

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий

институт

Вычислительная техника

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

О.В. Непомнящий

подпись

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

«Моделирование и прототипирование протокола многостанционного  
доступа»

тема

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

код и наименование направления

Руководитель

подпись, дата

должность, ученая степень

И.Н. Рыженко

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

А.А. Мяделец

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

должность, ученая степень

И.Н. Рыженко

инициалы, фамилия

Красноярск 2023

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт космических и информационных технологий

---

институт

Вычислительная техника

---

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

О.В. Непомнящий

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

подпись

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**

**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

**в форме бакалаврской работы**

Студенту \_\_\_\_\_ Мяделец Андрею Алексеевичу  
\_\_\_\_\_ фамилия, имя, отчество

Группа КИ19-08Б \_\_\_\_\_ Направление (специальность) \_\_\_\_\_ 09.03.01  
\_\_\_\_\_ номер \_\_\_\_\_ код

Информатика и вычислительная техника

\_\_\_\_\_ полное наименование

Тема выпускной квалификационной работы \_\_\_\_\_ Моделирование и  
прототипирование протокола многостанционного доступа.

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ И. Н. Рыженко, старший преподаватель Каф. ВТ  
\_\_\_\_\_ инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

**Исходные данные для ВКР:** Разработать модель системы спутникового  
доступа. Разработать модель станции отправителя. Разработать модель  
станции получателя. Провести тестирование разработанной модели.

**Перечень разделов ВКР:** Классификация и анализ протоколов  
многостанционного доступа. Моделирование протокола многостанционного  
доступа. Тестирование и исследование протокола многостанционного доступа.

**Перечень графического материала:** \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ И.Н. Рыженко  
\_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ А.А. Мяделец  
\_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023г.

## РЕФЕРАТ

Настоящая бакалаврская работа посвящена разработке прототипа и моделированию протокола многостанционного доступа типа АЛОНА.

Данная пояснительная записка содержит 39 страниц текста с иллюстрациями и 5 использованных источников.

АЛОНА, МНОГОСТАНЦИОННЫЙ ДОСТУП, ПРОТОКОЛ МНОГОСТАНЦИОННОГО ДОСТУПА, СИСТЕМА МНОГОСТАНЦИОННОГО ДОСТУПА, УДАЛЁННЫЙ ДОСТУП, СИСТЕМА УДАЛЁННОГО ДОСТУПА, MATLAB, SIMULINK.

Цель бакалаврской работы – разработка прототипа и моделирование протокола многостанционного доступа типа АЛОНА.

Задачи, решённые в процессе разработки:

- разработана архитектура протокола многостанционного доступа типа АЛОНА;
- разработаны составные части системы;
- разработана модель системы многостанционного доступа типа АЛОНА;
- разработаны принципы обмена данными между элементами системы;
- проведено тестирование разработанной системы;
- исследован протокол многостанционного доступа типа АЛОНА.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Классификация и анализ принципов работы протоколов многостанционного доступа.....	5
1.1 Протоколы контролируемого доступа.....	6
1.2 Протоколы произвольного доступа.....	9
1.3 Выводы.....	13
2 Моделирование протокола многостанционного доступа.....	14
2.1 Обзор поставленной задачи и выбор программного обеспечения.....	14
2.2 Разработка архитектуры системы для моделирования протокола многостанционного доступа типа ALOHA.....	14
2.3 Моделирование архитектуры системы в Simulink.....	18
2.4 Разработка абонентской станции.....	19
2.5 Разработка станции приемника.....	24
2.6 Выводы.....	28
3 Тестирование и исследование протокола многостанционного доступа.....	29
3.1 Обзор возможностей настройки параметров системы.....	29
3.2 Тестирование работоспособности системы.....	29
3.3 Исследование модели протокола многостанционного доступа.....	34
3.4 Выводы.....	37
Заключение.....	38
Список использованных источников.....	39

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы** обусловлена тем, что в настоящее время отсутствуют свободные реализации протоколов многостанционного доступа спутниковых систем в связи с этим представляется актуальным создание своего протокола многостанционного доступа для спутниковой системы.

**Цель работы** — разработать модель и прототип протокола многостанционного доступа.

### **Задачи работы:**

- выполнить анализ принципов работы протоколов многостанционного доступа и выбрать тип для реализации;
- разработать математическую модель системы многостанционного доступа;
- провести тестирование и исследование разработанной модели.

Объектом разработки является протокол многостанционного доступа спутниковой системы.

Для разработки было выбрано программное обеспечение MATLAB Simulink.

В разделе 1 рассматривается классификация и анализ принципов работы протоколов многостанционного доступа, а также выбор разрабатываемого протокола.

В разделе 2 выполнено проектирование и разработка математической модели системы многостанционного доступа, включая реализацию с помощью среды MATLAB Simulink.

В разделе 3 выполнено тестирование базовой работоспособности разработанной системы, а также исследование работы системы по разработанному протоколу.

## 1 Классификация и анализ принципов работы протоколов многостанционного доступа

Когда отправитель и получатель имеют общий выделенный канал для передачи пакетов данных, организовать управления таким каналом достаточно сложно. Предположим, что нет способа организовать индивидуальный канал связи между отправителем и получателем при передаче данных между двумя устройствами. В этом случае несколько станций получают доступ и одновременно передают данные по каналу. Это может привести к коллизиям и перекрестным помехам. Следовательно, протокол многостанционного доступа необходим для уменьшения коллизий и предотвращения перекрестных помех между каналами. Для решения подобных проблем существуют различные протоколы доступа, например такие как протоколы произвольного доступа и протоколы контролируемого доступа. Общая схема системы протокола доступа проиллюстрирована на рисунке 1 [2].

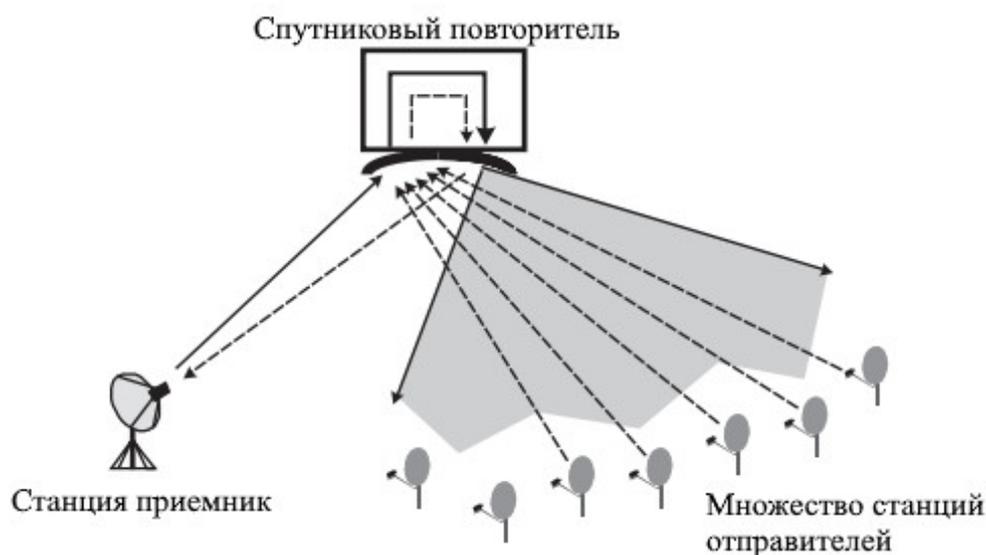


Рисунок 1 – Общая схема системы протокола  
многостанционного доступа спутниковой системы

## **1.1 Протоколы контролируемого доступа**

Протоколы контролируемого доступа — это протоколы в основе которых лежит метод уменьшения коллизий кадров данных в общем канале путем взаимодействия станций передачи между собой. В протоколе контролируемого доступа каждая станция принимает решение об отправке кадра данных приёмнику только после согласования с другими станциями передатчиками. Это означает, что одна станция не может отправлять кадры данных, если все остальные станции не одобрили эту передачу.

К преимуществам протокола контролируемого доступа относят значительное уменьшение коллизий. Недостатком протоколов такого типа является сложность, обусловленная взаимодействием станциями между собой.

Согласно источнику [5], методы протокола контролируемого доступа делятся на три типа: резервирование, опрос и передача токена.

### **1.1.1 Многостанционный доступ на основе метода резервирования**

В методе резервирования станция должна сделать резервирование перед отправкой данных.

Временная шкала имеет два типа периодов:

- интервал резервирования фиксированной продолжительности;
- период передачи данных переменных кадров.

При наличии  $N$  станций интервал резервирования делится на  $N$  слотов, и на каждую станцию приходится один слот. Каждая  $i$ -я станция может объявить, что у нее есть кадр для отправки, вставив 1 бит в  $i$ -й слот. После проверки всех  $N$  слотов каждая станция знает, в каком порядке будет осуществляться передача. Станции, которые зарезервировали свои слоты, передают свои кадры согласно порядку передачи. После периода передачи данных начинается следующий интервал резервирования. Поскольку все договариваются о том, кто

будет следующим, столкновений никогда не будет. На рисунке 2 показана ситуация передачи данных пятью станциями. В первом интервале резервируют передачу данных только станции 2, 3 и 5. Во втором интервале только станция 5 сделала резервирование.

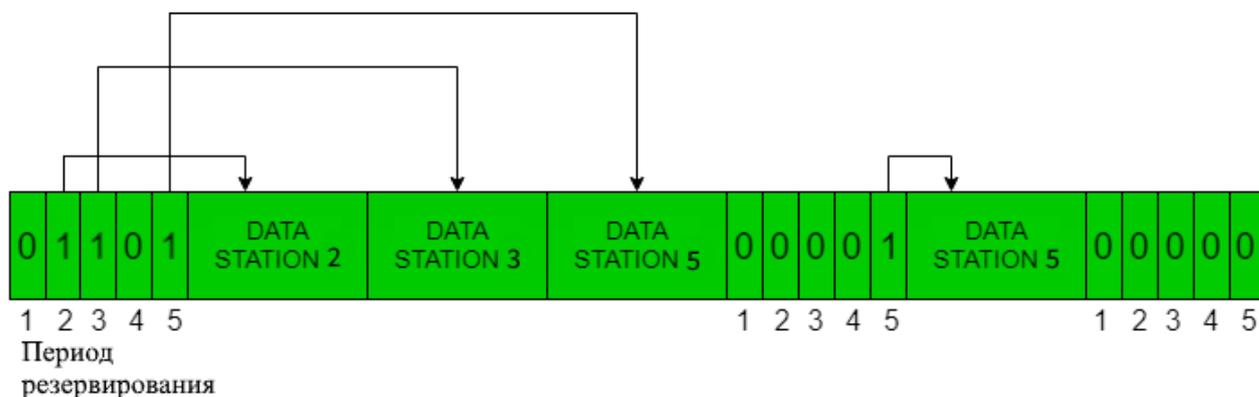


Рисунок 2 – Схема метода резервирования

### 1.1.2 Многостанционный доступ на основе метода опроса

Метод опроса аналогичен переключке, проводимой в классе. Из всех станций заранее выбирается первичная станция (контроллер), а другие станции выступают в роли вторичных. Все обмены данными должны осуществляться через контроллер. Сообщение, отправляемое контроллером, содержит адрес вторичной станции, выбираемой для предоставления доступа.

Все станции получают сообщение, но только адресованный узел отвечает на него и отправляет данные, если таковые имеются. Если данных нет, обычно возвращается сообщение «отклонение опроса» (NAK).

Проблемы включают в себя высокие накладные расходы на сообщения опроса и высокую зависимость от надежности контроллера. Схема метода опроса представлена на рисунке 3.

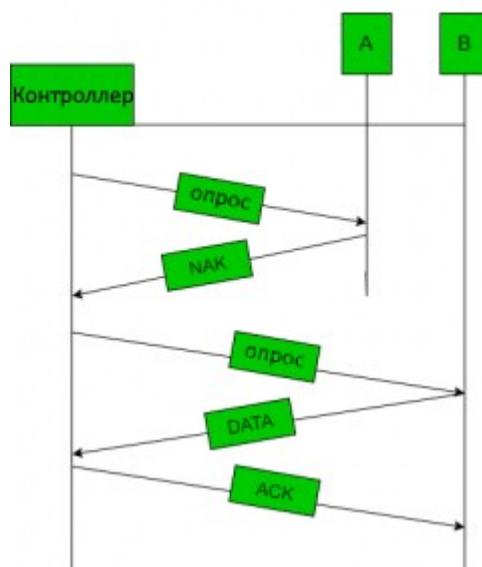


Рисунок 3 – Схема метода опроса

### 1.1.3 Многостанционный доступ на основе метода передачи токена

В протоколе на основе метода передачи токенов станции логически связаны друг с другом в виде кольца, а доступ к станциям регулируется токенами. Токен — это специальный набор битов или небольшое сообщение, которое передается от одной станции к другой в заранее определенном порядке и представляет собой разрешение на отправку. Если станция получила токен и имеет данные для передачи, она может отправить их отправителю, но до того как передаст токен следующей станции. Если у станции нет данных на передачу, она просто передает токен. Схема метода передачи токена представлена на рисунке 4.

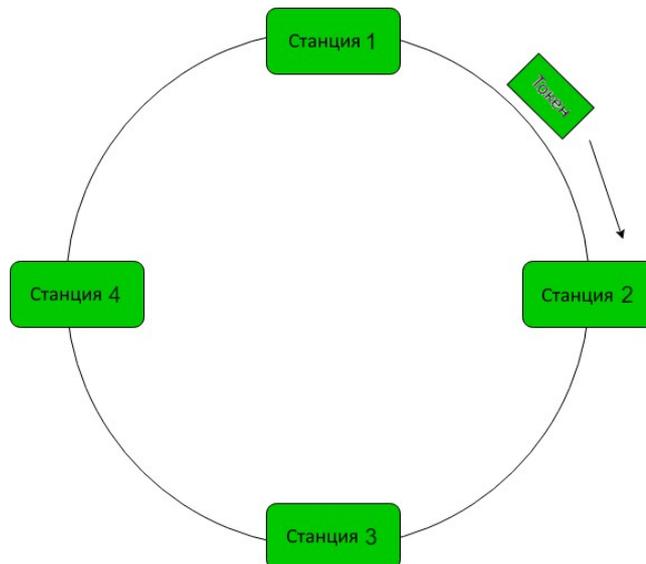


Рисунок 4 – Схема метода передачи токена

## 1.2 Протоколы произвольного доступа

Протоколы произвольного доступа — это протоколы в которых каждая станция имеет одинаковое превосходство, то есть ни одна станция не имеет большего приоритета, чем другая станция. Любая станция может отправлять данные в зависимости от своего состояния (имеются данные для передачи или нет). Такие протоколы имеют две особенности:

- нет фиксированного времени для отправки данных
- нет фиксированной последовательности станций, отправляющих данные

К преимуществам таких протоколов относят отсутствие иерархии между отправителями и их независимость друг от друга. К их недостаткам относят наличие большего числа коллизий чем в протоколах контролируемого доступа.

Существует несколько типов протоколов произвольного доступа:

## 1.2.1 ALOHA

ALOHA — это протокол многостанционный доступ в котором пакеты данных передаются каждой земной станцией без каких-либо ограничений на время передачи. Когда станция отправляет данные, она ожидает подтверждения. Если подтверждение не приходит в течение отведенного времени, станция ждет в течение случайного периода времени, называемого временем задержки (Backoff), и повторно отправляет данные. Поскольку разные станции ждут разное количество времени, вероятность дальнейшего столкновения уменьшается. Принцип работы протокола проиллюстрирован на рисунке 5, Согласно источнику [3]. При отсутствии коллизий земная станция назначения (обозначенная Z) правильно идентифицирует содержимое пакета и передает подтверждение правильного приема в форме короткого пакета подтверждения (ACK). Рисунок 6 иллюстрирует случай столкновения. Приемник станции назначения не может идентифицировать сообщение и не отправляет подтверждение.

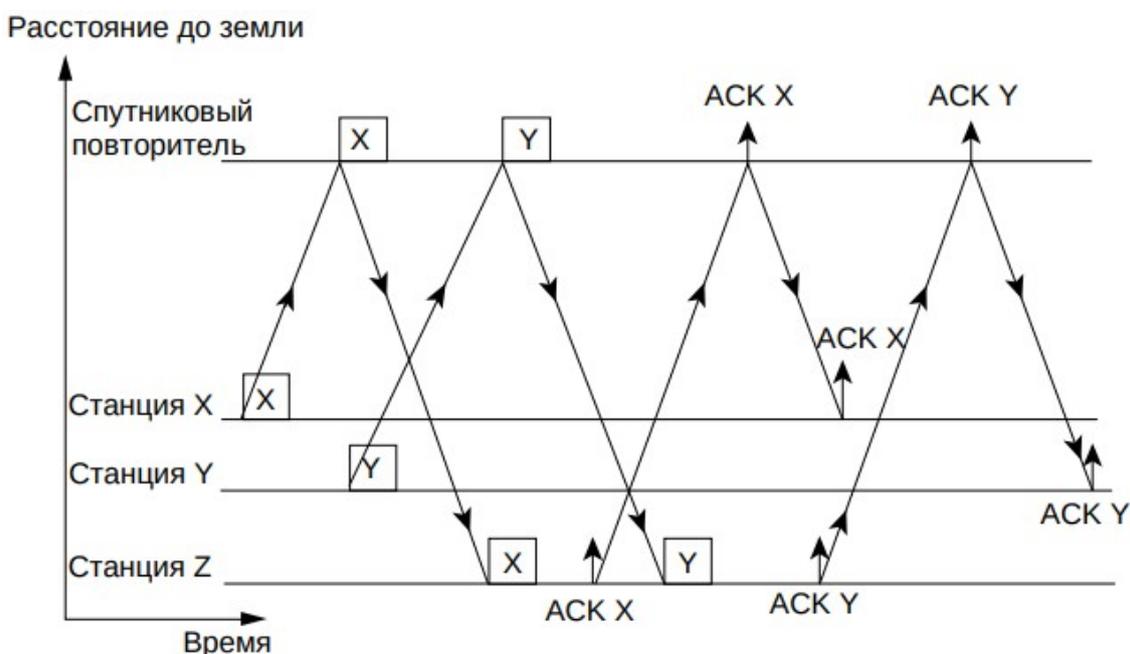


Рисунок 5 – Успешная передача данных

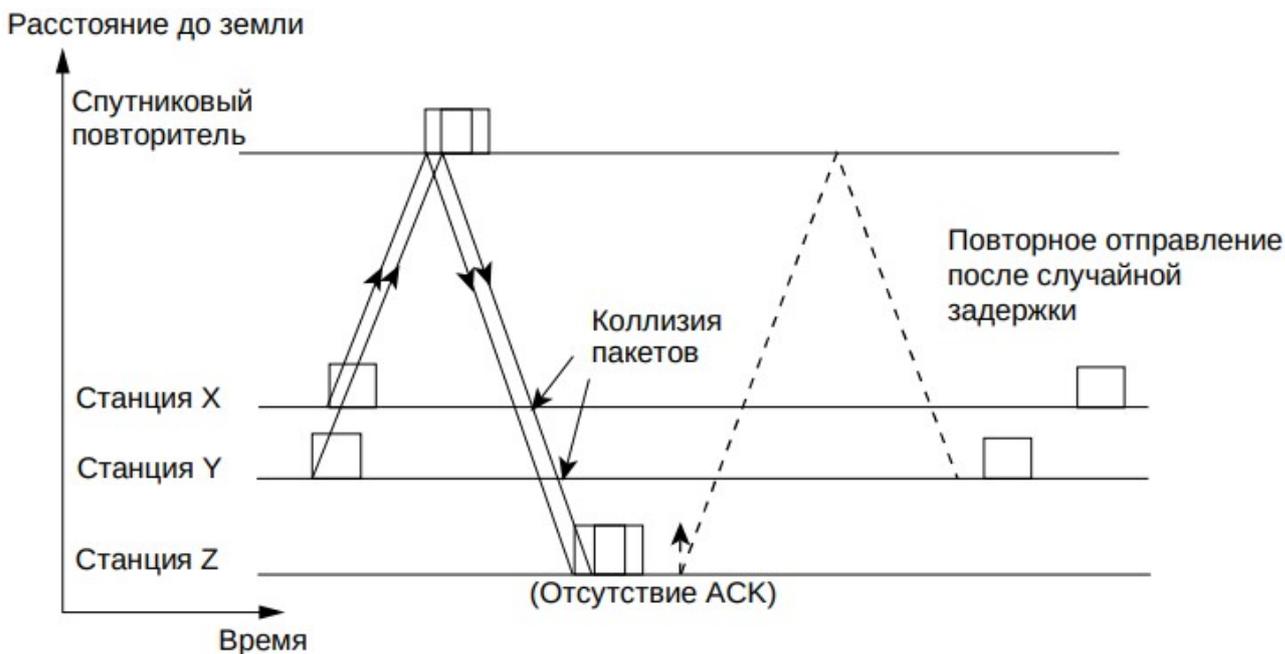


Рисунок 6 – Передача данных с возникновением коллизии

Протокол АЛОНА делится на два подпротокола:

- чистая АЛОНА;
- слотированная АЛОНА.

Чистая АЛОНА не имеет каких либо ограничений накладываемых на момент начала передачи данных станцией отправителем. В случае слотированной АЛОНА ось времени разделяется на дискретные интервалы равной длительности названные таймслотами. Если станция пропускает разрешенное для передачи время, она должна ждать следующего слота. Это снижает вероятность столкновения, а также уменьшает длительность столкновения на временной оси. На рисунке 7 представлено возникновение коллизии в различных версиях АЛОНА.

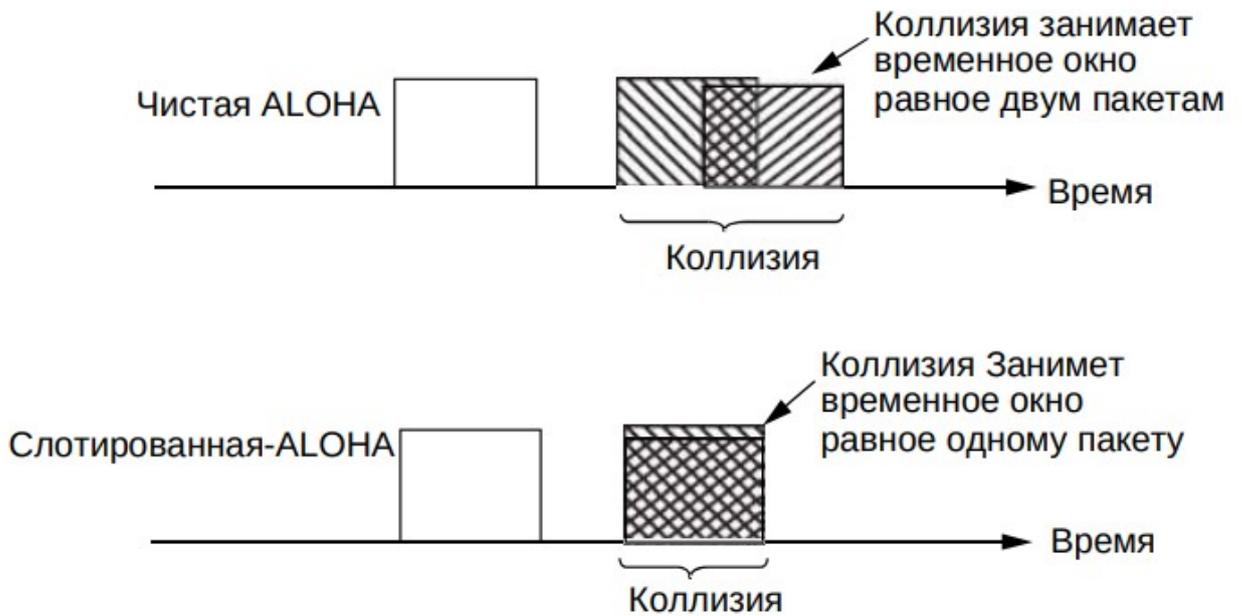


Рисунок 7 – Коллизии в различных ALOHA

### 1.2.2 CSMA

Как развитие ALOHA был создан метод множественного доступа с контролем несущей (Carrier Sense Multiple Access) [1]. Этот метод обеспечивает меньшее количество коллизий, так как станция должна сначала определить свободен или занят канал связи, перед передачей данных. Если среда свободна, станция отправляет данные, в противном случае станция ждет, пока канал не освободится. Однако все еще существует вероятность коллизии в CSMA из-за задержки распространения. Например, если станция А хочет отправить данные, она сначала проанализирует среду. Если она обнаружит, что канал связи свободен, она начнет передачу данных. Однако к моменту передачи первого бита данных со станции А, если станция В запросит отправку данных и проанализирует среду, она также обнаружит, что канал связи простаивает (из-за задержки распространения сигнала со станции А), и также отправит данные. Это приведет к столкновению данных со станций А и В.

### 1.3 Выводы

Проведён анализ различных протоколов многостанционного доступа. Рассмотрены протоколы контролируемого и произвольного доступа изучены их преимущества и недостатки. На основе анализа преимуществ и недостатков, для реализации протокола многостанционного доступа, был выбран протокол типа слотированная ALOHA, за счет независимости клиентов-отправителей друг от друга. Это позволило уточнить основные дальнейшие задачи моделирования протокола, а именно:

- выполнить анализ и обоснованный выбор требуемого программного обеспечения для разработки модели;
- разработать архитектуру протокола многостанционного доступа типа ALOHA;
  - разработать принципы обмена данными между элементами системы;
  - разработать абонентскую станцию;
    - а) разработать селектор пакетов;
    - б) разработать блок модулирования;
    - в) разработать дискретизатор времени отправки данных;
  - разработать станцию приёмник;
    - а) разработать детектор сигнала;
    - б) разработать формирователь АСК;
  - исследовать работу модели.

Сформированный перечень задач позволяет перейти к разработке архитектуры системы удаленного доступа.

## 2 Моделирование протокола многостанционного доступа

### 2.1 Обзор поставленной задачи и выбор программного обеспечения

Согласно поставленным задачам необходимо выполнить моделирование и прототипирование протокола многостанционного доступа типа ALOHA. Для выполнения работы был выбран пакет прикладных программ MATLAB и его графическая среда программирования для моделирования, симуляции и анализа динамических систем Simulink. Его основной интерфейс представляет собой графический инструмент построения блок-схем и настраиваемый набор библиотек блоков.

### 2.2 Разработка архитектуры системы для моделирования протокола многостанционного доступа типа ALOHA

Перед началом моделирования была разработана структурная схема системы, представленная на рисунке 8.

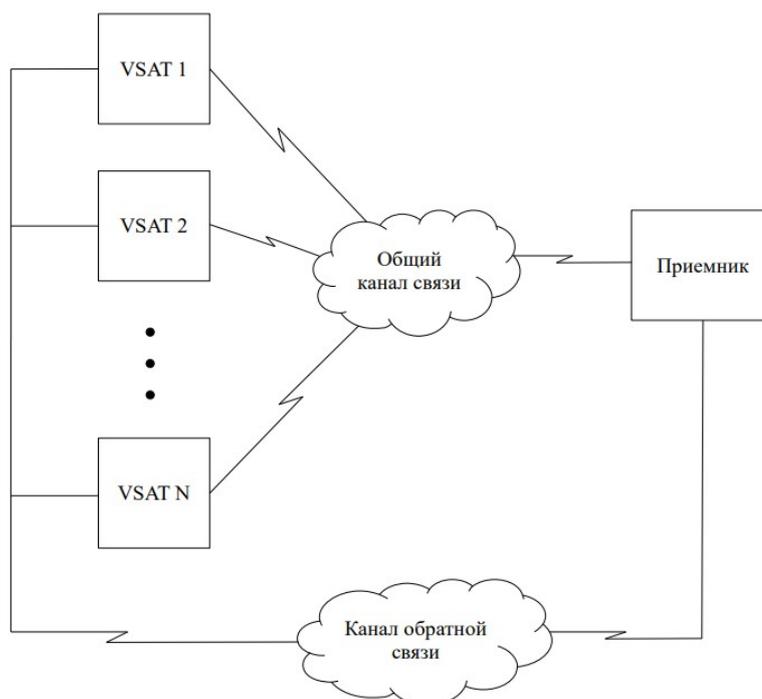


Рисунок 8 – Структурная схема системы

Разрабатываемая система имеет комплексную архитектуру, сочетающую в себе отправитель, приемник и каналы связи.

Главными аппаратными компонентами системы являются:

- VSAT (отправитель, от англ. Very Small Aperture Terminal);
- приемник.

Simulink позволяет проводить исследование модели прямо в графической среде программирования, подключив осциллограф или дисплей к интересующим потокам данных.

### 2.2.1 Устройство VSAT

VSAT представляет из себя малую спутниковую земную станцию формирующую и передающие полезные данные [4]. Схема VSAT приведена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Схема VSAT

VSAT включает в себя следующие блоки:

- селектор пакетов;
- обработчик АСК;

- генератор синхроимпульсов;
- блок модулирования.

Селектор пакетов выполняет функцию выбора и формирование пакета данных для отправки, на блок модулирования.

Обработчик АСК – представляет обработчик ответа от приемника о успешной передаче данных. После получения подтверждения передачи пакета обработчик посылает управляющий сигнал на селектор пакетов, для того чтобы селектор перешёл к передаче следующего пакета данных.

Генератор синхроимпульсов является дискретизатором системы, для отправки пакетов в фиксированные промежутки времени, а также является формирователем времени ожидания для повторной передачи данных в случае коллизий. По управляющему сигналу с дискретизатора на вход модулятора поступают данные из селектора пакетов, для их дальнейшей модуляции и передачи к приемнику.

Блок модулирования представляет из себя преобразователь данных из пакета в информационные пары бит, для их дальнейшей модуляции методом квадратурной фазовой манипуляции (QPSK).

### **2.2.2 Устройство приемника**

Приемник представляет из себя станцию приема сигнала из общего канала связи и блок определения коллизий. Схема приемника приведена на рисунке 10.

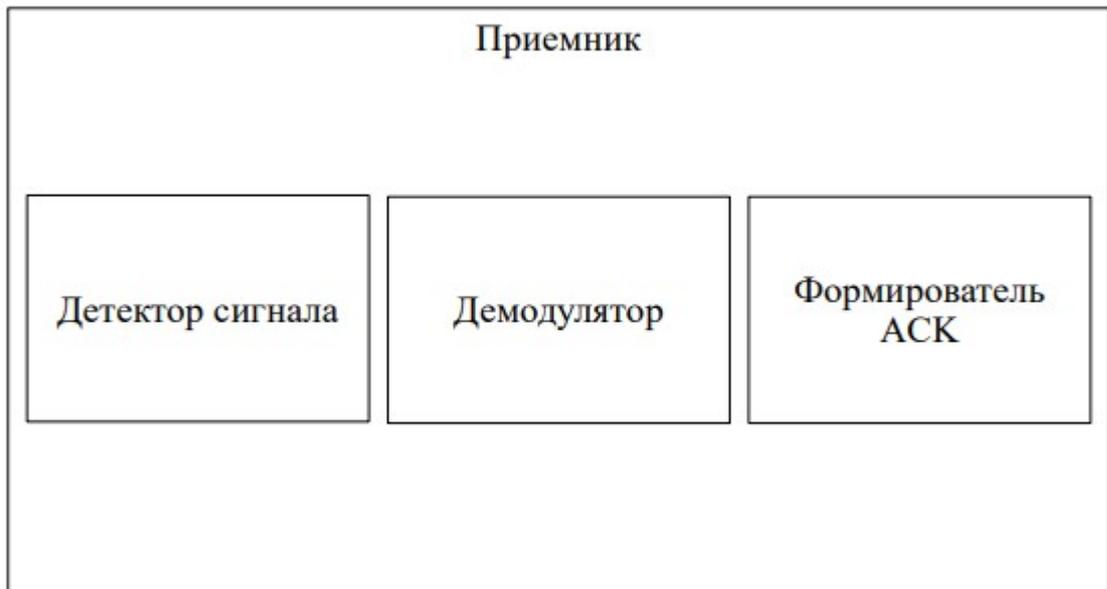


Рисунок 10 – Схема станции-приемника

Станция-приемник включает в себя следующие блоки:

- детектор сигнала;
- демодулятор;
- формирователь АСК.

Детектор сигнала представляет из себя блок для определения наличия сигнала в канале связи и формирователь управляющего сигнала для демодулятора.

Демодулятор представляет и себя преобразователь модулированных данных в полезную информацию методом QPSK-демодуляции.

Формирователь АСК является проверяющим блоком и выполняет проверку данных в демодулированном пакете на их целостность. По результатам проверки данных на целостность блок формирует короткий пакет данных АСК и отправляет их по каналу обратной связи.

### 2.2.3 Устройство канала связи

Канал связи представляет из себя общую среду передачи данных с белым шумом.

### 2.2.4 Устройство канала обратной связи

Канал обратной связи представляет из себя среду для передачи пакетов АСК без помех и без шума.

## 2.3 Моделирование архитектуры системы в Simulink

После разработки архитектуры системы в графической среде программного обеспечения MATLAB Simulink была смоделирована система из одной станции VSAT, канала общей связи и приемника система представлена на рисунке 11.

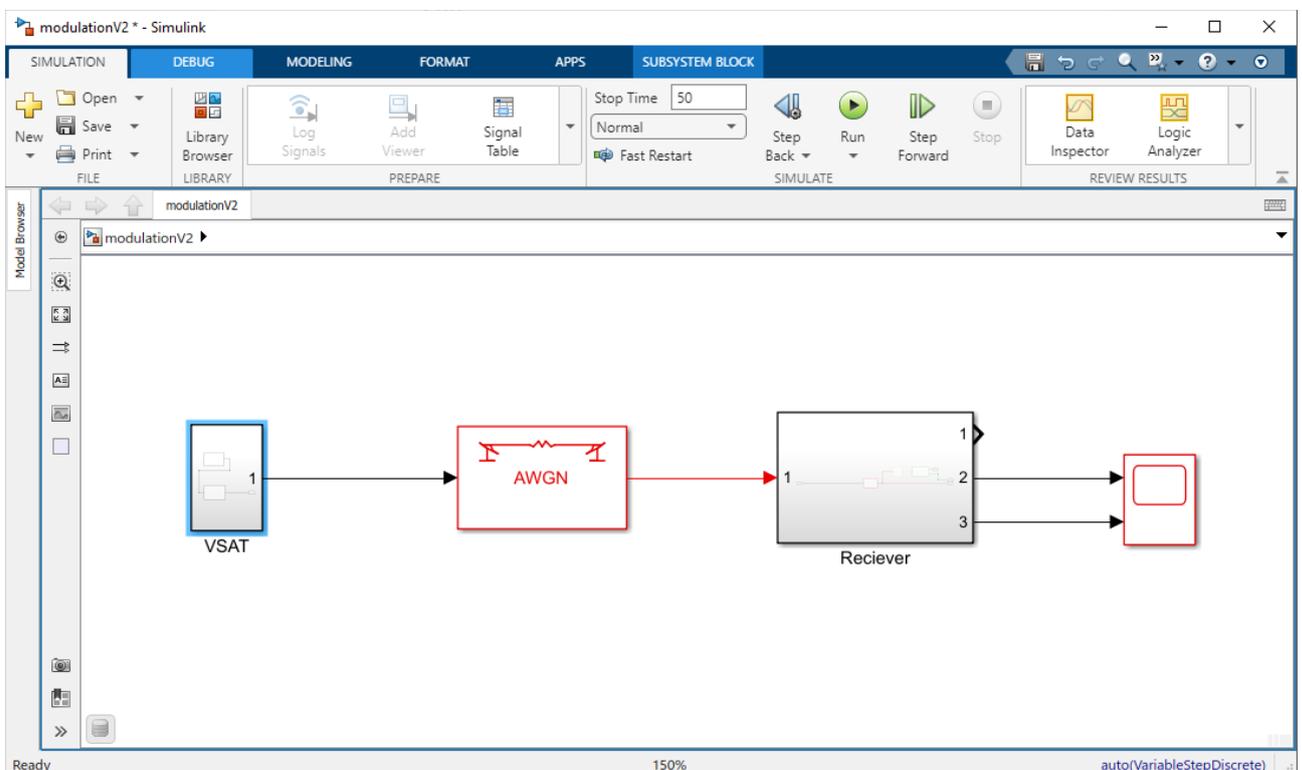


Рисунок 11 – Начальная модель системы ALOHA

## 2.4 Разработка абонентской станции

Согласно архитектурной схеме VSAT был разработан алгоритм работы станции. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 12.

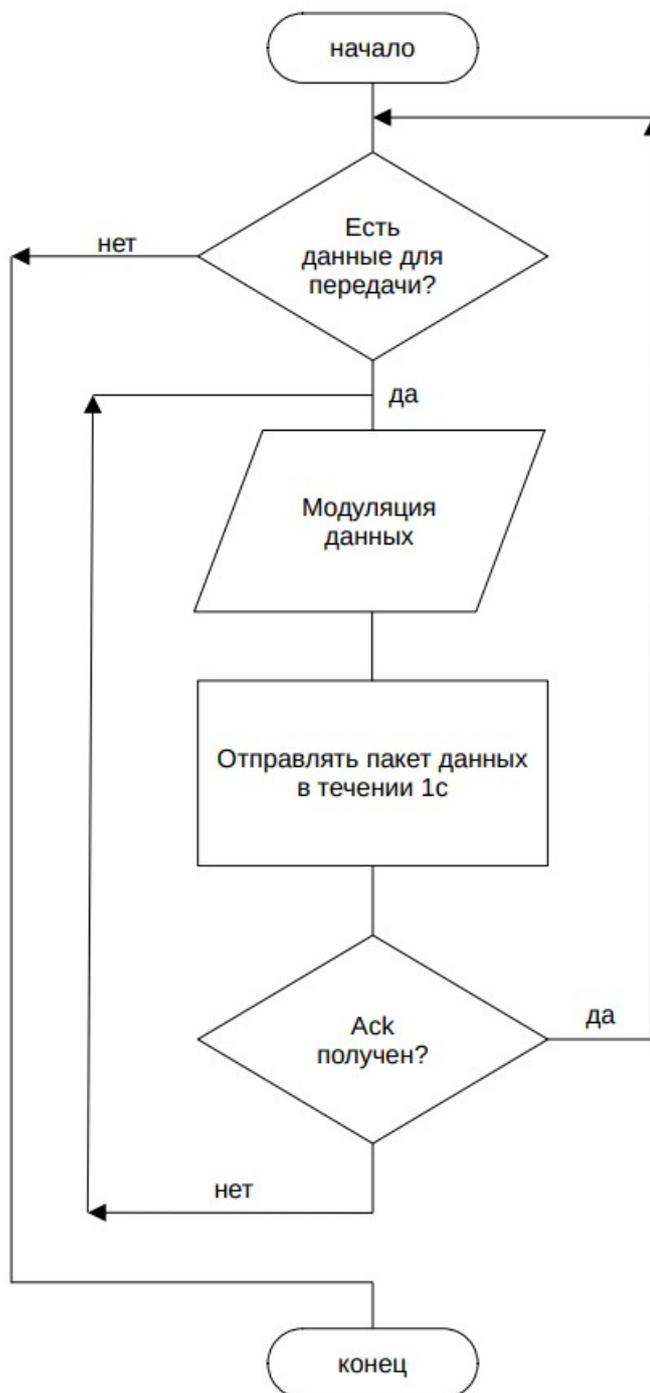


Рисунок 12 – Алгоритм работы VSAT

## 2.4.1 Разработка селектора пакетов

В среде Simulink был спроектирован блок Селектор пакетов, который хранит в себе данные для передачи, формирует пакет для передачи и отправляет его на модулятор. Модель селектора пакетов представлена на рисунке 13.

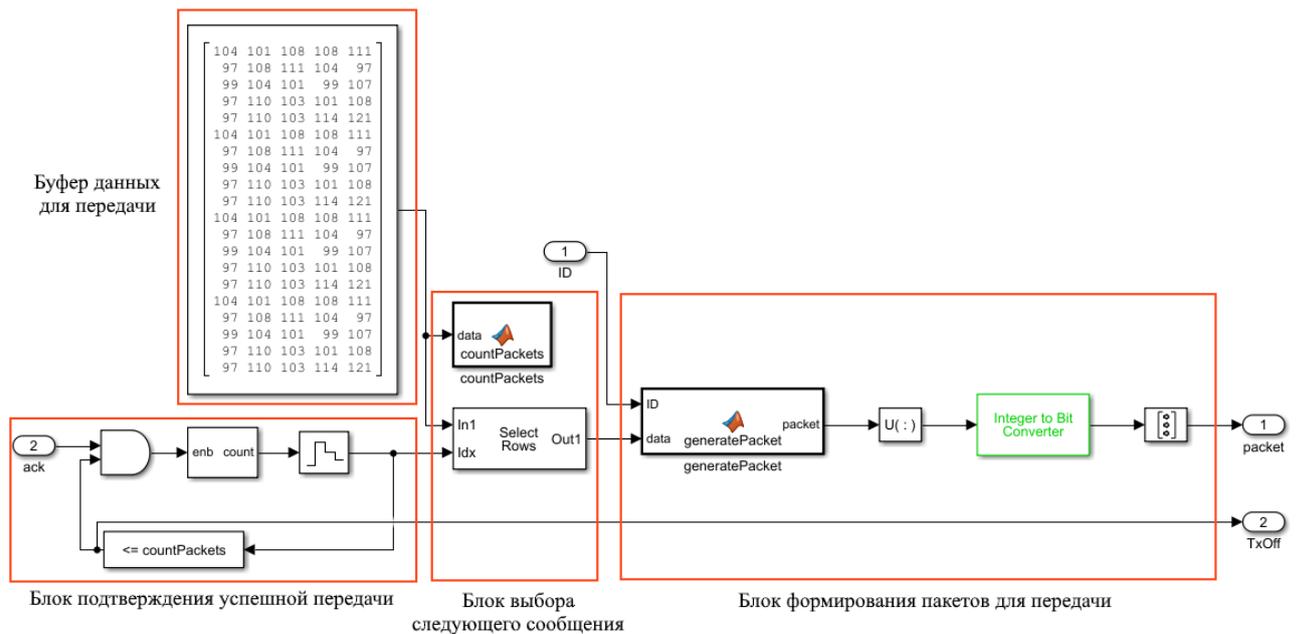


Рисунок 13 – Модель селектора пакетов

Селектор пакетов представляет из себя систему взаимодействия следующих элементов:

- блок подтверждения успешной передачи;
- заранее сформированный буфер данных для передачи;
- блок выбора следующего сообщения из буфера;
- блок формирования пакетов для передачи.

Селектор пакетов принимает на вход сигнал АСК о успешной передаче данных, а на вывод передает пакет для модулирования и дальнейшей передачи и сигнал текущего состояния (идёт передача данных или нет).

## 2.4.2 Разработка дискретизатора

Дискретизатор необходим для того чтобы отправлять пакеты данных в фиксированные моменты времени через случайный промежуток времени. Дискретизатор работает все время функционирования системы. Модель дискретизатора продемонстрирована на рисунке 14.

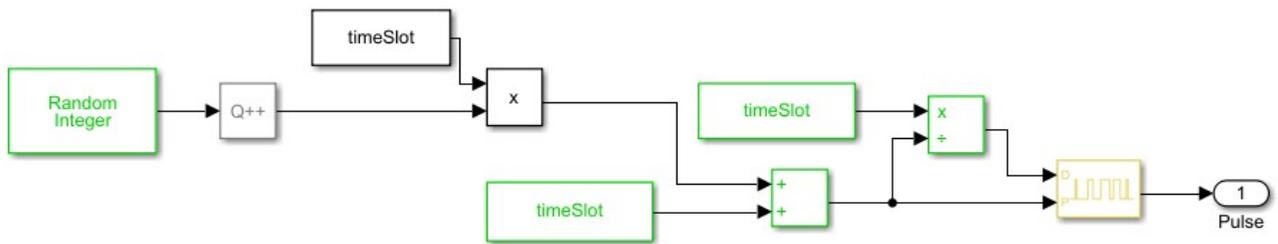
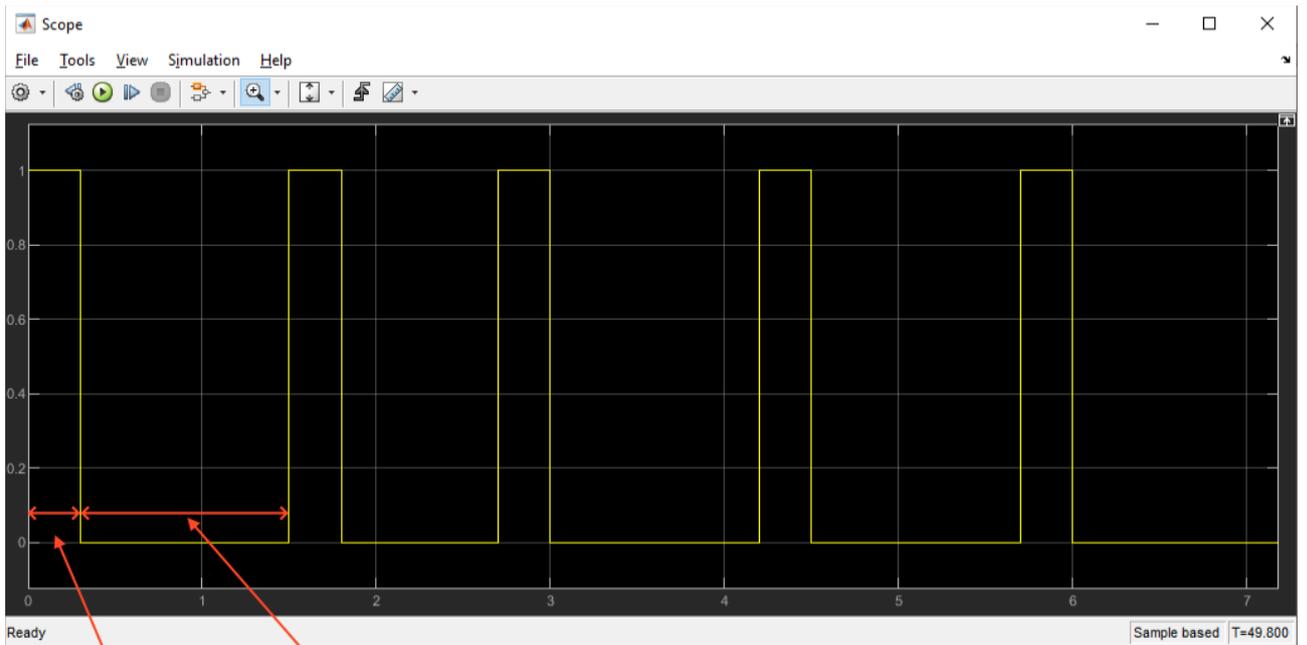


Рисунок 14 – Модель дискретизатора

Дискретизатор включает в себя генератор случайных чисел, генерирующий случайное время ожидания между повторными передачами пакетов задаваемого в модели, и формирователь управляющего сигнала передачи, длительностью в один слот. Таким образом пакет данных передается один отсчет времени, после чего через случайный промежуток времени будет передан следующий пакет. Временная диаграмма управляющего сигнала представлена на рисунке 15.



Управляющий сигнал  
передачи

Случайный период времени  
между повторной передачей

Рисунок 15 – Временная диаграмма управляющего сигнала

Длительность таймслота и максимального времени ожидания задается в окне управления.

### 2.4.3 Разработка модулятора

Модель модулятора представляет собой формирователь пар бит, так как QPSK кодирует пару бит и сам модулятор, блок представлен на рисунке 16.

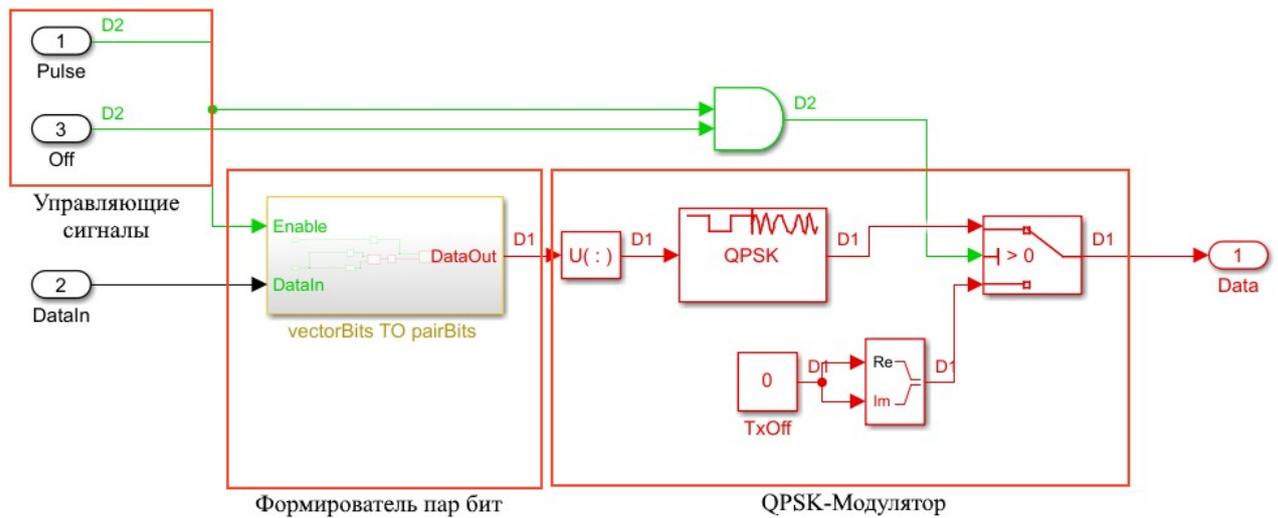


Рисунок 16 – Модель модулятора

Модель состоит из формирователя пар бит и QPSK-модулятора. На вход принимает данные для модуляции и управляющие сигналы от дискретизатора и селектора пакетов, на выходные данные поступает модулированный сигнал, который переходит в общий канал связи.

#### 2.4.4 Модель блока VSAT

Из разработанных моделей был спроектирован блок станции VSAT представленный на рисунке 17.

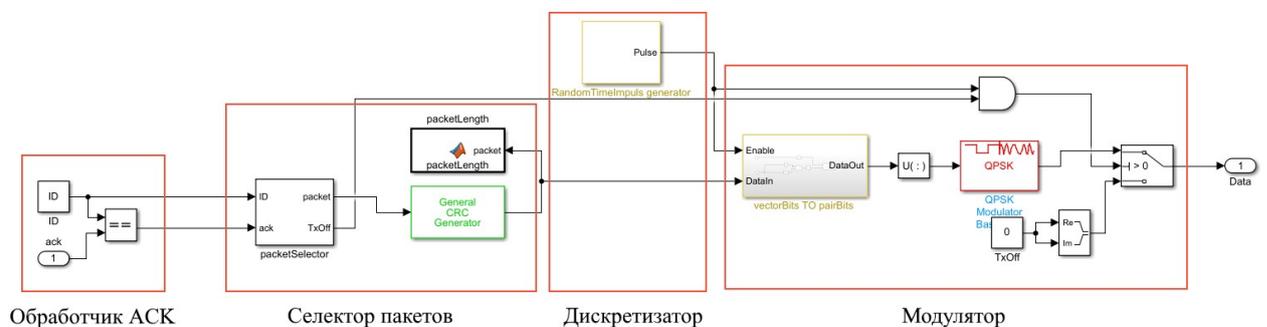


Рисунок 17 – Модель блока VSAT

В начальный момент времени, дискретизатор посылает управляющий сигнал для отправки пакетов и включает модулятор. Если в селекторе пакетов есть данные на передачу, он формирует пакет и отправляет его на модулятор. Модулятор принимает на входы сигнал включения и полезные данные, которые он модулирует и отправляет в канал связи. Обработчик АСК сверяет уникальный идентификатор станции с идентификатором отправителя совершившего успешную передачу и формирует управляющий сигнал о переходе к следующему пакету.

## **2.5 Разработка станции приемника**

Согласно блок схеме был разработан алгоритм работы приемника, представленный на рисунке 18.

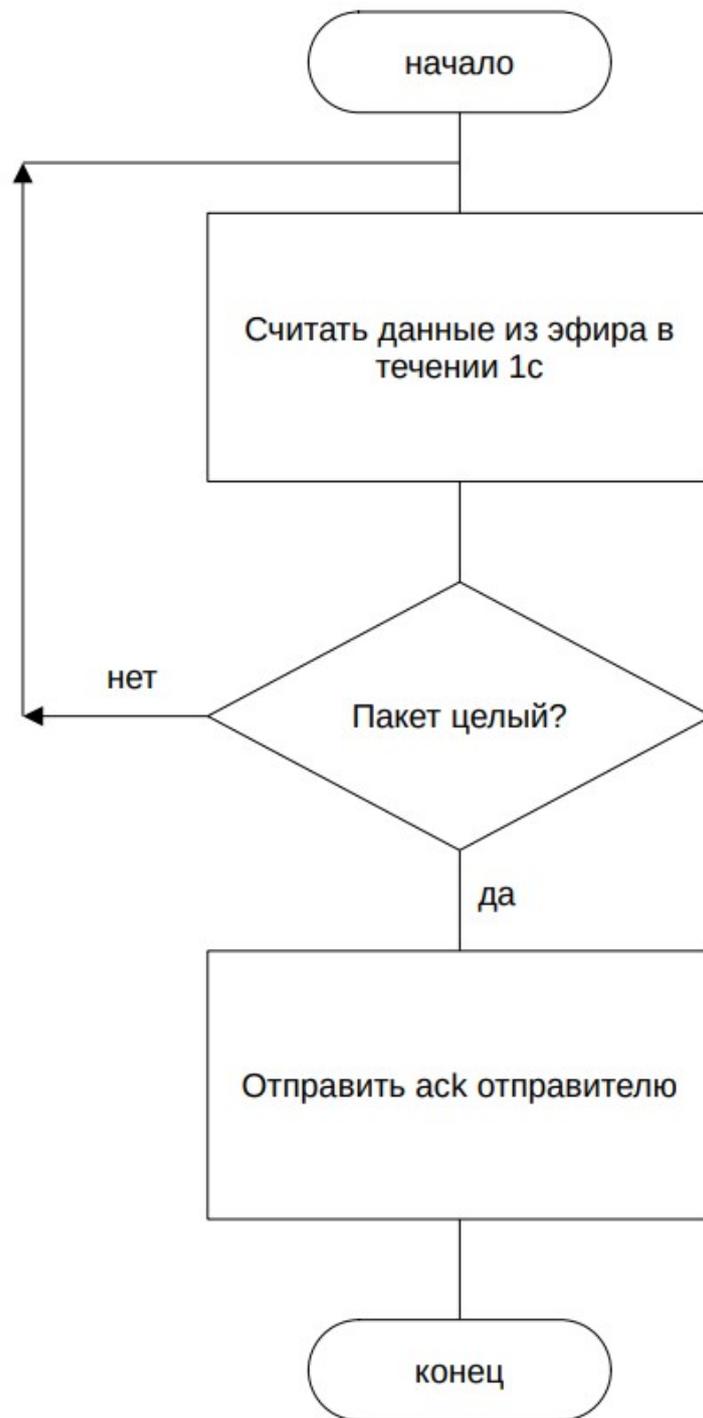


Рисунок 18 – Алгоритм работы приемника

## 2.5.1 Разработка детектора сигнала

Детектор сигнала необходим для того чтобы демодулятор работал только тогда, когда в эфире есть данные для получателя, модель детектора сигнала представлена на рисунке 19.

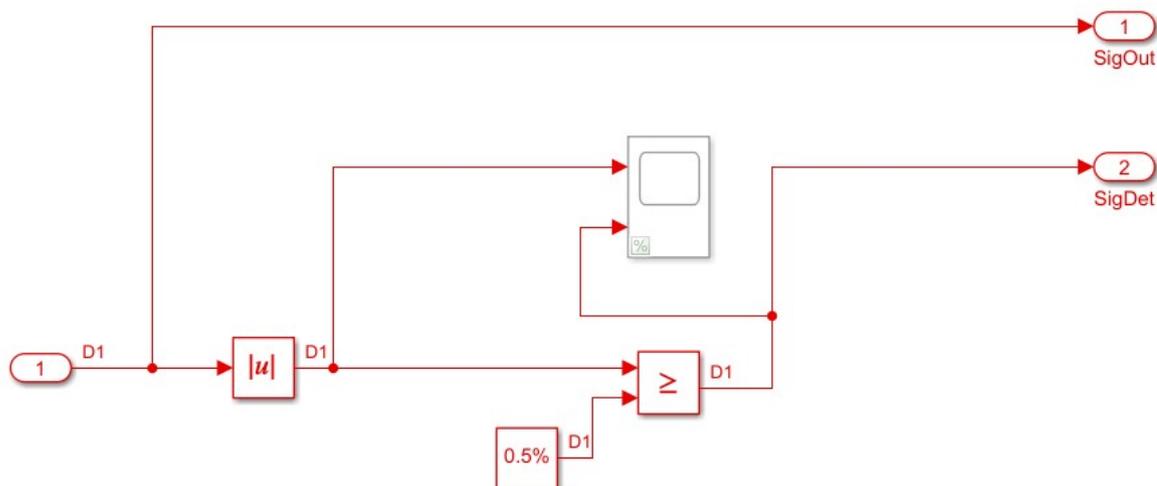


Рисунок 19 – Модель детектора сигнала

На вход детектора сигнала поступают данные из эфира на выход же поступает управляющий сигнал о том что данные в эфире значительно превышают шум, что является наличием сигнала.

## 2.5.2 Разработка демодулятора

Модель разработанного демодулятора представлена на рисунке 20.

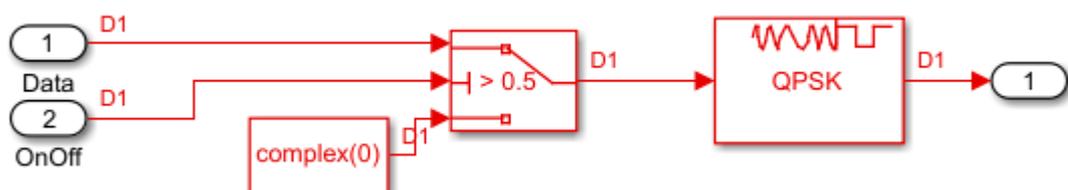


Рисунок 20 – Модель демодулятора

Модель принимает на вход данные и управляющий сигнал с детектора сигнала. Данные демодулируются и поступают на формирователь АСК. Данные демодулируются и поступают на формирователь АСК.

### 2.5.3 Разработка формирователя АСК

Формирователь подтверждения сигнала проверяет пакет на целостность и передает сигнал подтверждения по каналу обратной связи если пакет целый.

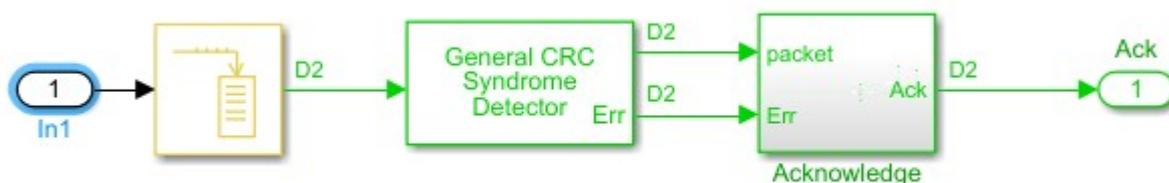


Рисунок 21 – Модель формирователя подтверждения успешной передачи

На вход модели поступают демодулированные данные, из них формируется пакет и проверяется на целостность, в случае успешного извлечения из пакета данных о отправителе формируется и отправляется пакет АСК.

### 2.5.4 Модель блока станции приемника

Объединив вышеописанные модели была спроектирована модель станции приемника, представлена на рисунке 22.

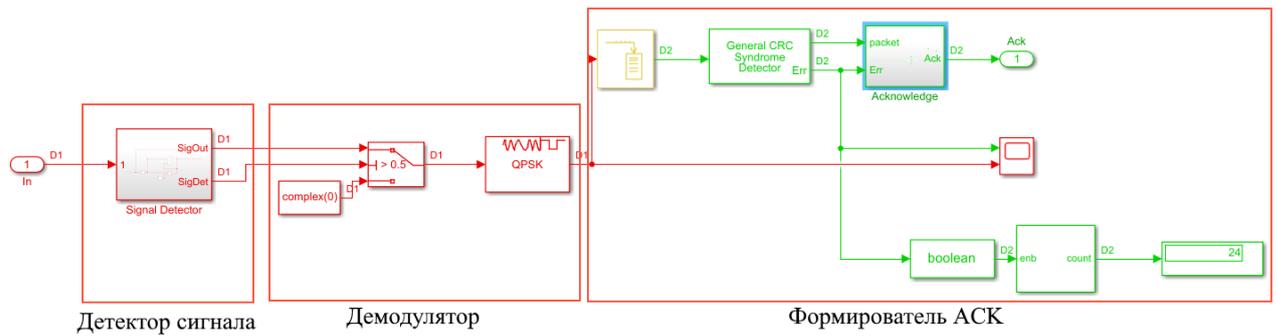


Рисунок 22 – Модель станции приемника

В начальный момент времени включается детектор сигнала и регистрирует наличие сигнала в эфире. Когда сигнал обнаружен включается демодулятор и демодулирует полученные данные. Формирователь АСК собирает данные в пакет и проверяет на целостность. В случае успешной идентификации отправителя в общий канал обратной связи отправляется подтверждение с идентификатором станции совершившей успешную передачу.

## 2.6 Выводы

В результате разработки системы многостанционного доступа типа АЛОНА была спроектирована структурная схема системы. В соответствии с полученной схемой были разработаны модели станции отправителя и станции приемника. Из разработанных моделей была спроектирована модель системы многостанционного доступа типа АЛОНА.

Таким образом, после завершения всех этапов разработки была завершена разработка протокола многостанционного доступа к тестированию и исследованию разработанной системы.

### 3 Тестирование и исследование протокола многостанционного доступа

#### 3.1 Обзор возможностей настройки параметров системы

На этапе разработки системы многостанционного доступа АЛОНА была добавлена возможность изменения условий работы системы для проведения различных исследований. Модель станции отправителя получила пользовательский интерфейс для изменения следующих параметров:

- уникальный идентификатор клиентской станции;
- время одного таймслота;
- максимальное время ожидания до момента повторной передачи в таймслотах.

Таким образом в модели есть возможность добавить несколько клиентских станций (VSAT) и провести настройку каждой станции. Интерфейс изменения параметров работы станции представлен на рисунке 23.

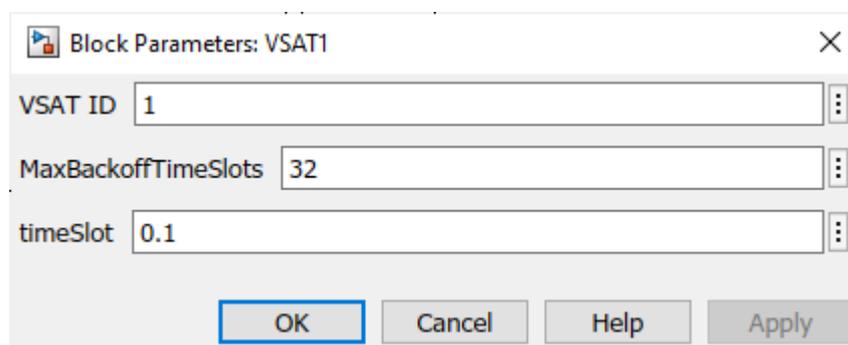


Рисунок 23 – Интерфейс изменения входных параметров VSAT

#### 3.2 Тестирование работоспособности системы

После завершения этапа разработки была собрана модель из одной станции VSAT, общего канала передачи данных и станции приемника, проиллюстрирована на рисунке 24.

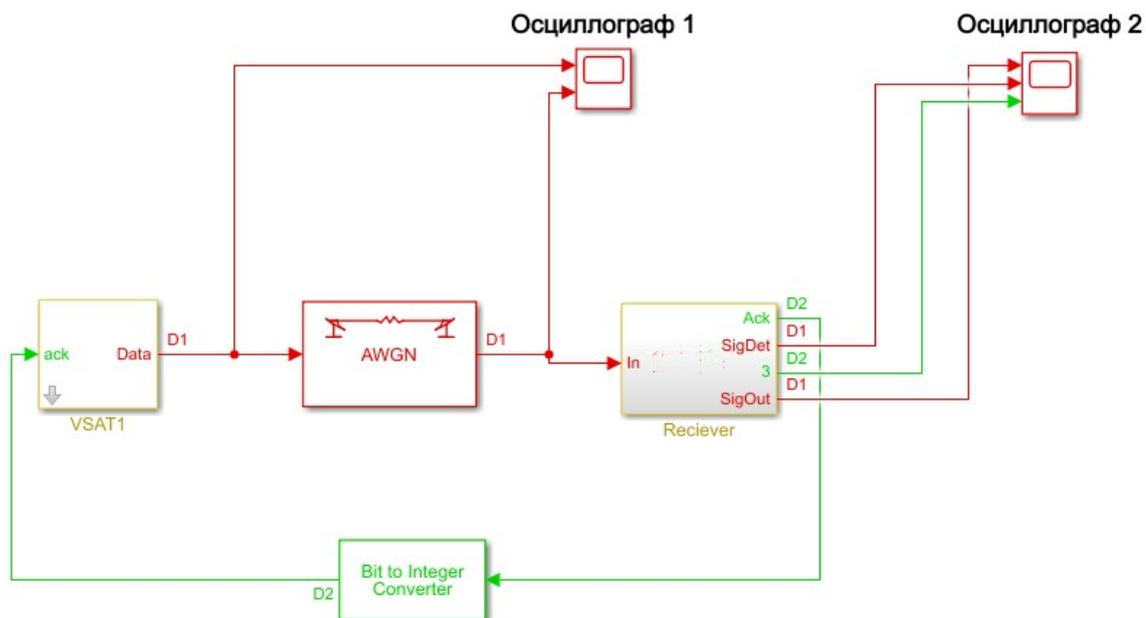


Рисунок 24 – Модель для проведения теста работоспособности

Симуляция работы системы проводилась на протяжении 10 секунд, параметры установленные на VSAT1:

- уникальный идентификатор 1;
- время одного таймслота 1 секунда;
- максимальное время ожидания до повторной передачи 4 секунды.

Канал связи с помехами настроен таким образом, что отношение мощности сигнала к мощности шума составляет 25дБ (сигнал мощнее шума в 316 раз).

На входные порты осциллографа 1 подается модулированное сообщение и сообщение пропущенное через канал связи с помехами. На входные порты осциллографа 2 подается сигнал из канала связи, управляющий сигнал с детектора сигнала и логический сигнал повреждения переданного пакета данных, осциллограммы представлены на рисунках 25, 26.

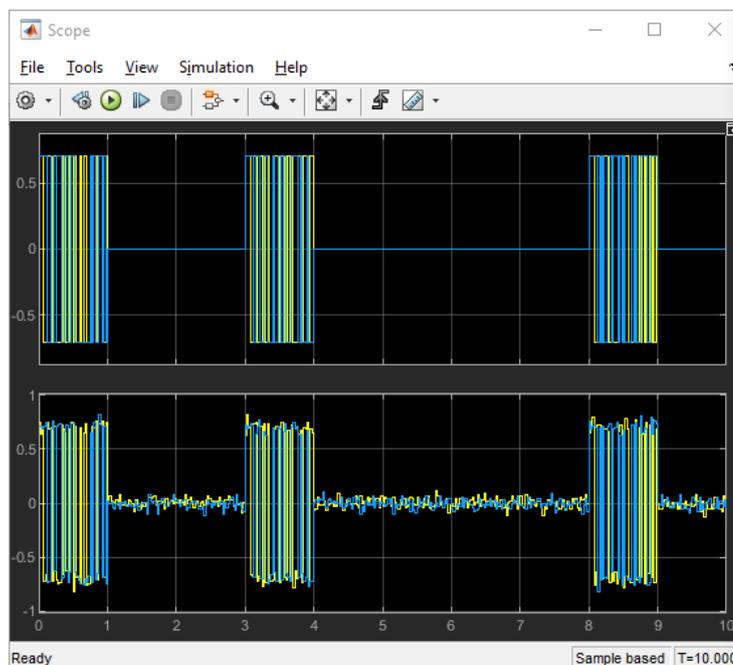


Рисунок 25 – Осциллограмма с осциллографа 1

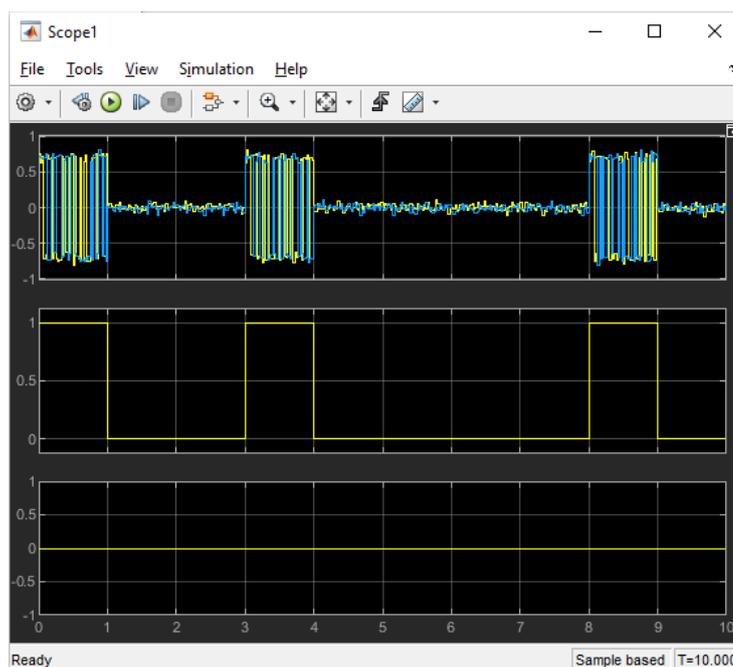


Рисунок 26 – Осциллограмма с осциллографа 2

На рисунке 25 видно отправленные модулированные пакеты данных, а также эти же данные после воздействия шума. На рисунке 26 видно полученный сигнал, управляющий сигнал включения демодулятора и сигнал

наличия повреждения в демодулированном блоке данных. Можно заметить, что детектор сигнала верно регистрирует наличие полезных данных в слегка зашумленном канале. Так как сигнал наличия повреждения в демодулированном блоке данных является логическим и равным нулю пакеты передаются и демодулируются станцией приемником успешно.

Следующим тестом был проведен похожий тест работоспособности, но с наличием нескольких станций отправителей и с большим временем симуляции, время симуляции составило 25 секунд, а количество станций было увеличено до 3х, тестируемая модель представлена на рисунке 27.

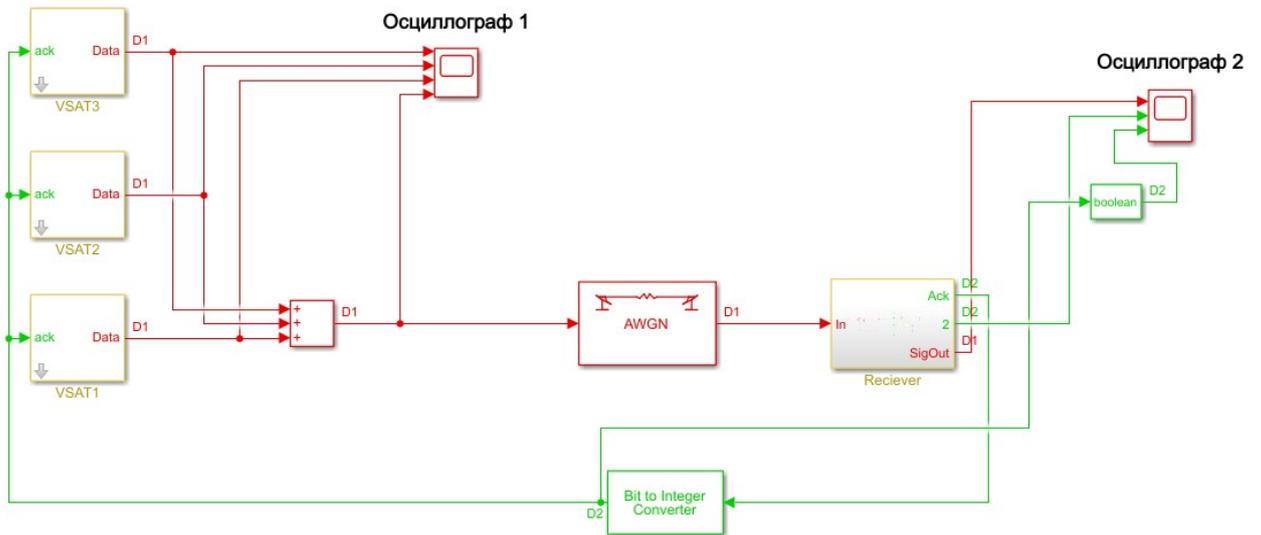


Рисунок 27 – Модель для проведения теста работоспособности

Осциллограф 1 считывает отправленные данные с каждой станции а также эфир в который вещают все станции, осциллограф 2 показывает сигнал полученный из канала связи, сигнал наличия повреждений в демодулированном пакете и сигнал отправления АСК в случае успешно полученного сообщения. Осциллограммы приведены на рисунках 28, 29.

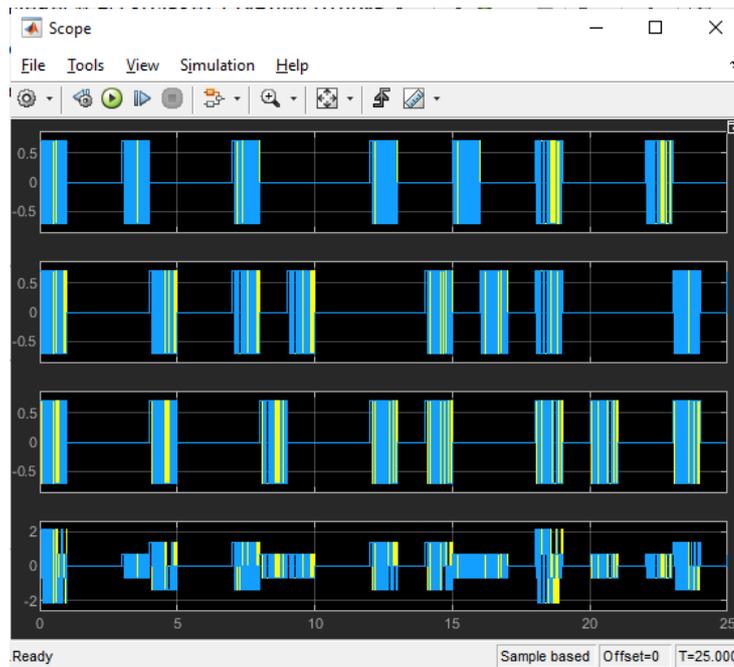


Рисунок 28 – Осциллограмма с осциллографа 1

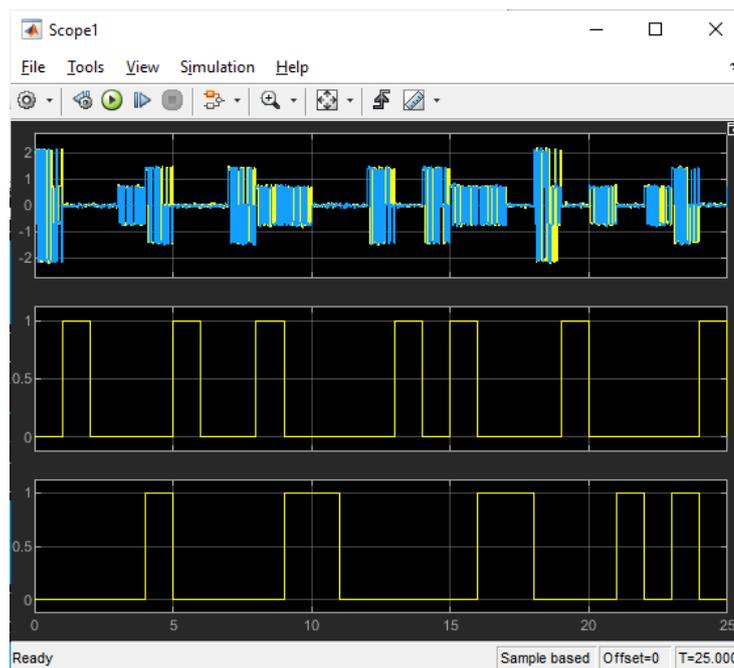


Рисунок 29 – Осциллограмма с осциллографа 2

В начальный момент времени все станции имеют данные для передачи и начинают вещание, сигнал складывается, что видно на первом осциллографе. Второй осциллограф показывает что сигнал приходит на станцию приемник, и демодулируется ей, так как пакеты были отправлены в одинаковые моменты

времени, данные оказались повреждены, о чем свидетельствует уровень логической единицы на втором канале осциллографа сразу после передачи (уровень наличия повреждений в пакете). В моменты когда приходит целый пакет, он успешно демодулируется, о чем свидетельствует уровень логического нуля на втором канале осциллографа и отправляется сообщение АСК, сигнализирующее о успешном получении пакета данных приемником.

Проведенные тесты позволяют сделать выводы о базовой работоспособности системы как с одной станцией отправителем так и с несколькими станциями. В случае с множеством станций клиентов периодически возникают коллизии наличие которых регистрирует станция приемник. Проведенное тестирование базовой работоспособности позволяет перейти к исследованию модели при различных уровнях шума, интенсивности отправки данных и большем количестве клиентских станций.

### **3.3 Исследование модели протокола многостанционного доступа**

В исследовании протокола АЛОНА проводилась оценка пропускной способности канала связи в системе многостанционного доступа. Оценка пропускной способности проводилась при следующих условиях.

- один терминал передачи нагружает канал связи на  $\approx \frac{1}{10}$  часть от его пропускной способности;
- количество терминалов увеличивается равномерно (нагрузка на канал связи увеличивается равномерно);
- поток запросов на передачу данных соответствует равномерному распределению;
- все пакеты данных имеют одинаковую длину и передаются одинаковое время.

Было проведено несколько симуляцией для различного количества терминалов, по полученным результатам в среде MATLAB был построен

график зависимости пропускной способности канала связи в зависимости от нагрузки канала связи трафиком. Результаты исследования приведены на рисунке 30. Теоретический анализ существующих систем АЛОНА приведён на графике представленном на рисунке 31.

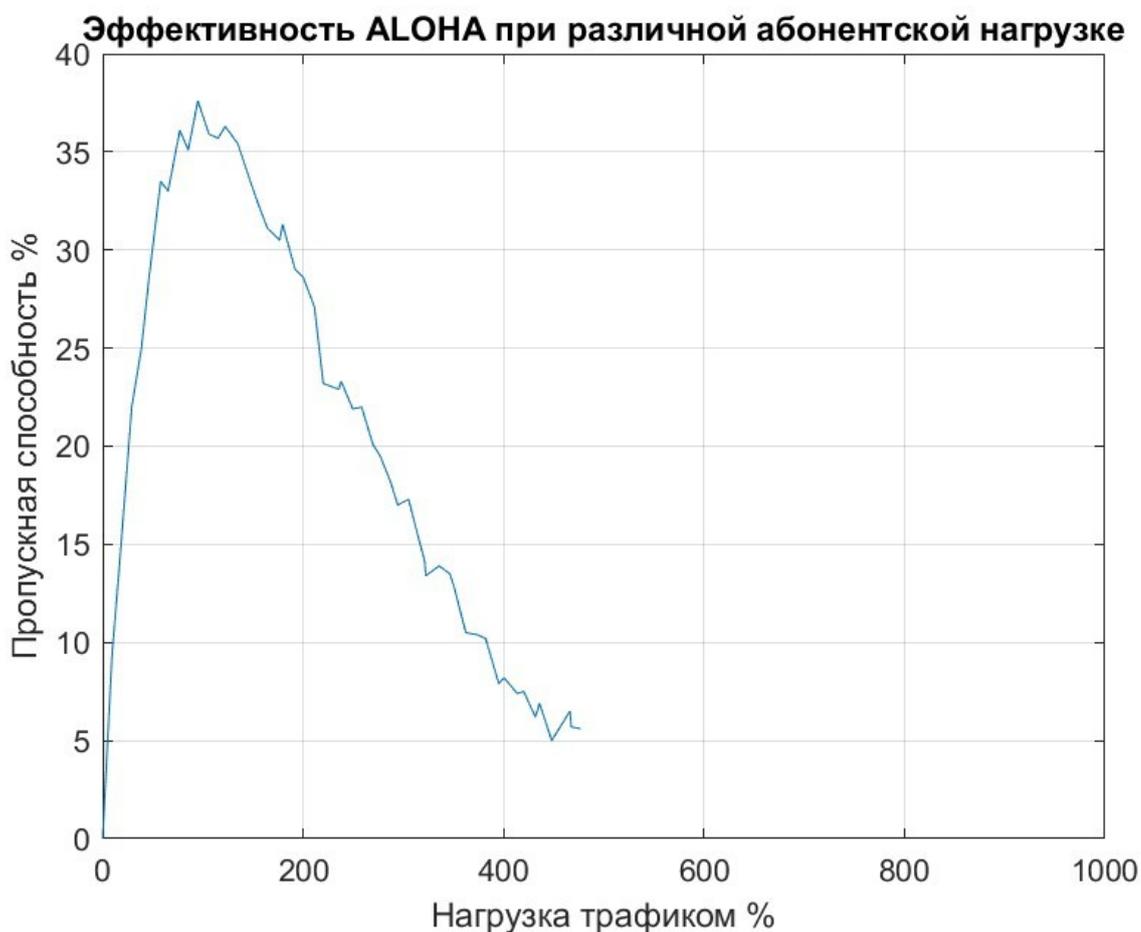


Рисунок 30 – Оценка пропускной способности канала связи для системы АЛОНА

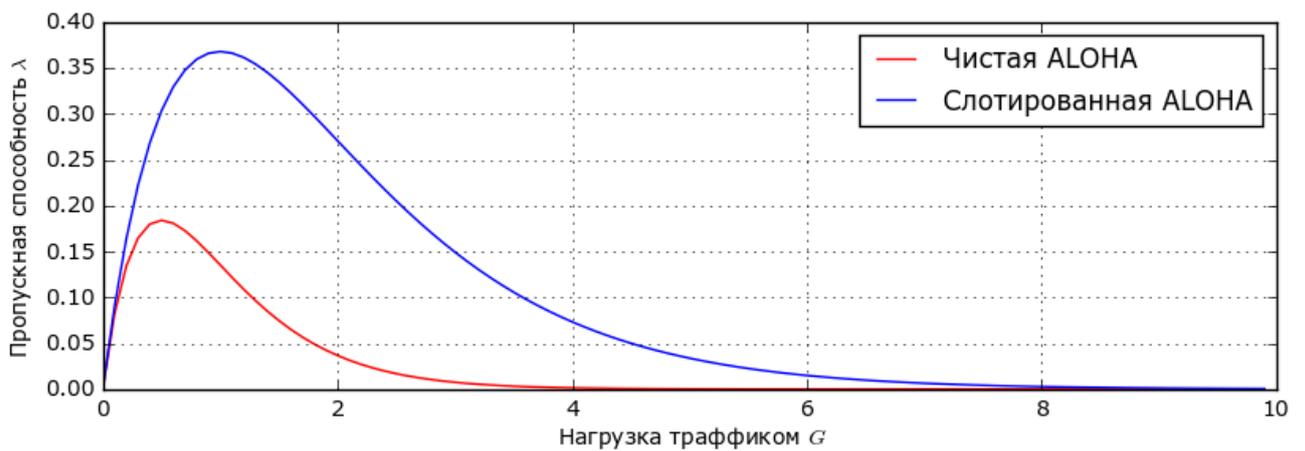


Рисунок 31 – Оценка пропускной способности канала для существующих систем ALOHA

Для существующих систем работающих по протоколу чистая ALOHA максимальная эффективность канала связи наблюдается при нагрузке  $\approx 50\%$  от общей пропускной способности канала, что соответствует интенсивности запросов на передачу данных в 1 пакет в удвоенное время передачи пакета так как в протоколе чистая ALOHA пакет занимает два временных интервала передачи данных, что проиллюстрировано на рисунке 32. Пропускная способность канала связи при чистой ALOHA составляет  $\approx 18\%$  максимальной.

Для систем работающих по протоколу слотированная ALOHA максимальная эффективность канала связи наблюдается при нагрузке  $\approx 100\%$  от общей пропускной способности канала, что соответствует интенсивности запросов в 1 пакет в 1 момент времени передачи. Пропускная способность канала связи при слотированной ALOHA составляет  $\approx 36\%$  максимальной пропускной способности канала.

Результаты проведенных исследований соответствуют теоретическим данным анализа пропускной способности канала связи в существующих системах, что говорит о работоспособности созданной модели.

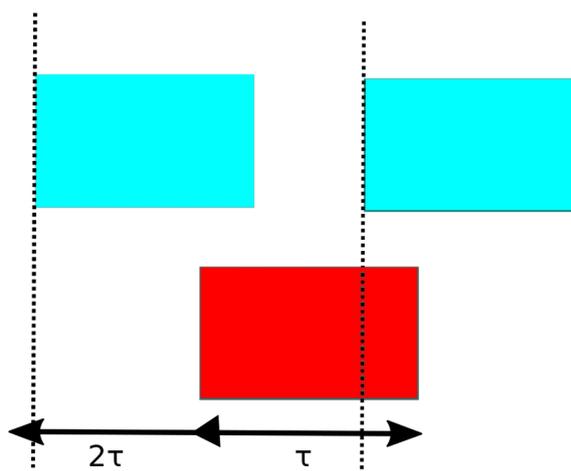


Рисунок 32 – Интервалы времени занимаемые пакетами в слотированной и чистой АЛОНА

### 3.4 Выводы

Было проведено тестирование и исследование математической модели протокола многостанционного доступа, при этом было выполнено:

- обзор возможностей настройки параметров системы;
- выполнено тестирование базовой работоспособности протокола;
- при тестировании определено, что разработанный протокол корректно работает для нескольких абонентских станций;
- проведено исследование пропускной способности канала связи при использовании протокола АЛОНА.

Полученные результаты исследований разработанного протокола позволяют сформировать направления дальнейшего развития систем многостанционного доступа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе реализации проекта поэтапно решались определенные по результатам анализа задания на ВКР задачи. На начальном этапе была проведена классификация и анализ существующих протоколов многостанционного доступа для различных систем связи. Проведенный анализ позволил сформулировать преимущества и недостатки конкретной реализации протоколов многостанционного доступа, и выбрать метод протокола для реализации и разработки.

На втором этапе, при разработке протокола многостанционного доступа была разработана общая архитектура и организация системы взаимодействия блоков математической модели, а также разработана структура конкретных блоков. Это позволило перейти к выбору требуемого программного обеспечения и дальнейшей разработке математической модели. После чего в среде разработки была разработана модель системы многостанционного доступа.

На заключительном, этапе работ, был выполнен обзор разработанных возможностей настройки параметров системы, а также было проведено тестирование базовой работоспособности системы. После успешного тестирования базовой работоспособности системы было проведено исследование пропускной способности канала связи работающего по разработанному протоколу была получена качественная оценка системы, а именно зависимость пропускной способности канала связи от нагрузки канала связи абонентскими станциями. Полученная характеристика была представлена к сравнению с теоретическими характеристиками уже существующих систем.

Полученные результаты исследования тестовой математической модели позволяют перейти к разработке аппаратных решений встраиваемых систем для многостанционного доступа, что будет выполнено в дальнейшем развитии работы о системах многостанционного доступа в магистратской диссертации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Таненбаум, Эндрю С. Компьютерные сети / Эндрю С. Таненбаум. – Питер, 2012. – 955 с. – ISBN 978-5-459003-42-0.
2. Bruce, R. Elbert. The Satellite Communication Applications Handbook, Second Edition / R. Elbert. Bruce. – Artech House, 2004. – 532 с. – ISBN 978-1-580534-90-1.
3. Gerard, Maral. Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology / Maral Gerard, Bousquet Michel. – Wiley, 2009. – 743 с. – ISBN 978-0-470660-88-1.
4. Gerard Maral. VSAT Networks /Maral Gerard. – Wiley, 2004. – 296 с. – ISBN 978-0-9780470866-84-9.
5. GeeksforGeeks : A computer science portal for geeks : сайт. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/multiple-access-protocols-in-computer-network> (дата обращения: 01.04.2023).

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
институт  
Вычислительная техника  
кафедра

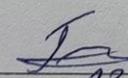
УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
подпись О.В. Непомнящий  
инициалы, фамилия  
« 23 » 06 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

«Моделирование и прототипирование протокола многостанционного  
доступа»  
тема

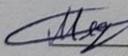
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»  
код и наименование направления

Руководитель

  
подпись, дата 23.06.23  
ст. преподаватель  
должность, ученая степень

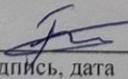
И.Н. Рыженко  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата 23.06.23

А.А. Мяделец  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

  
подпись, дата 23.06.23  
ст. преподаватель  
должность, ученая степень

И.Н. Рыженко  
инициалы, фамилия

Красноярск 2023