Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

Дисциплина: Аппаратное обеспечение компьютерных сетей

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

на тему

ЛОКАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СЕТЬ,

ВАРИАНТ 37

БГУИР КП 1–40 02 01 01 207 ПЗ

Студент: А.В. Гуринович

Руководитель: И.И. Глецевич

МИНСК 2022

|  |  |
| --- | --- |
| Вариант | 37 |
| Объект | кафедра коммерческого университета, на которой обучают основам программирования |
| Форма здания, этажи, суммарная площадь помещений в квадратных метрах | прямоугольная, 3-4, 340 |
| Количество стационарных пользователей (ПК), количество стационарных подключений, количество мобильных подключений | 60, 67, 30 |
| Сервисы (дополнительные подключения) | web-сервер для внутреннего и внешнего использования |
| Прочее оконечное оборудование (дополнительные подключения) | принтеры, цветные принтеры |
| Подключение к Internet | ADSL2+ |
| Внешняя адресация IPv4,  внутренняя адресация IPv4,  адресация IPv6 | непосредственного подключения к провайдеру нет, публичная подсеть, взаимодействие в рамках внутренней сети |
| Безопасность | IPsec-VPN для удаленного подразделения |
| Надежность | особых требований нет |
| Финансы | бюджетная сеть |
| Производитель сетевого оборудования | HPE/Aruba |
| Дополнительные требования заказчика | нет |

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc122317388)

[1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 5](#_Toc122317389)

[1.1 ADSL2+ 5](#_Toc122317390)

[1.2 IPSec-VPN 6](#_Toc122317391)

[2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ 7](#_Toc122317392)

[2.1 Модем 7](#_Toc122317393)

[2.2 Маршрутизатор 7](#_Toc122317394)

[2.3 Коммутаторы 7](#_Toc122317395)

[2.4 Беспроводные точки доступа 8](#_Toc122317396)

[2.5 Web-сервер 8](#_Toc122317397)

[3 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ 9](#_Toc122317398)

[3.1 Расположение устройств 9](#_Toc122317399)

[3.2 Производитель сетевого оборудования 9](#_Toc122317400)

[3.3 Выбор модели модема 10](#_Toc122317401)

[3.4 Выбор модели маршрутизатора 10](#_Toc122317402)

[3.5 Выбор модели коммутаторов 11](#_Toc122317403)

[3.6 Выбор модели беспроводной точки доступа 11](#_Toc122317404)

[3.7 Выбор модели рабочих станций 12](#_Toc122317405)

[3.8 Выбор модели сервера 12](#_Toc122317406)

[3.9 Выбор моделей принтеров 13](#_Toc122317407)

[3.10 Виртуальные локальные компьютерные сети 14](#_Toc122317408)

[3.11 Внешняя адресация 15](#_Toc122317409)

[3.12 Внутренняя IPv4 адресация 16](#_Toc122317410)

[3.13 Внутренняя IPv6 адресация 18](#_Toc122317411)

[3.14 Конфигурация сетевого оборудования 19](#_Toc122317412)

[4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ 23](#_Toc122317413)

[4.1 План помещений 23](#_Toc122317414)

[4.1 Общая организация СКС 23](#_Toc122317415)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 24](#_Toc122317416)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 25](#_Toc122317417)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 27](#_Toc122317418)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Б 28](#_Toc122317419)

[ПРИЛОЖЕНИЕ В 29](#_Toc122317420)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Г 30](#_Toc122317421)

# ВВЕДЕНИЕ

В контексте кафедры коммерческого университета, которая обучает основам программирования, разработка локальной компьютерной сети (далее – ЛКС) является первостепенной задачей. Обучение программированию проводится на компьютерах, получение заданий и иной информации студентами в первую очередь будет осуществляется с локального хранилища кафедры или в сети Интернет, что подразумевает обеспечение стабильного и быстрого соединения в рамках кафедры.

Использование технологии ADSL2+ для доступа к сети Интернет накладывает ограничения на возможности связи кафедры с внешним миром, особенно ограничен восходящий канал. Необходимо организовать пиритизацию трафика устройств преподавателей, так как их действия, как правило, распространяются на всех студентов, а следовательно, являются более важными.

Так как кафедра располагается на нескольких этажах, логично расположить равное количество ПК на каждом из этажей. При расчёте на три этажа, по 20 ПК на каждом этаже, дополнительно несколько принтеров, беспроводные подключения, потребуется по коммутатору на этаж, точки беспроводного доступа.

Web-сервер должен быть доступен круглосуточно так как на неё могут содержаться задания и иная информация, которая должна быть доступна не только в рамках локальной подсети.

Использование IPSec-VPN позволит филиалу кафедры безопасно использовать внутренние ресурсы кафедры, которые закрыты от общего доступа через сеть Интернет.

Цель проекта: разработка проект локальной компьютерной сети для кафедры коммерческого университета, на которой обучаются основам программирования.

Задачи: изучение материала по заданию на проект до начала выполнения проекта, как и дальнейшее изучение технологий по ходу выполнения проекта; разработка общей структуры сети, структурной схемы; выбор конкретных устройств, обоснование их выбора, описание настройки устройств, составление функциональной схемы; разработка структурной кабельной системы, составление её схемы.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 ADSL2+

Стандарт ADSL2+ регламентируется рекомендацией Международного союза электросвязи (далее – ITU) G.992.5 [1]. Технология относится к DSL-технологиям (Digital Subscriber Line), которые предполагают использование телефонной сети общего пользования для передачи данных. DSL позволяет получать широкополосный доступ в интернет без создания дополнительной инфраструктуры со стороны абонента, требуется только установка оборудования со стороны провайдера. Скорость придачи данных DSL значительно падает с увеличением длины линии.

DSL-технологии делятся на ассиметричные и симметричные по скорости приёма и придачи из сети.

Симметричные вариации технологии обеспечивают одинаковую скорость как для передачи данных в, так и для приёма данных из сети.

Ассиметричные вариации DSL предполагают, что скорость нисходящего потока (приём из сети) значительно превышает скорость восходящего потока (передача в сеть). Для этого используются разные частоты сигнала для принимаемого и отправляемого модемом сигнала, при этом частота принимаемого сигнала будет значительно больше.

Так как линия, используемая DSL-технологиями, также может использоваться для телефонной связи, которая осуществляется на частотах до 4 килогерц, они используют частоты выше, чтобы обеспечить возможность параллельного использования линии как для телефонии, так и для DSL-соединения.

Для разделения телефонного и DSL-сигнала используются сплиттеры – фильтры, которые разделяют и соединяют сигнал из абонентской линии на отдельные телефонную и DSL линии.

Со стороны абонента устанавливается модем, который моделирует цифровой сигнал, полученный из внутренней локальной компьютерной сети для передачи в среду передачи данных телефонной сети в аналоговом виде, а также осуществляет обратный процесс. Модем автоматически поддерживает постоянное соединение, выбирает допустимую скорость.

Со стороны провайдера устанавливается DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), который является мультиплексором доступа цифровой абонентской линии. Со стороны каждого абонента установлен интегрированный модем, осуществляющий аналогичные модему абонента действия, каждому абоненту назначается виртуальная локальная компьютерная сеть (далее – VLAN).

Данные со всех линий мультиплицируются и направляются дальше в сторону глобальной компьютерной сети (далее – WAN), для чего используется соединение с более широкой полосой, например оптоволоконное.

Они поступают на BRAS (Broadband Remote Access Server), который представляет из себя маршрутизатор широкополосного удалённого доступа. BRAS являются шлюзом между DSL-сетью и сетью Интернет, осуществляет маршрутизацию данных, которым назначены VLAN, преобразует протоколы сети доступа в протоколы транспортной сети, аутентификацию, идентификацию и учёт пользователей, QoS.

ADSL2+ предполагает максимальные скорости 24 и 3,5 мегабит в секунду для соответственно нисходящей и восходящей передачи. Максимальным расстоянием, на котором возможно соединение составляет 5,5 километров, при этом уже 2-2,5 километрах длины линии, скорость падает более чем в два раза [2].

## 1.2 IPSec-VPN

В общем виде VPN представляет собой совокупность технологий управления доступом и контролем, аутентификации, туннелирования, используемых для защиты и безопасной передачи данных через сеть Интернет.

Использование туннелирования обеспечивает безопасность при передаче данных. При этом передача по сети протокольных пакетов сети одного типа инкапсулируются в протокольные пакеты другой сети. Туннелирование необходимо из-за того, что в сетях, использующих протокол IP, имеются уязвимости. Во время разработки протокола IP на его уровне не были предусмотрены функции безопасности, что позволяет подделать и перехватить данные в сетях, использующих данный протокол.

Независимо от того, какую форму VPN выберет организация, конечный результат всегда будет одинаковым. VPN создают «туннели» через незащищенные публичные сети, чтобы установить безопасные соединения с частной сетью. Используя стандартные, но надежные средства безопасности, такие как шифрование данных и аутентификация конечных точек, VPN могут предотвращать несанкционированный доступ к этим туннелям и к сети организации на другом конце.

IPSec (IP Security) является набором протоколов для обеспечения защиты данных, передаваемых по межсетевому протоколу IP. Позволяет осуществлять подтверждение подлинности (аутентификацию), проверку целостности и/или шифрование IP-пакетов. IPsec также включает в себя протоколы для защищённого обмена ключами в сети Интернет. В основном применяется для организации VPN-соединений.

IPSec-VPN изначально предназначался для подключения типа «точка-точка» и предполагал удаленный доступ к сети через стандартный клиент или приложение. Эти VPN были в основном разработаны для постоянных удаленных сайтов для доступа к одной центральной сети.

Преимуществами IPSec VPN являются, во-первых, постоянная связь между локациями, во-вторых, поскольку IPSec работает на «уровне протокола» Интернета, то любой протокол на основе IP может быть отправлен через сеть, то есть его можно использовать для всех иных протоколов.

# 2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

В данном разделе описана структура локальной компьютерной сети. Схема структурная приведена в приложении А. Пунктирной линией выделены зоны, элементы в которых относятся к обозначенному в этой же зоне этажу. Всего предполагается возможность 67 проводных подключений, из которых 60 – стационарных пользователей и 30 беспроводных подключений.

## 2.1 Модем

ADSL2+ модем является связующим звеном между локальной сетью и сетью Интернет. Модем моделирует цифровой сигнал, полученный из внутренней локальной компьютерной сети для передачи в среду передачи данных телефонной сети в аналоговом виде, а также осуществляет обратный процесс. Связан с маршрутизатором.

## 2.2 Маршрутизатор

Для корректной работы системы с более чем девятью десятками конечных устройств, несколькими виртуальными локальными компьютерными сетями (далее – VLAN) и доступом в сеть Интернет необходима реализация IP-маршрутизации, то есть необходимо активное сетевое устройство-посредник, которое поддерживает третий (сетевой) уровень модели Open Systems Interconnection (далее – OSI).

Для этого можно использовать как коммутатор с поддержкой третьего уровня (далее – L3-коммутатор), так и маршрутизатор. Однако, одним из требований заказчика является реализация IPsec-VPN, который доступен только на маршрутизаторах.

Дополнительными аргументами за выбор маршрутизатора также может послужить необходимость обеспечения безопасности сети, реализации QoS. Данный функционал не представлен на L3-коммутаторах.

Таким образом, в структуре сети представлен один маршрутизатор, обеспечивает IP, является входной точкой для VPN-тоннеля, обеспечивает безопасность сети и иное. К маршрутизатору подключён коммутатор первого этажа и web-сервер.

## 2.3 Коммутаторы

Общее число подключённых к сети устройств, согласно требованию заказчика, стремится к 100, что, учитывая необходимость проектирования с возможностью будущего расширения сети, подразумевает предусмотреть подключение примерно 200 устройств, из которых проводных около ста тридцати. Подключить такое количество устройств напрямую к одному маршрутизатору невозможно. Рациональнее будет расположить на каждом этаже по коммутатору, к каждому из которых соответственно будут подключены все расположенные на соответствующем этаже устройства.

Коммутаторы расположены на каждом из трёх этажей. Коммутатор на первом этаже подключён к маршрутизатору агрегированным каналом из двух кабелей. Коммутаторы подключены друг к другу агрегированными каналами из двух физических соединений, подключения присутствуют только между соседними этажами, то есть коммутатор на третьем этаже не подключён к коммутатору на первом. К коммутаторам проводные и беспроводные конечные устройства пользователей, последние из получают доступ в сеть через беспроводные точки доступа.

## 2.4 Беспроводные точки доступа

Согласно требованию заказчика, должно быть предусмотрено подключение беспроводных устройств, для реализации данного требования, с учётом площади помещения, необходима установка нескольких беспроводных точек доступа на каждом этаж.

Подключать беспроводные точки доступа напрямую к маршрутизатору нет необходимости, поэтому точки доступа соединены только с коммутаторами.

## 2.5 Web-сервер

Web-сервер подключён напрямую к маршрутизатору, такое решение обусловлено тем, что web-сервер будет использоваться всеми участниками сети, а также доступ к нему возможен и из сети Интернет.

# 3 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Данный раздел посвящён разработке функциональной схемы, выбору оборудования разрабатываемой локальной компьютерной сети, её функциональному проектированию. Схема функциональная приведена в приложении Б.

Значение используемых в схеме условно-графических обозначений обозначено в левой нижней части схемы. Так как расположение локальной компьютерной сети предполагается на нескольких этажах, схема разделена на три соответствующие этажам секции штрихпунктирной линией. Для встречающихся на нескольких этажах типов устройств предусмотрено обозначение названий в формате разделённого дефисом сочетания номера этажа и номера устройства этого типа на этаже. Например, десятая проводная станция на втором этаже обозначена как «PC 2-10».

Для обозначения портов FastEthernet и GigabitEthernet используются соответственно аббривиатуры FE/N и GE/N, где N – номер порта на устройстве.

## 3.1 Расположение устройств

Модем, шлюз в направлении глобальной сети, предполагается расположить на первом из этажей кафедры. Тут же, в отдельном техническом помещении (серверной), предусмотрено расположить маршрутизатор, сервер и административную рабочую станцию.

На каждом из этажей располагается один коммутатор, к которому подключены двадцать рабочих станций, два принтера и две беспроводные точки доступа, которые обеспечивают доступ в сеть для десяти беспроводных станций.

Исходя из такого разбиения устройств по этажам, из шестидесяти стационарных пользователей, шестидесяти семи стационарных подключений и тридцати мобильных подключений на первый этаж приходится тридцать два подключения, на второй и третий – тридцать три.

## 3.2 Производитель сетевого оборудования

Согласно требованиям заказчика, в проекте должно использоваться оборудование, поставляемое компаниями Hewlett Packard Enterprise (далее – HPE) и Aruba Networks (далее – Aruba). Последняя является дочерней компанией первой, благодаря чему всё поставляемое обеими компаниями оборудование представлено на сайте HPE [3]

HPE является одним из двух наследников разделившейся Hewlett-Packard Company, другим наследником является HP Inc. HPE унаследовала производство сетевого оборудования, серверов, и иных решений. HP Inc. же унаследовала производство персональный устройств, таких как персональные компьютеры, моноблоки, многофункциональные устройства (далее – МФУ).

Aruba приобретена HPE в 2015 году. Компания в первую очередь занимается производством беспроводных устройств, обеспечивает свои облачные решения.

## 3.3 Выбор модели модема

В качестве наиболее рационального решения можно было бы рассмотреть возможность отказаться от модема и использовать маршрутизатор с расширением-модемом для ADSL2+, однако подобные маршрутизаторы и расширения более не выпускаются выбранными производителями, также ими не выпускаются и сами модемы, из-за чего выбор придётся производить из устройств других производителей. Использование дополнительного устройства ведёт к услужению системы, а следовательно, и к увеличению вероятности сбоев в её работе.

Единственным критерием выбора в таком случае остаётся поддержка модемом технологии ADSL2+. Из-за устаревания технологии выбор модемов на рынке крайне мал, большинство устройств совмещают в себе как функцию модема, так и маршрутизатора или беспроводного маршрутизатора. Так как необходимость в таком дополнительном функционале отсутствует, рациональным выбором будет модель TD-8616 от компании TP-Link [4]. Стоимость данной модели составляет 10$ [5].

Технические характеристики:

1. Один порт FastEthernet c максимальной скоростью 100 мегабит в секунду;
2. Один порт RJ-11 для телефонной линии;
3. Поддержка рекомендации ITU G.992.5.

На схеме имеет позиционное обозначение «Modem».

## 3.4 Выбор модели маршрутизатора

Основными критериями при выборе маршрутизатора являются: достаточное количество портов со стороны LAN, поддержка VPN, поддержка IPv6-маршрутизации.

Требуется минимум два порта для LAN (по одному для коммутатора и один сервера), однако, учитывая необходимость предусмотреть возможность расширении сети, следует рассматривать модели с минимум вдвое большим количеством портов. Учитывая устаревание технологии ADSL2+, не стоит выбирать маршрутизатор с низкой скоростью внешнего подключения, так как при будущей модернизации системы это может стать причиной общей низкой скорости доступа к сети Интернет из проектируемой локальной компьютерной сети. Наличие SFP для перспективного подключения оптоволокна желательно.

Согласно этим критериями была выбрана модель HPE MSR954 1GbE SFP 2GbE-WAN 4GbE-LAN CWv7 Router (JH296A) [6], с минимальной рекомендованной производителем стоимостью (далее – МРПС) в 963 $ обладающая следующими техническими характеристиками [7]:

1. 1 SFP один порт со скоростью один гигабит в секунду;
2. 1 RJ-45 GigabitEthernet WAN порт;
3. 4 RJ-45 GigabitEthernet LAN порта;
4. Одноядерный RISC процессор с тактовой частотой 800 мегагерц;
5. 1 гигабайт DDR3 SDRAM, 256 мегабайт NAND flash памяти;
6. До 100 VPN-туннелей со скоростью шифрования до 160 мегабайт в секунду;
7. Операционная система Comware v7.

На схеме имеет позиционное обозначение «Router».

## 3.5 Выбор модели коммутаторов

Так как количество подключений на этаж составляет примерно тридцать единиц, следует выделить среди критериев выбора практически большее количество LAN-портов, то есть в количестве сорок восемь и более. Не стоит рассматривать L3-коммутаторы, так как дополнительный функционал, который отличает их от коммутаторов, работающих на втором уровне модели OSI, уже присутствует на маршрутизаторе. Хоть существующая максимальная скорость восходящего потока низка даже относительно FastEthernet, стоит предусмотреть в коммутаторах GigabitEthernet порты, так как в перспективе

Согласно этим критериями была выбрана модель Aruba CX 6000 48G 4SFP Switch (R8N86A) [8], с МРПС равной 2,329$. Маршрутизатор имеет следующие технические характеристики [9]:

1. 4 SFP порта со скоростью 1 гигабит в секунду;
2. 48 RJ-45 GigabitEthernet коммутируемых порта;
3. Одноядерный RISC процессор с тактовой частотой 1017 мегагерц;
4. 4 гигабайта DDR3, 16 GB eMMC памяти;
5. Буфер для пакетов размеров 12,38 мегабайта (4,5 мегабайта входной и 7.875 мегабайта выходной);
6. Коммутационная способность 104 гигабита в секунду;
7. Операционная система AOS-CX.

На схеме имеет позиционное обозначение «S».

## 3.6 Выбор модели беспроводной точки доступа

Так как на этаж предусмотрено две беспроводных точки доступа, положим возможны использование бюджетной модели Aruba AP-303 [10], МРПС которой составляет 736$. Точка доступа обладает следующими характеристиками [11]:

1. 1 RJ-45 GigabitEthernet POE порт;
2. Необходимая мощность POE: 48 Вольт, 350 миллиампер;
3. Двойная антенна 2x2 IEEE 802.11ac c многопользовательским MIMO второй волны;
4. Скорость до 867 мегабит в секунду в полосе 5 гигагерц и до 300 мегабит в секунду в полосе 2,4 гигагерца.

На схеме имеет позиционное обозначение «AP».

## 3.7 Выбор модели рабочих станций

Выбор будет осуществляется среди готовых рабочих станций, представленных в каталоге сайта Onliner.by.

Стоит выделить, что рабочие станции не предназначены для хранения большого объёма данных, а после каждого включения вся информация студенческих станций сбрасывается, что позволяет выбирать модели с малым объёмом основного накопителя, при этом стоит отдать предпочтение твердотельным накопителям, чтобы обеспечить минимальные потери времени на запуск операционной системы и программ во время ограниченных по времени занятий.

Так как направлением обучения кафедры является обучение именно основам программирования, высокая производительность центрального процессора не является критично необходимой, а наличие дискретной видеокарты вовсе не является необходимым, так как ресурсозатратная работа с графикой не предполагается.

При этом стоит учесть, что для обучения языкам низкого уровня стоит выбирать станции с процессорами, поддерживающими последние версии дополнительных наборов инструкций и другие дополнительных возможностей.

По данным критериям выбрана модель MultiOffice C590D8S24IM24 [12], который соответствует всем описанным выше критериям, стоимость составляет 1530 BYN. Технические характеристики:

1. Процессор Intel Core i3 10100 с четырьмя ядрами и тактовой частотой 3,6 гигагерц (Turbo-частота до 4,3 гигагерц);
2. 8 гигабайт оперативной памяти DDR4, с частотой 2666 мегагерц;
3. Основной твердотельный накопитель на 240 гигабайт;
4. Интегрированная графика Intel UHD Graphics 630;
5. Поддержка многопоточности внутри ядра и виртуализации VT-x и VT-d;
6. 24 дюймовый монитор с разрешением 1920 на 1080 пикселей и частотой обновления 75 герц;
7. Клавиатура, мышь и все необходимые кабели в комплекте;

На схеме имеет позиционное обозначение «PC»

## 3.8 Выбор модели сервера

HPE предлагает несколько видов серверов:

1. Стоечные серверы;
2. Башенные серверы для малого и среднего бизнеса, поставляются в продвинутых корпусах, которые напоминают системные блоки;
3. Серверы высокой плотности компактного размера (серверы-лезвия);
4. Микросервера, которые поставляются в миниатюрном корпусе, при этом обладая полноценной производительностью.

Основные отличия серверов высокой плотности от стоечных заключаются не только в размере, но и в интеграции серверов: сети, мониторинг, управление, охлаждение, электропитание – всё это расположено в одном корпусе.

Так как предполагается Web-сервер именно кафедры, будет достаточно одного сервера. Наиболее рациональным решением будет выбор башенного сервера, либо микросервера. Так как сеть является бюджетной, предпочтение отдано микросерверу.

Из трёх представленных в линейке базовых моделей выбрана средняя модель HPE ProLiant MicroServer Gen10 Plus E-2224 S100i 4LFF-NHP 180W External PS Server [13] стоимостью 1,532$.

Технические характеристики:

1. Процессор Intel Xeon E-2224 с четырьмя ядрами и тактовой частотой 3,4 гигагерца;
2. 16 гигабайт оперативной памяти DDR4;
3. 4 слота SATA 3.0;
4. 1 слот PCIe 3.0x16.

Так как сервер поставляется без жёсткого диска, необходимо выбрать его, для серверных решений категорически важны время отклика и скорость случайного чтения и записи, поэтому следует выбирать из твердотельных накопителей. Необходим минимум терабайт пространства для хранения больших объёмов данных. Из-за конфигурации корпуса использовать PCIe слот для накопителя невозможно, поэтому используется слот SATA 3.0 с максимальной скоростью до 600 мегабайт в секунду.

По указанным выше критериям выбран твердотельный накопитель SSD Kingston A400 1.92TB SA400S37/1920G [14] с объёмом 1,92 терабайта и стоимостью 880 BYN.

На схеме имеет позиционное обозначение «Server»

## 3.9 Выбор моделей принтеров

Согласно требованиями заказчика требуется разместить несколько чёрно-белых и цветных принтеров. Так как работа кафедры, очевидно, подразумевает большое количество распечатываемых документов, следует ориентироваться на принтеры, которые обеспечивают малую стоимость и высокую скорость печати листа.

Так как доступ к принтерам предполагается только для преподавательского состава, параллельная печать несколькими людьми маловероятна, поэтому предусмотрено по одному цветному и одному чёрно-белому принтеру на каждый этаж, суммарно три цветных и три чёрно-белых принтера.

Для чёрно-белой печати стоит выбрать лазерный принтер. Хоть лазерные принтеры и дороже струйных, печать одного листа на них дешевле, что, при условии большого количества распечатываемых листов, оправдывает большие вложения в сам принтер. Принтеры с непрерывной подачей тонера относятся к крайне дорогим решениям, из чего следует, что стоит выбрать принтер без неё.

Согласно данным критериями, выбрана модель Pantum P3010D [15] стоимостью 477 BYN. Технические характеристики:

1. Максимальный размер бумаги А4;
2. Лазерная технология печати;
3. Максимальная месячная нагрузка 25000 страниц,
4. Шум 52 децибела при работе;
5. Максимальное разрешение 1200 точек на дюйм
6. Вместимость входного лотка 250 листов;
7. Вместимость выходного лотка 120 листов;
8. Подключение по USB.

Для цветной печати же стоит выбирать из струйных принтеров, так как тонер для цветной лазерной печати стоит, как и цветные лазерные принтеры, значительно больше (в пересчёте на печать одной страницы), чем струйные принтеры. Система непрерывной подачи чернил, в отличии от системы непрерывной подачи тонера, уже достаточно дешева, чтобы позволить её в бюджетной сети.

Согласно данным критериями, выбрана модель многофункционального устройство HP Ink Tank 315 [16] стоимостью 599 BYN. Технические характеристики:

1. Максимальный размер бумаги А4;
2. Струйная технология печати;
3. Максимальная месячная нагрузка 1000 страниц;
4. Шум 47 децибел при работе;
5. Максимальное разрешение 4800 на 1200 точек на дюйм;
6. Вместимость входного лотка 60 листов;
7. Вместимость выходного лотка 25 листов;
8. Система непрерывной подачи чернил;
9. Подключение по USB.

На схеме имеет позиционное обозначение «P»

## 3.10 Виртуальные локальные компьютерные сети

Для обеспечения безопасности сети, разграничения пользователей, организации QoS, предусмотрено использование VLAN. Ниже приведены предусмотренные виртуальные сети и их особенности.

### 3.10.1 Преподавательский VLAN

Для преподавателей и работников кафедры предусмотрена отдельная подсеть с номером 10. Доступ к ней предусмотрен только для рабочих станций преподавателей и работников. Так как ширина полосы доступа в Интернет значительно ограничена технологией ADSL2+, требуется предусмотреть приоритизацию для трафика этого VLAN при доступе в Интернет.

### 3.10.2 Студенческий VLAN

Для студентов, использующих стационарные рабочие станции предусмотрен VLAN с номером 20. Так как ширина полосы доступа в Интернет значительно ограничена, требуется предусмотреть ограничения на доступ к развлекательным медиаресурсам, генерируемый которыми трафик может полностью занимать полосу доступа в Интернет, которая может быть необходима для работы преподавателей, которая имеет высший приоритет

### 3.10.3 Беспроводной VLAN

Предусмотрен для пользователей беспроводной сети. Так как сеть предусмотрена как гостевая, то есть получить доступ к ней можно без аутентификации и авторизации, на неё наложены ограничения в отношении доступа к другим частям локальной сети. Также дополнительно предусмотрены аналогичные студенческой подсети ограничения. Присвоен номер 30.

### 3.10.4 Административный VLAN

Для управления сетевым оборудованием предусмотрен VLAN с номером 100. Доступ к данной подсети имеет только административная рабочая станция, с которой обеспечивается настройка. Используя его, можно получить доступ ко всему сетевому оборудованию и править его конфигурации.

## 3.11 Внешняя адресация

Согласно требованиям заказчика, непосредственное подключение к провайдеру отсутствует, то есть сеть соединена только с общей сетью здания или университета, то есть Интранетом.

Согласно варианту, существует выбор из девяти подсетей. Подсети в нотации Classless Inter-Domain Routing (далее – CIDR) и количество доступных адресов для конечных устройств приведены в таблице 3.1. Подсети отсортированы в порядке возрастания по длине маски.

Таблица 3.1 – предлагаемые подсети в нотации CIDR

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Адрес подсети | Длина маски в битах | Количество хостов |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 14.128.0.0 | 10 | 4,194,302 |
| 2 | 82.112.0.0 | 15 | 131,070 |
| 3 | 154.173.0.0 | 16 | 65,534 |
| 4 | 170.207.0.0 | 17 | 32,766 |
| 5 | 135.237.40.0 | 21 | 2,046 |
| 6 | 47.57.196.0 | 23 | 510 |
| 7 | 183.171.210.0 | 24 | 254 |
| 8 | 199.216.215.0 | 24 | 254 |
| 9 | 98.46.233.0 | 25 | 126 |

Подсети с седьмой по девятую имеют недостаточное количество хостов, при этом подсети с первой по третью имеют значительно избыточное количество хостов. Исходя их этого предположим, что университетом в Интранете используется шестая подсеть 135.237.40.0/21, имеющая 2,046 адресов, а кафедре выдан адрес: 135.237.40.100.

## 3.12 Внутренняя IPv4 адресация

Согласно требованиям заказчика, для внутренней IPv4 адресации должны быть использованы публичные адреса, а следовательно, должны быть доступны из Интранета, также нет необходимости в настройке преобразования сетевых адресов (Network Address Translation, далее – NAT), так как сеть (Интранет) локальная, внутри неё не может появиться недостаток адресов. При этом, при переходе в Интернет, может понадобится настройка NAT, однако эта задача не относится к разработке данной локальной компьютерной сети. Принятие решение о настройке NAT, выборе типа NAT и пула транслируемых подсетей относится к зоне Интранета.

Предположим использование меньших подсетей чем подсеть для Интранета, суммарно предполагается 97 конечных устройств, при этом активное сетевое оборудование также требует адресов. Дополнительные адреса также потребуются для обособленного подразделения, которое будет подключаться через VPN. При этом должно быть учтено возможное расширение сети минимум в два раза. Чтобы адресов было достаточно, а также для того, чтобы не делить сеть на слишком маленькие подсети, используем седьмую подсеть из таблицы 3.1: 47.57.196.0/23 – данная подсеть может адресовать 510 хостов. Преимуществом выбора данной подсети является большой запас адресов, например, на случай слияния кафедры с другой кафедрой или иного расширения.

Требуется разделение сети на подсети для каждого из VLAN, при этом должно быть учтено различие количества, относящегося к данным VLAN, хостов. Схема IPv4 адресации приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Схема внутренней IPv4 адресации

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Назначение | № VLAN | Адрес подсети | Длина маски  в битах | Хосты |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Преподавательская | 10 | 47.57.197.0 | 25 | 126 |
| Студенческая | 20 | 47.57.196.0 | 24 | 254 |
| Беспроводная | 30 | 47.57.197.128 | 26 | 62 |
| Административная | 100 | 47.57.197.192 | 27 | 30 |
| Модем | – | 47.57.197.224 | 28 | 14 |
| Зарезервирован | – | 47.57.197.240 | 28 | 14 |

Преподавательский (10) VLAN имеет подсети с 126 хостами, так как предполагается меньше в сравнении со студентами количество подключений.

Студенческий (20) VLAN имеет больше всего хостов, в количестве 254, так как студенческие рабочие станции представляют собой большинство устройств в разрабатываемой локальной компьютерной сети.

Беспроводной (30) VLAN подразумевает уже 62 хоста, что отражает требования заказчика, в которых количество беспроводных устройств уступает количеству проводных в два раза.

Административный (100) VLAN имеет подсеть с 30 хостами, что более чем в два раза превышает проектируемое количество устройств.

Также выделены одна подсеть для модема и одна зарезервированная для бедующих нужд, у этих подсетей доступно 14 хостов.

Административный VLAN подразумевает назначение статических адресов, схема адресации данной подсети приведена в таблице 3.3. Так как все устройства находятся в одной подсети, все их адреса имеют одинаковую маску: 255.255.255.224

Таблица 3.3 – Схема IPv4 адресации административного (100) VLAN

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Устройство | Позиционное обозначение | Адрес |
| 1 | 2 | 3 |
| Маршрутизатор | Router | 47.57.197.193 |
| Web-сервер | Server | 47.57.197.194 |
| Коммутатор | S1 | 47.57.197.200 |
| Коммутатор | S2 | 47.57.197.201 |
| Коммутатор | S3 | 47.57.197.202 |
| Беспроводная точка доступа | AP1-1 | 47.57.197.210 |
| Беспроводная точка доступа | AP1-2 | 47.57.197.211 |
| Беспроводная точка доступа | AP2-1 | 47.57.197.212 |
| Беспроводная точка доступа | AP2-2 | 47.57.197.213 |
| Беспроводная точка доступа | AP3-1 | 47.57.197.214 |
| Беспроводная точка доступа | AP3-2 | 47.57.197.215 |

Статические адреса назначаются модему и маршрутизатору из подсети для модема: 47.57.197.225 и 47.57.197.226 соответственно. Также подинтерфейсам маршрутизатора предписаны первые адреса из подсетей остальных VLAN.

## 3.13 Внутренняя IPv6 адресация

Для внутренней IPv6 адресации предполагается использование Unique-Local Unicast адресов. Global ID часть IPv6 адреса выбрана случайным образом, Subnet ID же представляет из себя номер советующего VLAN дополненный нулями, что обеспечит понятный формат адресов. Длина маски подсети во всех случаях составляет 64 бита, что обеспечивает адресацию 18,446,744,073,709,551,616 хостов.

Таблица 3.4 – Схема внутренней IPv6 адресации

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Назначение | Номер VLAN | Адрес подсети |
| 1 | 2 | 3 |
| Преподавательская | 10 | fd00:5ee:bad:10:: |
| Студенческая | 20 | fd00:5ee:bad:20:: |
| Беспроводная | 30 | fd00:5ee:bad:30:: |
| Административная | 100 | fd00:5ee:bad:100:: |

# 

Административный VLAN подразумевает назначение статических адресов, схема адресации данной подсети приведена в таблице 3.5. Так как все устройства находятся в одной подсети, все их адреса имеют одинаковую маску длиной в 64 бита.

Таблица 3.5 – Схема IPv6 адресации административного (100) VLAN

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Устройство | Позиционное обозначение | Адрес |
| 1 | 2 | 3 |
| Маршрутизатор | Router | fd00:5ee:bad:100::1000 |
| Web-сервер | Server | fd00:5ee:bad:100::1100 |
| Коммутатор | S1 | fd00:5ee:bad:100::1001 |
| Коммутатор | S2 | fd00:5ee:bad:100::2001 |
| Коммутатор | S3 | fd00:5ee:bad:100::3001 |
| Беспроводная точка доступа | AP1-1 | fd00:5ee:bad:100::1101 |
| Беспроводная точка доступа | AP1-2 | fd00:5ee:bad:100::1102 |
| Беспроводная точка доступа | AP2-1 | fd00:5ee:bad:100::2101 |
| Беспроводная точка доступа | AP2-2 | fd00:5ee:bad:100::2102 |
| Беспроводная точка доступа | AP3-1 | fd00:5ee:bad:100::3101 |
| Беспроводная точка доступа | AP3-2 | fd00:5ee:bad:100::3102 |

## 3.14 Конфигурация сетевого оборудования

Для маршрутизатора и всех трёх коммутаторов необходимо настроить Secure Shell (SSH) для безопасного удалённого управления. Для этого необходимо назначить имена хостов в соответствии с обозначением на позиционной схеме. Для этого используется команда hostname, например для коммутатора первого этажа (S1):

8000(config)#hostname S1

Также необходимо назначение IPv4 и IPv6 адресов для коммутаторов. Команды на примере S1:

S1(config)#interface vlan100

S1(confg-if)#ip address 47.57.197.200

S1(confg-if)#ipv6 address fd00:5ee:bad:100::1001

Конфигурация SSH на примере S1:

S1(config)#username S1 password ef32fyd9

S1(config)#aaa aunthentication ssh login public-key

S1(config)#crypto key generate ssh rsa bit 2048

Пароли для каждого устройства должны быть разными, наиболее верным решением будет генерировать их случайным образом.

### 3.14.1 Конфигурация VLAN

Для оптимизации работы с VLAN на маршрутизаторе, и всех трёх коммутаторах Generic Attribute Registration Protocol VLAN Registration Protocol (GVRP), например, команды для S1:

S1(config)#gvrp

Команды для создания VLAN необходимо прописать только на одном из устройств, это будет маршрутизатор, так как он является корневым устройством в проектируемой локальной компьютерной сети. Пример для студенческого VLAN (20):

Router(config)#vlan 20

Router(config-vlan-20)#name Student

Router(config-vlan-20)#ip address 47.57.196.0/24

Router(config-vlan-20)#ipv6 address fd00:5ee:bad:20::/64

### 3.14.2 Конфигурация агрегации каналов

Для обеспечения большей пропускной способности в рамках проектируемой локальной компьютерной сети предполагается использование агрегированных каналов на соединениях между коммутаторами и на соединении маршрутизатора и коммутатора первого этажа. Конфигурация приведена на примере коммутаторов второго и третьего этажей:

S2(config)#interface lag 3

S2(config-lag-if)#description toS3

S2(config-lag-if)#vlan trunk native 1

S2(config-lag-if)#vlan trunk allowed 10,20,30,100

S2(config-lag-if)#lacp mode active

S2(config-lag-if)#no shutdown

S3(config)#interface lag 2

S3(config-lag-if)#description toS2

S3(config-lag-if)#vlan trunk native 1

S3(config-lag-if)#vlan trunk allowed 10,20,30,100

S3(config-lag-if)#lacp mode active

S3(config-lag-if)#no shutdown

Включение интерфейсов в агрегированный канал:

S2(config)#interface 1/1/47-1/1/48

S2(config-if-<1/1/47-1/1/48>)#lag 1

S2(config-if-<1/1/47-1/1/48>)#no shutdown

S3(config)#interface 1/1/47-1/1/48

S3(config-if-<1/1/47-1/1/48>)#lag 1

S3(config-if-<1/1/47-1/1/48>)#no shutdown

Настройка остальных агрегированных каналов производится аналогично, с учётом других идентификаторов интерфейсов, которые указаны на схеме функциональной.

### 3.14.3 Конфигурация DHCP и DHCPv6

Чтобы не назначать всем устройствам статические адреса необходима настройка DHCP и DHCPv6 на маршрутизаторе. При этом должны быть учтены адреса, которые не должны находится в пуле для распределения: адреса станций, владельцам которых необходим статический адрес, адреса подинтерфейсвов маршрутизатора. Пример настройки для студенческого VLAN (20):

Router(config)#service dhcp

Router(config)#ip dhcp pool dhcp-vlan-20

Router(dhcp-vlan-20)#domain-name router-domain

Router(dhcp-vlan-20)#exclude-address 47.57.196.1

Router(dhcp-vlan-20)#default-router 47.57.196.1

Router(dhcp-vlan-20)#network 47.57.196.0 255.255.255.0

Router(config)#service dhcpv6

Router(config)#ipv6 dhcp pool dhcp6-vlan-20

Router(dhcp6-vlan-20)#domain-name router-domain

Router(dhcp6-vlan-20)#exclude-address fd00:5ee:bad:20::1

Router(dhcp6-vlan-20)#default-router fd00:5ee:bad:20::1/64

Router(dhcp6-vlan-20)#network fd00:5ee:bad:20::/64

Конфигурация имеет аналогичный вид для остальных VLAN, при этом настройка DHCP и DHCPv6 для административного VLAN не предусмотрена, так как адреса для включённых в него устройств назначены в ручном режиме.

### 3.14.5 Конфигурация интерфейсов коммутаторов

Интерфейсы GE/41 и GE/42 на всех коммутаторах предназначены для беспроводных точек доступа. Необходимая конфигурация данных интерфейсов на примере S3:

S3(config)#interface 1/1/41-1/1/42

S3(config-if-<1/1/41-1/1/42>)#switchport mode access

S3(config-if-<1/1/41-1/1/42>)#vlan access 30

S3(config-if-<1/1/41-1/1/42>)#no shutdown

Интерфейсы с GE/1 по GE/20 предназначены для рабочих станций, при этом подразумевается, что первые пять-шесть интерфейсов настраиваются для преподавательского VLAN, а остальные – для студенческого. Данное соотношение может быть изменено в будущем по требованию заказчика. Конфигурация на примере S1:

S1(config)#interface 1/1/1-1/1/6

S1(config-if-<1/1/1-1/1/6>)#switchport mode access

S1(config-if-<1/1/1-1/1/6>)#vlan access 10

S1(config-if-<1/1/1-1/1/6>)#no shutdown

S1(config)#interface 1/1/7-1/1/20

S1(config-if-<1/1/7-1/1/20>)#switchport mode access

S1(config-if-<1/1/7-1/1/20>)#vlan access 20

S1(config-if-<1/1/7-1/1/20>)#no shutdown

Аналогичные параметры задаются и на S2 и S3.

### 3.14.6 Конфигурация маршрутизации

Так как IP-маршрутизация включена на маршрутизаторе по умолчанию, необходима только настройка интерфейсов. Помимо настройки агрегированного канала также необходимо создание подинтерфейсов для каждого из VLAN на нём. Пример команд для студенческого VLAN (20):

Router(config)#interface lag1

Router(config-lag-if)#port link-mode route

Router(config)#interface lag1.10

Router(config-if)#ip address 47.57.196.1 255.255.255.0

Router(config-if)#ipv6 address fd00:5ee:bad:20::1/64

Router(config-if)#vlan-type dotlq pvid 20

Аналогичные команды необходимы и для остальных VLAN. Также необходимо для интерфейса GE1 назначить режим access. На интерфейсе GE0 необходимо назначить адрес из подсети модема: 47.57.197.226.

### 3.14.6

После подключения к web-интерфейсу модема по адресу 192.168.1.1. Virtual Circuit выбираем pvc0, далее Status выбираем Activated, параметры VPI и VCI выставить на выданные администратором Интранета. Инкапсуляцию также установить выданную администратором. IP-адрес подключённого к проектируемой сети установить как 47.57.197.225. Выполнить перезагрузку с сохранением изменённых параметров.

# 4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В данном разделе находится описание выбора кабелей, монтаж и размещение оборудования, расчёт качества связи беспроводной сети для выстраиваемой ЛКС. Планом монтажа оборудования представлен в приложении В. Используемые условно-графические обозначения описаны в левой части схемы.

## 4.1 План помещений

Общая площадь помещений кафедры 340 квадратных метров, который равномерно распределены по этажам. На каждом из этажей определены два учебных кабинета и один рабочий. На первом этаже предусмотрена серверная.

## 4.1 Общая организация СКС

В проектируемой ЛКС, прокладка кабельной подсистемы будет осуществляются вдоль стен на уровне ниже подоконников, это может быть как монтаж в кабельном канале, так и за фальшьстеной. Связь между этажами осуществляется через одно отверстие в перекрытиях в области серверной первого этажа. Подключение к беспроводным точкам доступа Wi-Fi будет осуществлено пуском кабеля под потолком.

Для всех подключений используется неэкранированная витая пара категории 5e.

В серверной расположены

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Официальный сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – G.992.5: Asymmetric digital subscriber line 2 transceivers (ADSL2)- Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus) – Режим доступа: https://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.5-200901-I/en – Дата доступа: 12.10.2022

[2] Официальный сайт Белорусского института системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы [Электронный ресурс]. – Современные технологии реализации скоростных каналов связи на уровне «последней мили» – Режим доступа: http://belisa.org.by/ru/izd/stnewsmag/2\_2007/art9\_6\_2007.html – Дата доступа: 12.10.2022

[3] Официальный сайт компании Hewlett Packard Enterprise [Электронный ресурс]. – Networking | HPE Store US – Режим доступа: https://buy.hpe.com/us/en/networking/c/12883 – Дата доступа: 09.11.2022

[4] Официальный сайт компании TP-Link [Электронный ресурс]. – TD-8616 | ADSL2+ Modem – Режим доступа: https://www.tp-link.com/us/home-networking/dsl-modem-router/td-8616/ – Дата доступа: 09.11.2022

[5] Onliner [Электронный ресурс]. – DSL-модем TP-Link TD-8616 – Режим доступа: https://catalog.onliner.by/dslmodem/tp\_link/tptd8616/ – Дата доступа: 10.12.2022

[6] Официальный сайт компании Hewlett Packard Enterprise [Электронный ресурс]. – HPE MSR954 1GbE SFP 2GbE-WAN 4GbE-LAN CWv7 Router – Режим доступа: https://buy.hpe.com/us/en/networking/routers/fixed-port-ethernet-routers/msr-fixed-port-products/hpe-msr954-1gbe-sfp-2gbe-wan-4gbe-lan-cwv7 router/p/jh296a – Дата доступа: 12.12.2022

[7] Официальный сайт компании Hewlett Packard Enterprise [Электронный ресурс]. – HPE FlexNetwork MSR95x Router Series– Режим доступа: https://www.hpe.com/psnow/doc/c04843038.pdf?jumpid=in\_pdp-psnow-qs Дата доступа: 12.12.2022

[8] Официальный сайт компании Hewlett Packard Enterprise [Электронный ресурс]. – Aruba 6000 48G 4SFP Switch – Режим доступа: https://buy.hpe.com/emea\_europe/en/networking/switches/fixed-port-l3-managed-ethernet-switches/6000-switch-products/aruba-6000-48g-4sfp-switch/p/r8n86a – Дата доступа: 10.11.2022

[9] Официальный сайт компании Hewlett Packard Enterprise [Электронный ресурс]. – Aruba CX 6000 Switch Series – Режим доступа: https://www.hpe.com/psnow/doc/a50002592enw.pdf?jumpid=in\_pdp-psnow-qs – Дата доступа: 10.11.2022

[10] Официальный сайт компании Aruba Networks [Электронный ресурс]. – Aruba 303 Series indoor Wi-Fi 5 access point – Режим доступа: https://www.arubanetworks.com/products/wireless/access-points/indoor-access-points/303-series/ – Дата доступа: 11.11.2022

[11] Официальный сайт компании Aruba Networks [Электронный ресурс]. – Aruba 303 Series Access Points Data Sheet – Режим доступа: https://www.arubanetworks.com/resource/aruba-303-series-low-cost-802-11ac-wave-2-enterprise-access-points-data-sheet/ – Дата доступа: 11.12.2022

[12] Каталог Onliner.by [Электронный ресурс]. – Компьютер MultiOffice C590D8S24IM24 – Режим доступа: https://catalog.onliner.by/desktoppc/multioffice/multc590d8s24im2 – Дата доступа: 18.12.2022

[13] Официальный сайт компании Hewlett Packard Enterprise [Электронный ресурс]. – HPE ProLiant MicroServer Gen10 Plus E-2224 S100i 4LFF-NHP 180W External PS Server – Режим доступа: https://buy.hpe.com/us/en/servers/proliant-microserver/proliant microserver/proliant-microserver/hpe-proliant-microserver-gen10-plus-e-2224-s100i-4lff-nhp-180w-external-ps-server/p/p16006-001 – Дата доступа: 18.12.2022

[14] Каталог Onliner.by [Электронный ресурс]. – SSD Kingston A400 1.92TB SA400S37/1920G – Режим доступа: https://catalog.onliner.by/ssd/kingston/sa400s371920g – Дата доступа: 18.12.2022

[15] Каталог Onliner.by [Электронный ресурс]. – Принтер Pantum P3010D – Режим доступа: https://catalog.onliner.by/printers/pantum/p3010d – Дата доступа: 18.12.2022

[16] Каталог Onliner.by [Электронный ресурс]. – МФУ HP Ink Tank 315 – Режим доступа: https://catalog.onliner.by/printers/hp/z4b04a – Дата доступа: 18.12.2022

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Обязательное)

Схема СКС структурная

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(Обязательное)

Схема СКС функциональная

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

(Обязательное)

План этажа. Схема монтажная

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(Обязательное)

Перечень оборудования, изделий и материалов