Санкт–Петербургский государственный университет

**ГОРБУНОВ Павел Александрович**

**Выпускная квалификационная работа**

***Разработка интерактивного учебного пособия для изучения устройства и работы компьютера***

Уровень образования: бакалавриат

Направление 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Основная образовательная программа СВ.5005.2021 «Прикладная

математика, фундаментальная информатика и программирование»

Профиль «Технологии программирования»

Научный руководитель:

доцент кафедры   
технологии программирования,

к.ф.–м.н. Сергеев С.Л.

Рецензент:

доцент кафедры   
AAA BBB,

к.ф.–м.н. Иванов И.И.

Санкт-Петербург,

2025 г.

**Содержание**

Введение3

Постановка задачи4

Цель работы4

Задачи работы4

Обзор литературы5

Глава 1. Обзор существующих решение и обоснование разработки4

* 1. Сравнение образовательных моделей4

Введите уровень главы (уровень 1)4

Введите уровень главы (уровень 2)5

Введите заголовок главы (уровень 3)6

Введите уровень главы (уровень 1)4

Введите уровень главы (уровень 2)5

Введите заголовок главы (уровень 3)6

**Введение**

В современном мире компьютеры имеют значительные вычислительные возможности, но при этом остаются «чёрным ящиком» для студентов, желающих изучить компьютерные науки. Это обусловлено большим количеством уровней абстракций над процессором, оперативной памятью и другими модулями компьютера, что во время обучения ведёт к формальному запоминанию материала. В данной работе предлагается одно из решений данной проблемы – создание интерактивной модели компьютера, которая упростит сложные технические концепции для базового понимания устройства компьютера, что сделает материал наглядным и осязаемым.

**Постановка задачи**

**Цель работы**

Разработать и технически обосновать интерактивную аппаратную модель компьютера, демонстрирующую базовые принципы его работы через визуализацию процессов и ручное управление компонентами.

**Задачи работы**

* Провести анализ существующих образовательных моделей и выявить их ограничения.
* Сформулировать требования к аппаратной реализации учебного пособия.
* Реализовать модель с возможностью ручного управления тактами и визуализацией данных.
* Провести тестирование функциональности модели и оценить её образовательную ценность.

# **Обзор литературы**

При изучении темы устройства компьютера в первую очередь стоит рассмотреть Э.Таненбаума «Архитектура компьютера» [1]. В этих работах содержится системный подход к объяснению взаимодействия модулей и детальное описание организации компьютера: от устройства регистров до уровня операционной системы. Приводятся примеры на реальных процессорах. Для начинающих может ощутиться сложность восприятия материала из-за обилия технических деталей и отсутствия визуализации процессов. В моей работе труды Таненбаума служат теоретической базой для проектирования учебной модели.

В книге Д.Паттерсона и Дж.Хеннесси «Организация и проектирование компьютеров» [2] содержатся принципы проектирования, включая конвейерную обработку. Продемонстрированные практические примеры иллюстрируют теорию и уравновешивают её связь с реальным применением. Это подчёркивает необходимый баланс между теорией и практикой, что учтено в разработке модели.

Также стоит обратить внимание на работу Ч.Петцольда «Код» [3]. Автор поэтапно объясняет работу компьютера «с нуля»: от логических вентилей до ассемблера. Также делает упор на доступный язык и отсутствие сложное математики, что делает книгу доступной для новичков. Однако её главный недостаток в том, что читатель усваивает теорию, но не взаимодействует с «живыми» компонентами. Разрабатываемое учебное пособие устраняет этот пробел и преподносит обучающемуся осязаемый опыт.

# **Обзор существующих решений и обоснование разработки**

## **1.1 Обзор образовательных моделей**

Перед тем как начать проектирование и сборку собственной модели необходимо изучить уже существующие образовательные стенды.

Во многих учебных заведениях традиционно тема про внутреннее устройство компьютера преподносится с демонстрацией физического системного блока без части корпуса, что позволяет рассмотреть отдельные модули – процессор, оперативную память, жёсткий диск и так далее. Тем не менее такой подход предоставляет ограниченную информацию – нет возможности проследить, как компьютер выполняет программу, как перемещаются данные по модулям.

У студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана имеется возможность не только изучать теорию программирования контроллеров, но и применять знания на практике на учебном стенде ТРЭИ [4]. Такой подход способствует глубокому пониманию принципов автоматизации и дает будущим инженерам возможность реализовывать свои идеи в реальных условиях. С другой стороны, студенты изучают контроллеры как «черные ящики», не погружаясь в работу процессора, памяти, шин данных.

Интернет-портал Учтех-Профи предоставляет возможность заказать лабораторный стенд [5]. Данный стенд предназначен для теоретической и практической подготовки студентов в рамках дисциплины «Архитектура ЭВМ» и позволяет научиться проектировать вычислительные системы, писать программы на языке VHDL, ассемблер для различных архитектур ЭВМ, а также на языках высокого уровня с ассемблерными вставками, программировать алгоритмы работы с периферийными устройствами через стандартные интерфейсы. Однако, несмотря на широкую функциональность, стенд имеет ряд ограничений – стоимость и высокий порог входа для работы с данной моделью может подойти не для каждого студента.

Также, на интернет-портале kpolyakov.spb.ru в открытом доступе предоставлен бесплатный софт виртуального тренажёра «ЛамПанель» [6] для изучения работы процессора. Это учебная модель компьютера, управляющего ламповой панелью. Он предназначен для проведения практических занятий по теме «Процессор» в школьном курсе информатики. Тренажёр можно использовать: для изучения принципов работы компьютера (процессор, ОЗУ, ПЗУ); для начального изучения программирования на языке ассемблера; для изучения операций с целыми числами, в том числе поразрядных логических операций и сдвигов. Стоит отметить, что даже при таких обширных возможностях виртуального стенда, его абстрактность и отсутствие с ним тактильного взаимодействия может затруднить понимание материальной основы компьютера.

## **1.2 Обоснование разработки собственной модели**

Каждая рассмотренная образовательная модель имеет некоторые недостатки. Классический вариант с системным блоком – это поверхностное знакомство с устройством компьютера, стенд ТРЭИ имеет закрытую архитектуру и высокий порог входа, коммерческие стенды наподобие тех, которые предлагает интернет-портал Учтех Профи, может быть финансово недоступен, а виртуальный тренажёр исключает тактильное взаимодействие и наглядность.

Таким образом, разработка собственного интерактивного учебного пособия для изучения устройства и работы компьютера, которое решает упомянутые недостатки существующих моделей, является обоснованным и будет иметь практическую ценность для образовательного процесса.

# **Разработка и тестирование аппаратной модели**

## **2.1 Требования к модели**

Будущая сконструированная модель должна решать недостатки существующих решений, обозримых в первой главе. Для этого сформулируем требования, которые будут предъявлены к конечной модели. Они должны охватывать функциональные, образовательные и экономические аспекты.

**Функциональные** требования включают возможность ручного ввода данных и выбор адреса в памяти через переключатели, что позволяет преодолеть абстракции и сделать процесс осязаемым. В модели необходим тактовый генератор с регулируемой частотой от 0.2 до 10 Гц. Также необходима возможность посылать «ручные» такты компьютерной модели для отслеживания и анализа выполняемых команд. Помимо всего необходима полная визуализация состояния ячеек памяти и регистров через светодиоды, а также дисплей для вывода данных в десятичном формате.

**Образовательные** требования ориентированы на обеспечение наглядного и практическое изучение архитектуры компьютера. Модель должна демонстрировать базовые принципы: цикл «выборка-декодирование-выполнение», работу памяти, арифметико-логического устройства, состояние управляющих сигналов. Для обеспечения прозрачности архитектуры компоненты компьютера должны быть спроектированы из логических вентилей и минимального числа интегральных схем со сложной функциональностью.

**Экономические** требования ограничивают стоимость компонентов учебного стенда до 10000-15000 рублей, использование широко распространённых микросхем для обеспечения ремонтопригодности.

## **2.2 Архитектура модели**

Модель компьютера состоит из независимых модулей и системы управляющих сигналов. Модули взаимодействуют через шину данных, отправляя и считывая данные с неё. Синхронизирует работу всех компонентов тактовый генератор. Разрядность модели – 8 бит.

8 битная шина

Регистр адреса

Оперативаная память

Программный счётчик

4 мл. бита

4 мл. бита

Регистр A

Арифметико-логический модуль

Регистр B

Регистр вывода

Дисплей

Регистр инструкций

Декодер инструкций

Тактовый генератор

4 мл. бита

В компьютере представлены следующие модули:

* Тактовый генератор - компонент, выполняющий роль метронома, который синхронизирует работу всего компьютера. Его ключевая особенность в том, что можно гибко управлять частотой и режимами работы. Генератор построен на нескольких интегральных схемах NE555, которые позволяют генерировать импульсы засчёт заряда и разряда конденсаторов внутри микросхемы. Модуль имеет два режима работы, которые переключаются по кнопке. В первом режиме генерирует стабильные импульсы, частоты которых можно вручную регулировать с помощью потенциометра на 1MΩ: в крайнем положении с выключенным потенциометром получаем максимальную частоту тактов в 15 Гц, в другой крайнем положении минимальную – 0.25 Гц. С такой возможностью можно замедлить выполнение программы для детального анализа или, наоборот, ускорить для скорейшего выполнение. Во втором режиме тактовый генератор испускает импульсы только по кнопке, что удобно для отладки программ.
* Шина данных - магистраль для передачи данных между модулями. Состоит она из 8 параллельных линий, к которым подключаются все основные модули: к первой полосе подключаются первые биты регистров, оперативной памяти, ко второй полосе второй бит и т.д. Шина заземлена через резисторы на 10кОм для предотвращения неопределённого состояния.
* Регистры A и B – восьмибитные ячейки памяти, способные читать, хранить и писать данные на шину. Эти модули используются для хранения промежуточных данных во время выполнения операций.
* Арифметико-логический модуль – компонент, показывающий на каждом такте сумму чисел, которые находятся в регистрах A и B.
* Программный счётчик – восьмибитная ячейка памяти, содержащая номер следующей команды, которую выполнит компьютер. При старте программы содержит нулевое значение.
* Регистр вывода - восьмибитная ячейка памяти, способная читать данные с шины и хранить их для отображение на дисплее.
* Регистр адреса памяти – четырёхбитная ячейка памяти

Одна шина для данных, адреса

* Помимо всего, в данный модуль можно отослать управляющий сигнал HLT, что моментально остановит такты, а в следствие работу всего компьютера. Используется этот сигнал как последний шаг каждой запускаемой программе, не подразумевающей бесконечного цикла.

Глава 1   
  
… Известный педагог-психолог Джон Свеллер в своих исследованиях выделял значимость наглядности в обучении, а также преподнесение учебной информации

При изучении темы устройства компьютера, в первую очередь стоит рассмотреть классические работы Э.Таненбаума «Архитектура компьютера» [1], Ч.Петцольда «Код» [2] или Д.Паттерсона и Дж.Хеннесси «Организация и проектирование компьютеров» [3]. Эти книги предоставляют кроме базовой информации глубокие теоретические знания про работу компьютера, но в силу текстового изложения и отсутствия интерактивных элементов могут быть недостаточны для формирования целостного представления «анатомии» компьютера.

Также стоит обратить внимание на цифровую платформу как Logisim [4], позволяющий разрабатывать и моделировать цифровые электрические схемы, используя графический интерфейс. Инструмент хоть и полезный, но по-прежнему не предоставляет тактильного взаимодействия для обучающегося.

4. <https://trei.biz/o-kompanii/press-tsentr/novosti-kompanii/kompaniya-trei-podgotovila-uchebnyy-stend-dlya-studentov-mgtu-im-n-e-baumana/>

5. <https://labstand.ru/catalog/vychislitelnaya-tehnika/laboratornyj-stend-arhitektura-evm>

6. <https://kpolyakov.spb.ru/prog/lamp.htm>