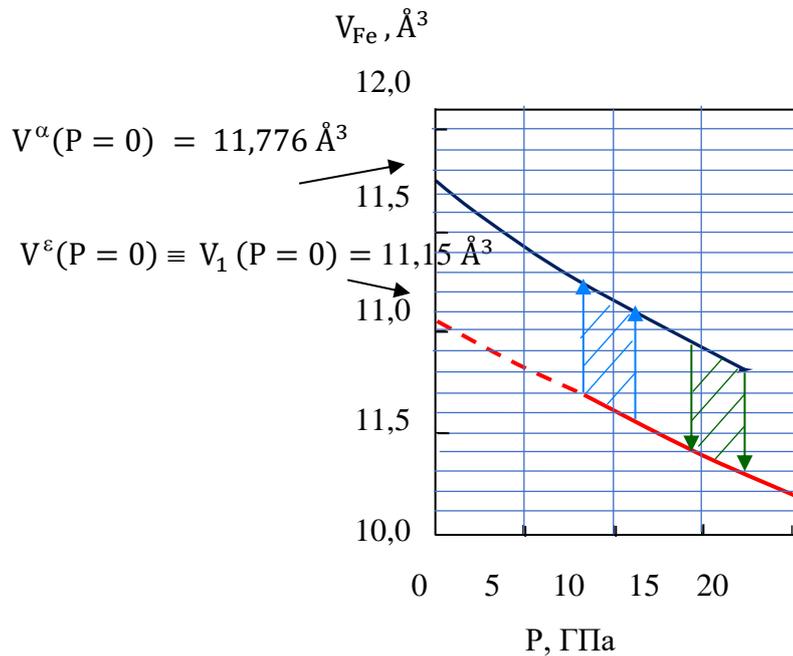


Рис.1 Зависимость атомного объёма железа  $V_{\text{Fe}}$  от давления  $P$  при ОЦК-ГПУ фазовом переходе.

— - ОЦК  $\alpha$ -фаза, - - - ГПУ  $\varepsilon$ - фаза.

↓ - примерные границы прямого  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  перехода,

↑ - примерные границы обратного  $\varepsilon \rightarrow \alpha$  перехода.

Таблица 2

Экспериментальные данные для объёмов  $\alpha$ - и  $\varepsilon$ - фаз при прямом  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазовом переходе в Fe [5]

$P^*$	$V^{\alpha, \text{ЭКСП}}(P^*), \text{ \AA}^3$	$V^{\varepsilon, \text{ЭКСП}}(P^*), \text{ \AA}^3$	$\Delta V_{\alpha \rightarrow \varepsilon}^{\text{ЭКСП}}(P^*), \text{ \AA}^3$	$k^{\alpha}(P^*)$	$k^{\varepsilon}(P^*)$	$k(P^*)$	$f_2^{\alpha, \text{ЭКСП}}(P^*)$
Давление нарастает, $P^* \uparrow$							
15,0	10,946	10,384	0,562	0,930	0,931	0,930	0,711
16,7	10,905	10,321	0,584	0,926	0,926	0,926	0,742
17,5	10,901	10,295	0,606	0,923	0,923	0,923	0,772
	Среднее значение						0,742

Введём коэффициенты  $k^{\alpha}(P^*)$  и  $k^{\varepsilon}(P^*)$ :

$$k^{\alpha}(P^*) = \frac{V^{\alpha, \text{ЭКСП}}(P^*)}{V^{\alpha, \text{ЭКСП}}(0)} \quad (17)$$

$$k^{\varepsilon}(P^*) = \frac{V^{\varepsilon, \text{ЭКСП}}(P^*)}{V^{\varepsilon, \text{ЭКСП}}(0)} \quad (18)$$

связывающие значения объёмов атомов железа в  $\alpha$ - и  $\varepsilon$ -фазах при давлениях  $P = 0$  и  $P = P^*$ . Определенные из (17) и (18) значения  $k^{\alpha}(P^*)$  и  $k^{\varepsilon}(P^*)$  приведены в табл.2. Видим, что они практически совпадают друг с другом

$$k^{\alpha}(P^*) \approx k^{\varepsilon}(P^*) \quad (19)$$

Вводя для коэффициентов  $k^{\alpha}(P^*)$  и  $k^{\varepsilon}(P^*)$  общее обозначение  $k(P^*)$ , получаем с помощью (17) и (18) выражение

$$\Delta V_{21}(P^*) = k(P^*) \cdot \Delta V_{21}(0) \quad (20)$$

Подставим (20) в (15) и получим окончательное выражение для экспериментального значения веса состояния  $Fe_2$  в  $\alpha$ -фазе в точке  $P = P^*$

$$f_2^{\alpha, \text{ЭКСП}}(P^*) = \frac{\Delta V_{\alpha \rightarrow \varepsilon}^{\text{ЭКСП}}(P^*)}{k(P^*) \cdot \Delta V_{21}(0)} \quad (21)$$

Учитывая, что  $\Delta V_{21}(0) = 0,85 \text{ \AA}^3$  (см. таблицу 1) и используя данные таблицы 2, получаем три значения  $f_2^{\alpha, \text{ЭКСП}}(P^*)$  для разных давлений  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  перехода (последний столбец таблицы 2). Среднее экспериментальное значение веса состояния  $Fe_2$  в  $\alpha$ -фазе в точке перехода  $P = P^*$  получается равным

$$\overline{f_2^{\alpha, \text{ЭКСП}}(P^*)} \approx 0,74 \quad (22)$$

Сравнивая это значение с принятым в модели ВЭС значением  $f_2^{\alpha, \text{МОДЕЛЬ}}(P=0) = 0,75$  (см. (11)), видим практически точное их совпадение. Следовательно, веса состояний  $Fe_1$  и  $Fe_2$  в ОЦК  $\alpha$ -фазе железа действительно не изменяются с ростом давления вплоть до начала  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  перехода.

#### 4. Обсуждение результатов

Полученный результат подтверждает предположение, что в диапазоне давления  $0 \leq P < P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  электронное состояние атомов железа в ОЦК  $\alpha$ -фазе остаётся практически неизменными и при достижении давления  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  начала ОЦК-ГПУ фазового превращения оно изменяется скачком.

При этом одновременно происходят три взаимосвязанные вещи:

1. у 75%<sup>1</sup> атомов железа происходит коллапс локального магнитного момента  $\mu_2 = 2,8 \mu_B$  ;
2. вследствие этого пропадает ферромагнетизм, стабилизирующий ОЦК фазу и
3. происходит перестройка кристаллической решётки ОЦК→ГПУ.

Другими словами, полученный результат является независимым экспериментальным подтверждением основного постулата модели ВЭС, что суперпозиция состояний  $Fe_2$  и  $Fe_1$  в  $\alpha$ -Fe является очень прочной вплоть до начала  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  структурного превращения. В предыдущей работе [3] показана критически важная роль для стабильности  $\alpha$ -фазы скоррелированного междуузельного обмена выделенными состояниями  $Fe_1$  и  $Fe_2$  между атомами 2-х б.с., находящимися в узлах сопряжённых ГЦК подрешёток (А и С или В и D) ОЦК решётки, и сделано предположение, что эти же обменные процессы являются причиной ферромагнетизма  $\alpha$ -фазы железа.

Поэтому можно предложить следующий, наиболее вероятный сценарий развития  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового перехода в Fe. При достижении критической величины сжатия ОЦК  $\alpha$ -фазы начнут перекрываться между собой 3d-оболочки атомов 1-х б.с., находящихся в “магнитных” состояниях  $Fe_2$  с большими объёмами  $V_2$  и с параллельно направленными спинами  $\mu_2$ . В результате перекрытия электронных оболочек и в силу действия принципа Паули в этих атомах начнёт происходить коллапс локальных магнитных моментов  $\mu_2$ , который будет сопровождаться нарушением упомянутых выше скоррелированных междуузельных обменных процессов  $Fe_2 \rightleftharpoons Fe_1$ . В свою очередь, разрушение этих процессов приведёт к потере ферромагнетизма  $\alpha$ -фазы, а затем и к  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазовому переходу. Подробно детали описанного сценария развития  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового превращения при росте давления в  $\alpha$ -Fe будут представлены в одной из следующих публикаций.

Отметим, что подобный вывод об одновременности протекания трёх процессов - коллапса магнитного момента, коллапса ферромагнетизма  $\alpha$ -Fe и структурного  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  перехода был сделан ранее в статье [4].

---

<sup>1</sup> напомним, что в модели ВЭС в ОЦК  $\alpha$ - фазе в каждый фиксированный момент времени три четверти атомов железа находятся в состоянии  $Fe_2$  и одна четверть в состоянии  $Fe_1$  [3].

Можно посмотреть на описанную ситуацию, с другой стороны. При обратном фазовом переходе  $\varepsilon \rightarrow \alpha$  в Fe, происходящем при понижении давления  $P$  (см. рис.1), ГПУ решётка начнёт расширяться и атомы железа, находящиеся в выделенном состоянии  $Fe_1$  будут стремиться выполнить электронный переход



сопровождающийся увеличением объёма  $V_1 \rightarrow V_2$  и появлением магнитного момента  $\mu_2$ . Однако, известно [2,3], что чистой “одноузельной” ОЦК решётки железа, состоящей из одних атомов  $Fe_2$ , в природе не существует. Скорее всего, вследствие недостаточной когезии этих атомов. Поэтому при образовании ОЦК решётки  $\alpha$ -фазы атомы  $Fe_1$  вынуждены “выбирать” компромиссный вариант между магнетизмом и межатомной связью. Четверть из них сохранит своё немагнитное состояние  $Fe_1$ , обеспечивающее межатомную связь, а три четверти - совершат переход в состояние  $Fe_2$  с магнитным моментом  $\mu_2$ . Другими словами, атомы железа разделятся на два сорта,  $Fe_2$  и  $Fe_1$ , точно в пропорции 3:1. Все атомы  $Fe_2$  и  $Fe_1$  кратковременно (в течение промежутка времени порядка  $\Delta t \leq 10^{-14}$  с), и хотя бы в локальных областях кристалла, расположатся по узлам одного из вариантов “сверхрешётки”  $Fe_2^3Fe_1$  ОЦК структуры (см.[3]). После чего начнут происходить скоррелированные обмены состояниями  $Fe_2 \rightleftharpoons Fe_1$  между соседними атомами железа. На временах  $\Delta t \geq 10^{-13}$  с это приведёт к динамической стабилизации “одноузельной” ОЦК решётки  $\alpha$ - фазы Fe (более подробно указанные процессы описаны в [3]).

Полученное объяснение объёмного эффекта  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазового перехода в железе является новым независимым подтверждением решающей роли, которую играют веса  $f_1^\alpha = 1/4$ ,  $f_2^\alpha = 3/4$  для стабильности  $\alpha$ - фазы Fe. Можно сказать, что оно замыкает начатую в работе [3] цепочку доказательств корректности и адекватности описания электронного строения  $\alpha$ -Fe с помощью представления о скоррелированных обменах 2 б.с. атомов железа, находящихся в узлах сопряжённых ГЦК подрешёток ОЦК решётки, выделенными электронными состояниями  $Fe_2 \rightleftharpoons Fe_1$ .

## 5. Выводы

Работа является третьей, заключительной статьёй первой части цикла публикаций, посвящённого рассмотрению электронного строения и физических свойств металлических фаз железа в модели ВЭС. На основе анализа экспериментальных данных по изменению объёма атома Fe при  $\alpha \rightarrow \varepsilon$  фазовом превращении получено подтверждение предположения, что электронное состояние атомов железа  $Fe^\alpha$  остаётся практически неизменным при росте давления от 0 до точки  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$  начала превращения и меняется скачком,  $Fe^\alpha \rightarrow Fe_1$ ,

непосредственно в точке  $P_{\alpha \rightarrow \varepsilon}$ . При этом одновременно происходят три взаимосвязанные вещи: атомы железа теряют свой локальный магнитный момент, вследствие чего в ОЦК  $\alpha$ -фазе пропадает стабилизирующий её ферромагнетизм и происходит структурный переход в немагнитную ГПУ  $\varepsilon$ -фазу.

Подводя итоги, отметим, что данная статья логически замыкает круг идей, предположений и результатов, которые составляют основу модели ВЭС [1,2]. Полученные результаты являются положительными и стимулирующими для продолжения работы по применению модели к различным областям физики железа и его сплавов. Упомянутые в тексте статьи публикации будут представлены в ближайшее время.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность В. Шубину за оказание технической помощи, а также всем коллегам кафедры ФМД за создание доброжелательной обстановки в работе.

#### Литература

- 1 Е.Р. Эйшинский. Магнитные и магнитообъемные свойства Fe и Fe-Ni сплавов в модели выделенных состояний атомов железа [Электронный ресурс] // Дис. ... канд. физико-математические науки : 01.04.07. - М.: РГБ, 2006. - (Из фондов Российской государственной библиотеки).  
URL: <https://www.dissercat.com/content/magnitnye-i-magnitobemnye-svoistva-fe-i-fe-ni-splavov-v-modeli-vydelennykh-sostoyanii-atomov>
- 2 Е.Р. Эйшинский. Электронное строение металлических фаз железа:  
I. Распространение модели  $2\gamma$  состояний на  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  и  $\delta$  фазы. [Электронный ресурс]//Труды XVI региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, техники и образования в атомной отрасли» ( 25 февраля 2022 года), - Новоуральск: Изд-во НТИ НИЯУ МИФИ, 2022. - с.225 (этот сборник).  
URL:
- 3 Е.Р. Эйшинский. Электронное строение металлических фаз железа:  
II. Строение ОЦК  $\alpha$ -фазы. [Электронный ресурс]//Труды XVI региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, техники и образования в атомной отрасли» (25 февраля 2022 года), - Новоуральск: Изд-во НТИ НИЯУ МИФИ, 2022. - с.238 (этот сборник). URL:

- 4 P. Tolédano, H. Katzke, D. Machon. Symmetry-induced collapse of ferromagnetism at the  $\alpha$ - $\epsilon$  phase transition in iron. [Электронный ресурс] // J. Phys.: Condens. Matter. - 2010 - V.22 - p.466002.  
URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21403380/>
- 5 A. Dewaele, C. Denoual, S. Anzellini and others. Mechanism of the  $\alpha$ - $\epsilon$  phase transformation in iron. [Электронный ресурс] // Phys. Rev. B - 2015 - v.91, p.174105.  
URL: <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.91.174105>

