

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева
Институт автоматизации и информационных технологий
Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Ибрай Әлия Тлешқызы

Моделирование создания спутниковой системы связи на основе моделирования
топологии сети

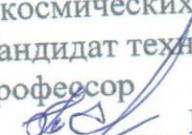
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5B074600 – Космическая техника и технологии

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий
Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Электроники, телекоммуникации
и космических технологий»
Кандидат технических наук,
профессор
 Е. Таштай
« 23 » 05 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Моделирование создания спутниковой системы связи на основе
моделирования топологии сети»

по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнила:



Ибрай Ә.Т.

Рецензент

Д.т.н., профессор в Южно-Казахстанского
университета имени М.Ауезова

 Б.Есмагамбетов

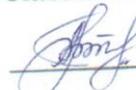
« 29 » 05 2022 ж.

Научный руководитель

Лектор кафедры ЭТиКТ,

м.т.н.,

КазННТУ им. К.И.Сатпаева

 А.Боранбаева

« 27 » 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

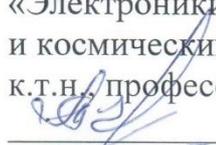
Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Электроники, телекоммуникации
и космических технологий»

к.т.н., профессор

 Е. Таштай

« 21 » ХЧ 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Ибрай Әлия Тлешқызы

Тема: «Моделирование создания спутниковой системы связи на основе моделирования топологии сети».

Утверждена приказом Ректора Университета № 489-П/Ө от «15» декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе: 1. Спутниковая система с межспутниковыми линиями связи. 2. Две наземные станции. 3. Низкая околоземная орбита. 3. Алгоритм выбора кратчайшего пути Дейкстры. 4. Среда VisualStudioC# 2019 г. для выполнения вычислений.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Анализ современного состояния спутниковых систем с межспутниковыми линиями связи;
- б) Разработка имитационной модели спутниковой сети;
- в) Программная реализация алгоритма Дейкстры;
- г) Перспектива развития спутниковой системы связи с межспутниковыми линиями.

Перечень графического материала: представлены в 21 слайдов презентации работы.

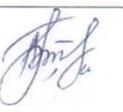
Рекомендуемая основная литература: из 15 наименований.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Анализ современного состояния спутниковых систем	1.09.2021-31.12.2021	выполнено
2. Разработка имитационной модели спутниковой сети	1.01.2022-30.01.2022	выполнено
3. Программная реализация алгоритма Дейкстры	1.02.2022-15.02.2022	выполнено
4. Перспектива развития СС	16.02.2022-31.03.2022	выполнено
5. Написание дипломной работы	15.04.2022-30.04.2022	выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Анализ современного состояния спутниковых систем связи и постановка задачи для моделирования	Лектор кафедры ЭТиКТ Боранбаева А.	27.01.2022	
Программа и перспектива развития спутниковой системы	Лектор кафедры ЭТиКТ Боранбаева А.	30.03.2022	
Нормоконтроль	Лектор кафедры ЭТиКТ Ибекеев С.	27.05.2022	

Научный руководитель _____



Боранбаева А.Т.

Задание принял к исполнению обучающийся _____



Ибраев Т.Т.

Дата « 28 » 12 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Представлена имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов, построенной на разновысотных орбитальных группировках космических аппаратов, предназначенная для анализа нагрузки и маршрутизации данных на начальных этапах проектирования спутниковой системы.

Моделируется топология сети и нагрузка в узлах сети. Для моделирования нагрузки введено понятие состояния загруженности узла. Это понятие основано на том, что объем накопителя узла разбит на принятое число уровней. Состояние узла определяет число заполненных уровней накопителя.

Разработана программная реализация алгоритма Дейкстры, которая может применяться для исследования процессов в сети, где используется данный алгоритм маршрутизации, а также для демонстрации процессов, протекающих в сети.

ANNOTATION

A simulation model of a satellite packet switching network based on multi-altitude orbital groupings of spacecraft is presented, designed for load analysis and data routing at the initial stages of satellite system design.

The network topology and the load in the network nodes are modeled. To simulate the load, the concept of the node load state is introduced. This concept is based on the fact that the storage volume of the node is divided into an accepted number of levels. The node state determines the number of filled storage levels.

A software implementation of the Dijkstra algorithm has been developed, which can be used to study the processes in the network where this routing algorithm is used, as well as to demonstrate the processes occurring in the network.

АҢДАТПА

Спутниктік жүйені жобалаудың бастапқы кезеңдерінде жүктемені талдауға және деректерді бағыттауға арналған ғарыш аппараттарының әртүрлі биіктіктегі орбиталық топтарында құрылған спутниктік пакеттік коммутация желісінің модельдеу моделі ұсынылған.

Желі топологиясы және желі түйіндеріндегі жүктеме модельденеді. Жүктемені модельдеу үшін түйіннің жүктеме күйі туралы түсінік енгізілді. Бұл тұжырымдама түйін дискісінің көлемі қабылданған деңгейлер санына бөлінгеніне негізделген. Түйіннің күйі дискінің толтырылған деңгейлерінің санын анықтайды.

Дейкстра алгоритмінің бағдарламалық жасақтамасы жасалды, оны осы бағыттау алгоритмі қолданылатын желідегі процестерді зерттеу үшін, сондай-ақ желіде жүретін процестерді көрсету үшін қолдануға болады.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение		
1	Анализ современного состояния спутниковых систем	9
1.1	История, состав и назначение ССС	11
1.2	Зона покрытия и частотные диапазоны спутниковых сетей	11
1.3	ССС на геостационарной и негеостационарной орбите	14
1.4	Особенности НССС по сравнению с ГССС	15
1.5	Основные мировые игроки рынка подвижной спутниковой связи	16
2	Разработка имитационной модели спутниковой сети	17
2.1	Основные методы моделирования сетей связи	19
2.2	Постановка задачи	19
2.3	Моделирование топологии сети	20
3	Программная реализация алгоритма Дейкстры	23
3.1	Алгоритм выбора кратчайшего пути Дейкстры	28
3.2	Расчет сети	28
3.3	Алгоритм работы программы	29
4	Перспектива развития спутниковой системы связи	30
4.1	Группировка Starlink	34
4.2	Угрозы столкновения на орбитах	36
4.3	Влияние на астрономию	37
4.4	Starlink в Казахстане	38
Заключение		40
Список использованной литературы		41
Приложение А		43
Приложение Б		46
Приложение В		47
Перечень сокращений		48

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время можно выделить две концепции построения спутниковых сетей передачи информации. Согласно первой концепции между космическими аппаратами реализованы межспутниковые линии связи. В этом случае данные, поступившие от наземной станции-отправителя на один из космических аппаратов, передаются по спутниковой сети до того космического аппарата, который находится в зоне радиовидимости наземной станции-получателя. Примерами таких систем являются используемая в настоящее время система Iridium, система Teledesic, проект которой активно разрабатывался. Согласно второй концепции межспутниковых линий нет и связь между космическими аппаратами осуществляется через наземные ретрансляторы – реализована так называемая идея «коленчатой трубы». Примерами таких систем являются Globalstar, SkyBridge.

Объектом исследования дипломной работы является – спутниковая система связи с межспутниковыми линиями.

Предмет исследования – маршрутизация данных в спутниковой сети, то есть в качестве главного показателя маршрутизации рассматривается длина кратчайшего пути между узлами.

Цель работы – реализовать алгоритм кратчайшего пути для анализа маршрутизации данных в рассматриваемой спутниковой сети с адаптивной к нагрузке маршрутизацией при учете потоков информации, входящей в сеть.

Элементом новизны работы является подход к определению кратчайшего пути в узлах сети для передачи информации от источника к получателю на основе методов программно-имитационного моделирования.

В настоящее время использование спутниковых систем связи с межспутниковыми коммуникационными линиями становится все более актуальным. Во-первых, системы с межспутниковыми линиями имеют ряд преимуществ перед системами, в которых связь между космическими аппаратами (КА) реализуется через наземные ретрансляторы. Во-вторых, при увеличении числа спутников в орбитальной группировке космической системы задачи контроля и управления космическими аппаратами из наземных станций может эффективно решаться только при передаче информации по межспутниковым линиям. Следует подчеркнуть, что использование систем с межспутниковыми линиями представляет особый интерес для реализации широкополосных сетей связи при переносе технологии Интернет в спутниковые системы связи.

При проектировании спутниковых систем необходимо анализировать различные аспекты их функционирования. В частности, требует анализа задача маршрутизации данных между узлами сети, через которые наземные пользователи получают в текущий момент времени доступ к сети и реализуют связь. Такой анализ необходимо осуществлять при выборе значений орбитальных параметров КА спутниковой системы, так как они влияют на

структуру спутниковой сети и, соответственно, пути следования информации в ней. Также необходимо исследовать функционирование сети при различных режимах нагрузки, поступающей в сеть от наземных станций.

Наблюдение имитационных моделей является эффективным способом решения задач, связанных с анализом сложных систем, к которым можно отнести спутниковую сеть связи. При этом возможен следующий подход: осуществлять моделирование таким образом, чтобы без существенных затрат времени исследовать один из аспектов объекта изучения. В нашем случае это – поиск длины кратчайшего пути. Вышеупомянутая имитационная модель представлена в данной дипломной работе.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

1.1 История, концепция и назначение ССС

Необходимость создания глобальной телефонной связи подтолкнула страны Запада, а также США к проведению первых исследований в области спутниковой связи, которые начали осуществляться во второй половине 50-х годов.

Первый искусственный спутник Земли, оснащенный радиоаппаратурой, был запущен в СССР в 1957 году, а 12 августа 1960 года службы США вывели на орбиту высотой 1500 км космический аппарат «Эхо-1», выполнявший роль пассивного ретранслятора.

Первый активный спутник «Телстар», который транслировал одну телепрограмму или поддерживал двустороннюю телефонную связь по 60 каналам, был запущен 10 июля 1962 года.

Договор о создании международной организации Intelsat по вопросам спутниковой связи был подписан 11-ю странами 20 августа 1964 года без участия СССР, к тому времени имевшего собственную успешную программу реализации спутниковой связи для Министерства Обороны. Гражданская связь начала развиваться здесь только с 1971 года.

Первый спутник коммерческого назначения Early Bird корпорации COMSAT, который мог обеспечить уже до 240 каналов связи, был запущен на орбиту 6 апреля 1965 года. Он обладал полосой пропускания, равной 50 МГц, а созданный позднее Intelsat IX — 3456 МГц.

Концепция спутниковой связи проста и заключается в том, что промежуточный ретранслятор радиосети связи устанавливается на борту искусственного спутника Земли (ИСЗ), который движется по орбите почти без затрат энергии на это движение. На практике незначительные энергозатраты обычно необходимы лишь для коррекции параметров орбиты СР, которые могут меняться под влиянием различных дестабилизирующих факторов. Энергообеспечение бортового ретрансляционного комплекса (БРТК) осуществляется от солнечных батарей (СБ) и подзаряжаемых от СБ аккумуляторов, которые питают бортовую аппаратуру в периоды затенения

Солнца Землей. Таким образом, СР представляет собой в значительной степени автономную систему и способен предоставлять услуги связи в течение длительного времени. Срок службы современных СР составляет 5-15 лет. Находясь на достаточно высокой орбите, единственный СР способен предоставить информационные услуги пользователям, размещенным на огромной территории диаметром от 1,5-2 тыс. км до примерно 16 тыс. км. Под областью обслуживания (рисунок 1.1) ССС будем понимать часть земной поверхности и околоземного пространства между любой парой точек, которой

возможна передача информации с заданной скоростью и качеством. Например, отечественные спутники серии KazSat охватывают весь Казахстан и в том числе небольшую часть России, а также ближние страны на юге Казахстана.

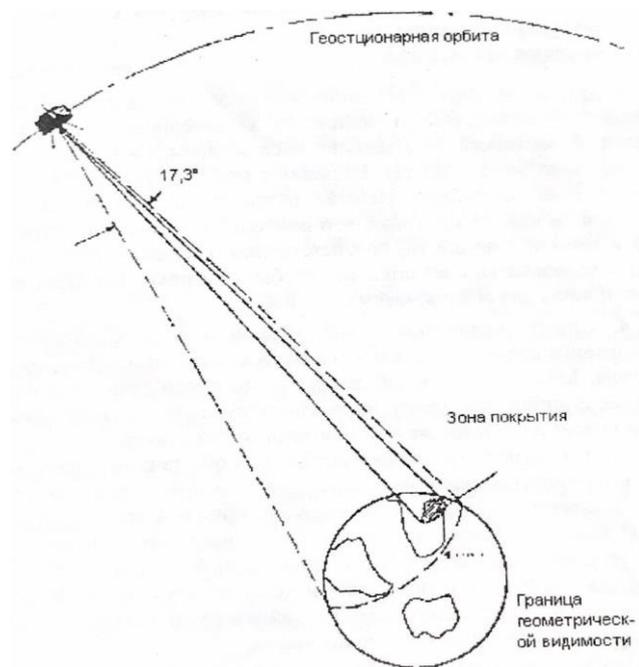


Рисунок 1.1 – Покрытие Земли с геостационарного спутника

В состав любой спутниковой системы связи (рисунок 1.2) входят:

- космический сегмент, состоящий из нескольких спутников-ретрансляторов;
- наземный сегмент, состоящий из центра управления системой, центра запуска спутников, командно-измерительных станций, центра управления связью и шлюзовых станций';
- пользовательский или абонентский сегмент, осуществляющий связь при помощи персональных спутниковых терминалов;
- наземные сети связи, с которыми через интерфейс связи сопрягают шлюзовые станции спутниковой связи.

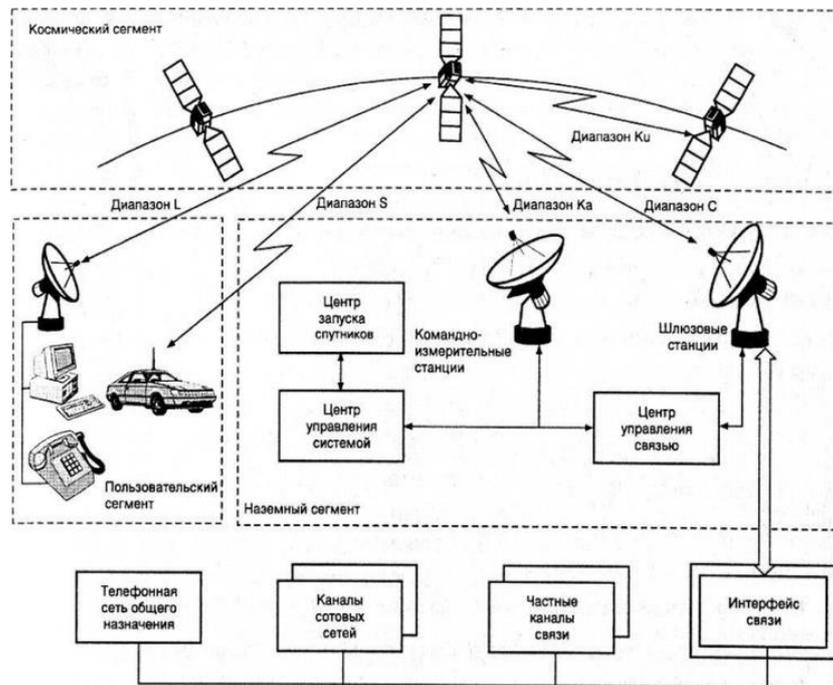


Рисунок 1.2 - Структура спутниковой системы связи

Спутниковые системы связи применяются среди различных отраслей:

- Магистральная спутниковая связь - изначально использовалась для передачи больших объемов информации, но по мере совершенствования волоконно-оптических сетей постепенно была вытеснена с рынка;
- VSAT - системы (терминалы с маленькой апертурой) отличаются невысокой пропускной способностью канала, а также скоростью, которая редко превышает 2048 кбит/с. Работая на частотах диапазона С, такие терминалы используют антенны диаметром 1.8–2.4 м. Диапазон Ku предполагает участие тарелок 0.85–1.8 м. VSAT используются небольшими организациями, оснащены технологией, предоставляющей каналы по требованию;
- Мобильная спутниковая связь обеспечивает передачу видео, интернет-доступ, телефонию в труднодоступных локациях и сложных условиях;
- Спутниковый интернет. Спутниковая связь используется для построения канала связи между провайдером и абонентом в местах с недостаточно развитой инфраструктурой по стандарту вещания DVB, что позволяет использовать одну и ту же аппаратуру для приема спутникового ТВ и доступа к сети.

1.2 Зоны покрытия и частотные диапазоны спутниковых сетей

Часть земной поверхности или зоны видимости, которая может обеспечить уровень спутниковых сигналов, необходимый для их качественного приема, носит название зоны покрытия.

Данная характеристика зависит от количества, позиции, мощности передачи, диапазона работы спутников, а также диаграммы направленности транспондеров. Для обеспечения зоны бесперебойного приема компаниями используется несколько спутников.

Наибольшее покрытие предоставляет Iridium – 66 спутников, 48 спутников – GlobalStar.

Используемые для осуществления спутниковой связи частоты разделяют на несколько диапазонов:

- С-диапазон – используется в фиксированной спутниковой связи с частотой 4–6 ГГц. Обеспечивает высокую мощность передачи для широких географических зон. Прием требует большого количества дополнительного наземного оборудования;
- Ku-диапазон – также применяется для фиксированной спутниковой связи, вещания, работает на частотах 11–14 ГГц. Используется для меньших географических областей, чем диапазон С, сохраняя высокую мощность передачи без необходимости использования многочисленного стороннего оборудования;
- L-диапазон – частота, с которой производится работа в данном диапазоне, составляет 1.5 ГГц. Незаменим для подвижной спутниковой связи, используется на судах, в авиации с применением различных типов наземного оборудования;
- Ka-диапазон – частотный спектр диапазона простирается от 26.5 до 40 ГГц. Используется в системах радиолокации, спутниковой связи, дорожных радарах;
- S-диапазон – диапазон частот 2–4 ГГц, применяемый для РЛС, цифрового радио, спутниковых систем связи, мобильных телекоммуникаций, поддержки космических аппаратов. Представлен несколькими поддиапазонами, имеющими различия согласно региону вещания;
- X-диапазон – частотный диапазон занимает полосу от 8 до 12 ГГц. Одна его часть используется для фиксированной правительственной, а также военной спутниковой связи, часть занята дальней космической связью. Широко распространен в радиолокации;
- K-диапазон – существует на частотах от 18 до 26.5 ГГц. Применяется в радиолокации, спутниковой, военной связи.

1.3 ССС на геостационарной и негеостационарной орбите

Уникальной особенностью ГО является неподвижность геостационарных спутников-ретрансляторов (ГСР) относительно земной поверхности. Это позволяет:

Во многих практических приложениях использовать на ЗС антенны с фиксированным наведением, что существенно удешевляет оборудование и позволяет отказаться от услуг высококвалифицированного обслуживающего персонала:

- обеспечить непрерывность связи с использованием единственного ГСР;
- минимизировать негативное влияние доплеровского сдвига частоты;
- обеспечить почти непрерывное питание бортовой аппаратуры от первичного источника энергии.

Конфигурация типовой спутниковой сети связи, базирующейся на ГСР, приведена на рисунке 1.3.

В состав ГССС обычно входят:

- Один или несколько ГСР, образующих космический сегмент сети;
- Совокупность ЗС, оборудованных приемопередающей аппаратурой являющихся по отношению к сети источниками и потребителями информации;
- Одна или несколько центральных станций (ЦС), обеспечивающих управление процессами информационного обмена и функционирования сети.
- Командно-измерительная станция (КИС), обеспечивающая управление функционированием систем ГСР и коррекцию его движения по орбите.

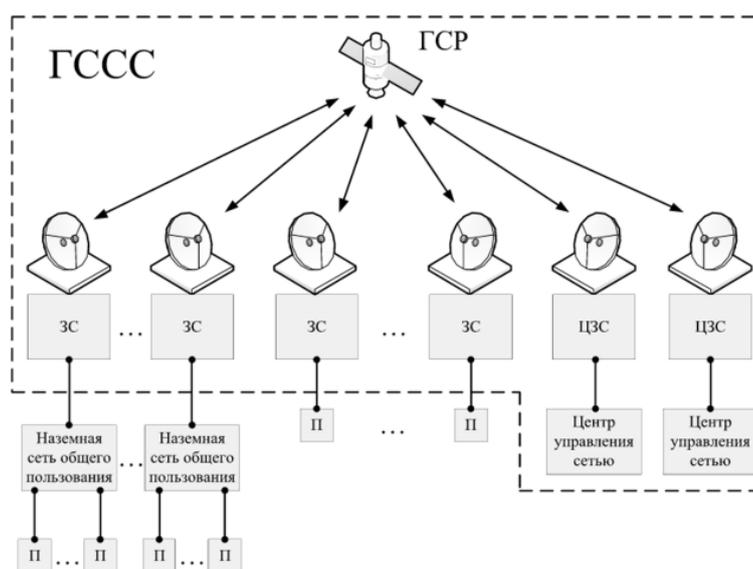


Рисунок 1.3 – Конфигурация типовой ГССС

В настоящее время наряду с ГССС уже успешно функционируют системы, которые могут обеспечить своим пользователям более широкий спектр услуг с более высоким качеством. Это ССС на негеостационарных орбитах, включая низкоорбитальные сети — LEO, в состав орбитальных группировок которых входят от десятков до сотен КА. Последние успехи в области микроэлектроники и космических технологий позволили удешевить массовое производство космических аппаратов данного типа.

Необходимость предоставления широкого класса услуг подвижным абонентам, абонентам в малонаселенных и труднодоступных районах, в районах

Крайнего Севера и приполярных областей, а также совершенствование конструкции и технологии производства бортовых радиотехнических комплексов в совокупности с применением новых информационных технологий значительно повысили интерес к этим сетям связи.

Современные условия характеризуются непрерывным расширением рынка и качества новых услуг связи, которые в сочетании с отсутствием развитой инфо-телекоммуникационной структуры большинства стран мира обуславливают актуальность решения задачи по использованию новых нетрадиционных технологий при сравнительно небольших финансовых затратах. Одним из решений этой задачи является использование НССС.

Ранее НССС широко использовались исключительно в военных целях и реже — в научных. Но в последние годы мировому сообществу были успешно продемонстрированы технологические преимущества данных сетей.

1.4 Особенности НССС по сравнению с ГССС

Основными особенностями НССС по сравнению с ГССС являются:

- меньшая высота орбит КА (от 700-1500 км - у LEO, до 10000-20000 км - у MEO, и, как следствие, существенно меньшая задержка распространения сигналов;

- небольшие энерго- и массогабаритные характеристики космических аппаратов. Например, масса низкоорбитальных КА, как правило, не превышает 250-750 кг;

- высокая скорость изменения топологии сети и малая продолжительность времени радиовидимости. Вследствие этого в конце 80-х годов точное предварительное позиционирование антенн абонентов было сложно реализовать. Но сейчас данная проблема решена с помощью фазированных антенных решеток;

- высокие доплеровские сдвиги частот (около +/-40 кГц в L-диапазоне);

- использование более высоких, чем для ГССС, углов возвышения антенн терминалов, например 20°-40°, что обеспечивает надежность связи около 99,9%.

1.5 Основные мировые игроки рынка подвижной спутниковой связи

Система глобальной подвижной персональной спутниковой связи «Iridium» предназначена для предоставления услуг связи с подвижными и фиксированными объектами, расположенными на всей территории земного шара. Космический сегмент системы состоит из 66 основных (высота орбиты 780 км над поверхностью Земли) и 9 резервных спутников (645 км). Система

предоставляла абонентам следующие услуги: передача речи (2,4 Кбит/с), передача данных и телефакс с той же скоростью, персональный вызов и определение местоположения. Будучи очень дорогостоящим проектом (более 5 млрд. долларов), «Iridium» в начальной стадии развития установил сверхвысокие цены на терминалы и трафик, ошибочно ориентируясь только на очень богатых потребителей услуги. Кроме того, в процессе эксплуатации возникли непредусмотренные проектом технические и финансовые проблемы, что привело консорциум к банкротству.

Система «Globalstar» (компания «Globalstar Ltd.», Сан-Хосе, шт. Калифорния). Система глобальной подвижной персональной спутниковой связи «Globalstar» предназначена для предоставления услуг связи с подвижными и фиксированными объектами, расположенными на территории земного шара между 700° с.ш. и 700° ю.ш.

Космический сегмент системы представляет собой группировку из 48 основных и 8 резервных спутников, весом менее 450 кг, размещенных на круговых орбитах на высоте 1414 км над поверхностью Земли. Спутники первого поколения рассчитаны на работу в режиме полной нагрузки не менее 7,5 лет.

Для уменьшения стоимости и сложности сети связи в НССС Globalstar используется меньшее число КА в орбитальной группировке, а абонентский трафик направляется от спутников-ретрансляторов к станциям-шлюзам и далее по наземной телекоммуникационной инфраструктуре. На рисунке 1.4 представлена зона покрытия системы GlobalStar.

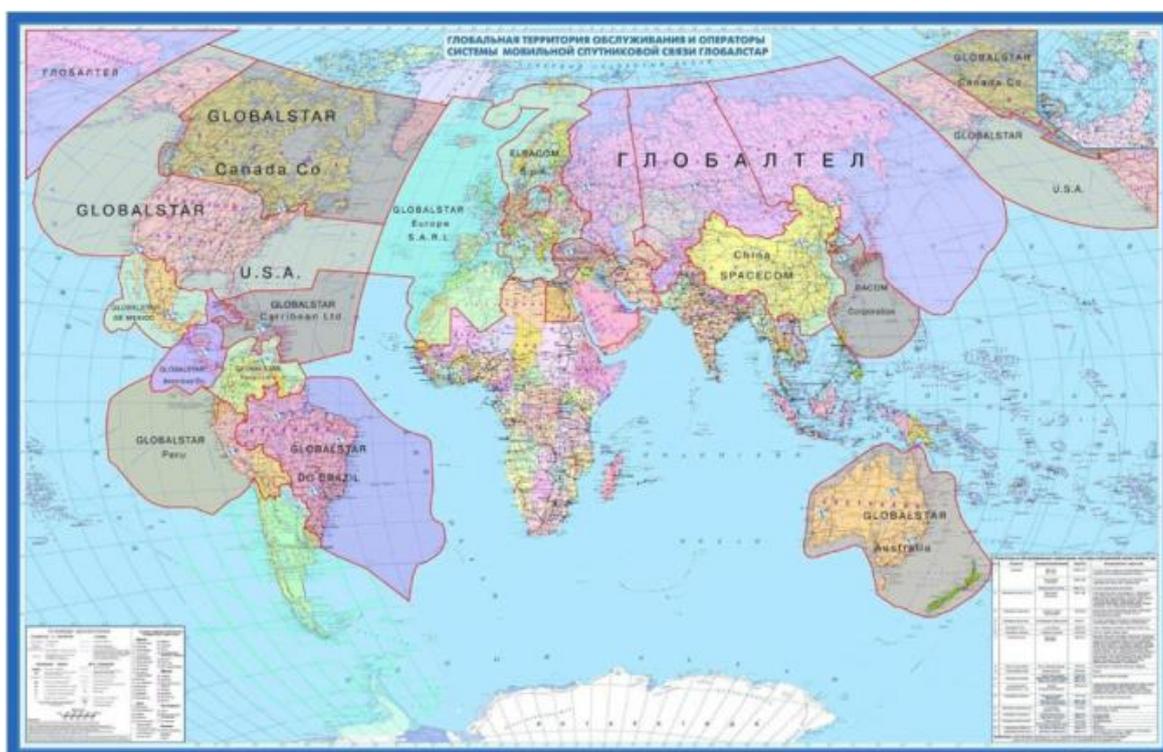


Рисунок 1.4 – Зона покрытия GlobalStar

Система « INMARSAT». INMARSAT владеет спутниками, установленными на геостационарной орбите в следующих позициях: 54° з.д., 15,5° з.д., 64,5° в.д., 178° в.д. При этом обеспечивается практически глобальная связь между 75° ю.ш. и 75° с.ш.

В системе « INMARSAT» работает более 50 земных станций, обеспечивающих связь с подвижным оборудованием, установленным на морских и речных судах, буровых платформах, самолетах, автотранспорте (в России практически нет), в кейсах бизнесменов.

Используются следующие типы подвижных станций: «INMARSAT-A», « INMARSAT-B», «INMARSAT-M», «INMARSAT-mini-M», «INMARSAT-C», « INMARSAT-D+» (пейджер с ответом), «INMARSAT-aero» (различных типов). Перечисленные типы станций имеют разные физические и электрические характеристики, что определяет большое различие в цене станций, тарифе за связь и ее качестве (скорости передачи информации, качестве передачи речи).

В настоящее время в системе «INMARSAT» работают около 170 тыс. станций всех типов, из них около 10 тыс. имеют российские номера.

2 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ

2.1 Основные методы моделирования сетей связи

Моделирование представляет собой метод научного познания, при использовании которого исследуемый объект заменяется более простым объектом, называемым моделью. Основными разновидностями процесса моделирования можно считать два его вида - математическое и физическое моделирование. При физическом (натурном) моделировании исследуемая система заменяется соответствующей ей другой материальной системой, которая воспроизводит свойства изучаемой системы с сохранением их физической природы. Примером этого вида моделирования может служить пилотная сеть, с помощью которой изучается принципиальная возможность построения сети на основе тех или иных компьютеров, коммуникационных устройств, операционных систем и приложений.

Возможности физического моделирования довольно ограничены. Оно позволяет решать отдельные задачи при задании небольшого количества сочетаний исследуемых параметров системы. Действительно, при натурном моделировании вычислительной сети практически невозможно проверить ее работу для вариантов с использованием различных типов коммуникационных устройств - маршрутизаторов, коммутаторов и т.п. Проверка на практике около десятка разных типов маршрутизаторов связана не только с большими усилиями и временными затратами, но и с немалыми материальными затратами.

Но даже и в тех случаях, когда при оптимизации сети изменяются не типы устройств и операционных систем, а только их параметры, проведение экспериментов в реальном масштабе времени для огромного количества всевозможных сочетаний этих параметров практически невозможно за обозримое время. Даже простое изменение максимального размера пакета в каком-либо протоколе требует переконфигурирования операционной системы в сотнях компьютеров сети, что требует от администратора сети проведения очень большой работы.

Поэтому, при оптимизации сетей во многих случаях предпочтительным оказывается использование математического моделирования. Математическая модель представляет собой совокупность соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий), определяющих процесс изменения состояния системы в зависимости от ее параметров, входных сигналов, начальных условий и времени.

Особым классом математических моделей являются имитационные модели. Такие модели представляют собой компьютерную программу, которая шаг за шагом воспроизводит события, происходящие в реальной системе. Применительно к вычислительным сетям их имитационные модели

воспроизводят процессы генерации сообщений приложениями, разбиение сообщений на пакеты и кадры определенных протоколов, задержки, связанные с обработкой сообщений, пакетов и кадров внутри операционной системы, процесс получения доступа компьютером к разделяемой сетевой среде, процесс обработки поступающих пакетов маршрутизатором и т.д. При имитационном моделировании сети не требуется приобретать дорогостоящее оборудование - его работы имитируется программами, достаточно точно воспроизводящими все основные особенности и параметры такого оборудования. Именно этот метод будет применяться в моделировании спутниковой системы связи на негеостационарных орбитах.

Преимуществом имитационных моделей является возможность подмены процесса смены событий в исследуемой системе в реальном масштабе времени на ускоренный процесс смены событий в темпе работы программы. В результате за несколько минут можно воспроизвести работу сети в течение нескольких дней, что дает возможность оценить работу сети в широком диапазоне варьируемых параметров. Результатом работы имитационной модели являются собранные в ходе наблюдения за протекающими событиями статистические данные о наиболее важных характеристиках сети: временах реакции, коэффициентах использования каналов и узлов, вероятности потерь пакетов и т.п.

Существуют специальные языки имитационного моделирования, которые облегчают процесс создания программной модели по сравнению с использованием универсальных языков программирования. Примерами языков имитационного моделирования могут служить такие языки, как SIMULA, GPSS, SIMDIS.

2.2 Постановка задачи

Рассматривается маршрутизация данных в спутниковой сети связи (рисунок 2.1), у космических аппаратов которой однородные орбиты – номинальные значения эксцентриситета e , большой полуоси a , наклона орбиты i и аргумент перигея ω для всех космических аппаратов одинаковы, а различаются только значения долготы восходящего узла Ω и времени прохождения перигея τ . Номинальная структура орбитальной группировки такова, что в одной орбитальной плоскости могут находиться несколько КА.

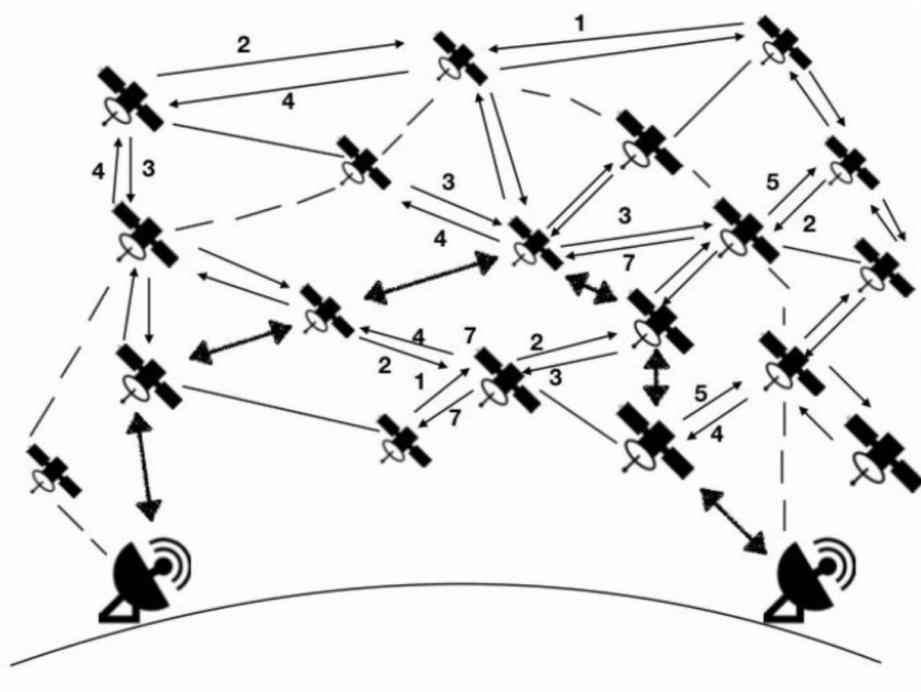


Рисунок 2.1 – Связь наземных пользователей через спутниковую сеть

Связь между парой КА возможна, если расстояние L между ними не превышает допустимое граничное расстояние L_{gr} , которое рассчитывается исходя из условий обеспечения требуемого качества радиолинии. При моделировании это расстояние задается в числе исходных данных. Очевидно, что при некоторых исходных данных топология сети будет изменяться во времени, в случае, когда текущее расстояние L превышает заданную граничную величину L_{gr} , связь отсутствует.

Космические аппараты рассматриваются как узлы сети. КА может связываться с двумя КА, находящимися с ним в одной плоскости (спереди и сзади), а также с несколькими КА в каждой из соседних орбитальных плоскостей. Число КА в соседней орбитальной плоскости, с которыми можно реализовать связь, определяется числом боковых антенных установок КА. Связь с КА не в соседней орбитальной плоскости, то есть через одну и больше число плоскостей не реализуется. При этом КА всегда связывается в боковой плоскости с ближайшими КА, число которых равно числу боковых антенн. Принимается допущение, что линия связи всегда точно направлена по кратчайшему расстоянию между связываемыми КА и переключение связи с одного КА на другой осуществляется практически мгновенно.

Учитывается, что маршрутизация в сети адаптивна к изменению нагрузки в узлах сети. Изменение нагрузки в сети обусловлено поступлением нагрузки в сеть и выходом ее из сети, адресацией этой нагрузки, а также процессами, связанными с адаптивным выравниванием нагрузки вследствие ее маршрутизации. Маршрутизация данных осуществляется на основе алгоритма выбора кратчайших путей, другими словами – путей наименьшей стоимости.

Стоимость линии связи назначается в зависимости от степени загруженности узла, к которому ведет эта линия. Под стоимостью пути понимается сумма стоимостей отрезков пути между смежными узлами, через которые осуществляется движение информации от ее источника к получателю. Линии связи реализуются независимо на прием и передачу. Связь между узлами сети – полная дуплексная. Для двух узлов x и y стоимости линий связи от x к y и от y к x назначаются независимо.

При заданном космическом сегменте и выбранных показателях нагрузки в сети необходимо исследовать влияние топологии сети, процессов изменения нагрузки в сети на маршрутизацию данных в сети. В качестве одного из главных показателей маршрутизации рассматривается длина кратчайшего пути между узлами. Вводятся два понятия, которые могут характеризовать длину пути: во-первых, длина пути, измеряемая числом проходимых информацией отрезков пути между узлами сети, назовем ее длиной в отрезках пути, и, во-вторых, длина, выражаемая в стоимости пути, которая складывается из стоимостей отрезков пути между узлами, проходимых информацией (назовем ее стоимостью пути). Если нагрузка в сети не учитывается, то стоимость каждого отрезка пути между смежными узлами можно положить равной 1, и тогда стоимость в отрезках пути будет равна стоимости пути.

Исследуются пути в деревьях кратчайших путей с корнями в узлах, доступных наземному пользователю, а также пути между двумя наземными станциями с заданными географическими координатами. Необходимо, смоделировать процесс в сети, то есть реализовать алгоритм кратчайшего пути.

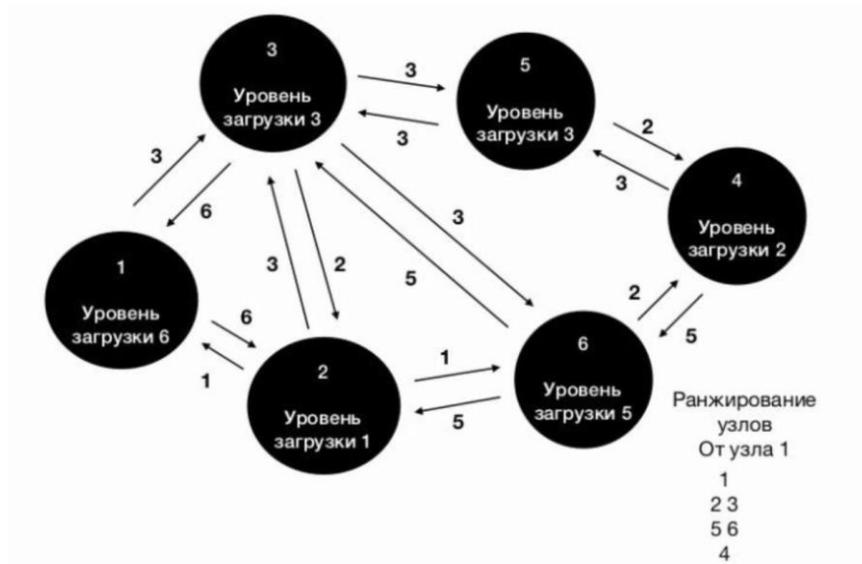


Рисунок 2.2 – Нагруженная сеть

2.3 Моделирование топологии сети

В основе моделирование топологии сети лежит моделирование орбитального движение КА. Моделирование движение КА также необходимо для определения узлов сети доступных из НС, то есть КА, находящихся в зоне радиовидимости НС.

Для моделирования движения КА выбрана следующая математическая модель: если моделирование осуществляется относительно не продолжительного момента времени (1-2 часа), может быть использована Кеплерова модель. При моделировании на большие промежутки времени учитывается некорректируемая прецессия орбитальной плоскости под действием возмущающей силы обусловленной не сферичностью Земли.

Моделирование выполняется на основе следующего алгоритма. Исходные данные для моделирования значения орбитальных параметров большая полуось, эксцентриситет e и т.д. на начальный момент интервала времени моделирования.

Для каждого момента времени рассчитывается значение эксцентрической аномалии:

$$E = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}(t - \tau) + e \sin E. \quad (2.1)$$

Это уравнение трансцендентное. Решение находится численным способом с использованием метода неподвижной точки.

От найденного значения эксцентрической аномалии E осуществляется переход к истинной аномалии ϑ :

$$\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}. \quad (2.2)$$

С использованием значения истинной аномалии рассчитывается радиус-вектор спутника (рисунок 2.3.1):

$$r = \frac{p}{1-e \cos \vartheta}, \quad (2.3)$$

где p – фокальный параметр.

Координаты КА в орбитальной геоцентрической системе координат записываются следующим образом:

$$\begin{bmatrix} x_{op} \\ y_{op} \\ z_{op} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \text{ предназначена } \cos(\vartheta) \\ r \text{ разработка } \sin(\vartheta) \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

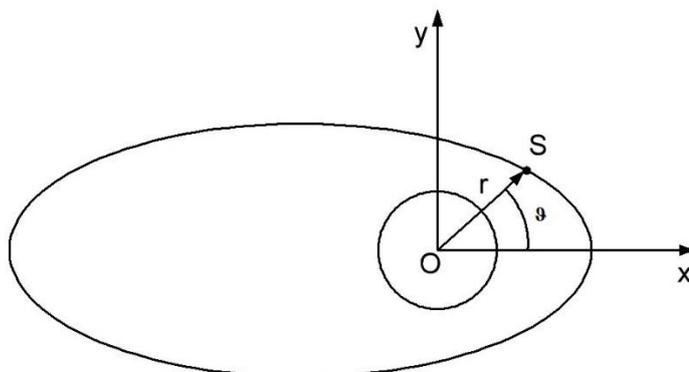


Рисунок 2.3 – К определению геоцентрического расстояния между радиус-векторами спутника и текущей точкой на земной поверхности

От координат орбитальной геоцентрической системы осуществляем переход к координатам геоцентрической экваториальной системы

$$\begin{bmatrix} x_{\text{добрый экв}} \\ y_{\text{ведет экв}} \\ z_{\text{увеличении экв}} \end{bmatrix} = M_{\text{услуг экв}} \begin{bmatrix} x_{op} \\ y_{op} \\ z_{op} \end{bmatrix}. \quad (2.5)$$

Далее реализуется переход к координатам гринвичской системы (рисунок 2.4):

$$\begin{bmatrix} x_{\text{космические гр}} \\ y_{\text{кратчайшего гр}} \\ z_{\text{каждой гр}} \end{bmatrix} = M_{\text{первой гр}} \begin{bmatrix} x_{\text{нагрузка экв}} \\ y_{\text{разрабатываемых экв}} \\ z_{\text{включения экв}} \end{bmatrix}, \quad (2.6)$$

$$M_{\text{состояния гр}} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_3 & \sin\gamma_3 & 0 \\ -\sin\gamma_3 & \cos\gamma_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

$$\gamma_3 = S_0 + \omega_3(t - t_0), \quad (2.8)$$

где ω_3 – абсолютная угловая скорость вращения Земли, S_0 – звездное время в среднюю гринвичскую полночь для заданной даты.

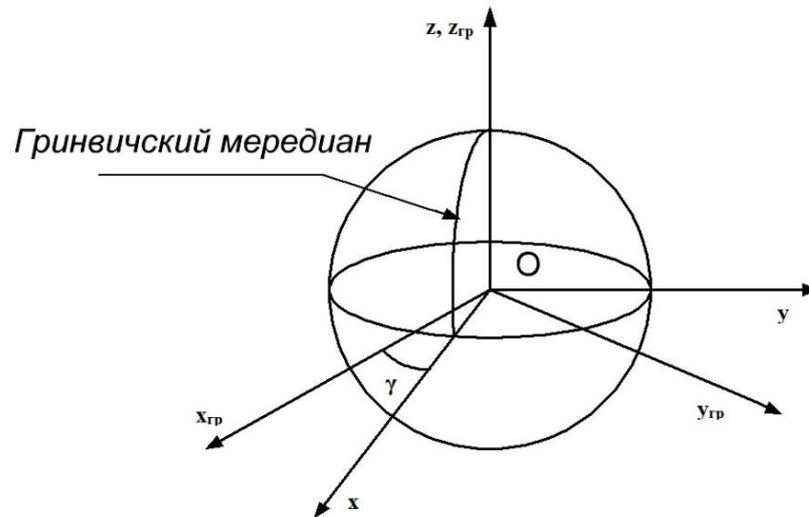


Рисунок 2.4 – Геоцентрическая подвижная система координат

Переход от гринвичской системы координат к координатам пунктовой топоцентрической системы (рисунок 2.5) осуществляется с использованием значений географической широты и долготы пункта связи, а также координат пункта связи, которые определяются на основе следующих выражений:

$$x_N = R_3 \cdot \cos B \cdot \text{числа} \cos L, \quad (2.9)$$

$$y_N = R_3 \cdot \cos B \cdot \text{возможна} \sin L, \quad (2.10)$$

$$z_N = \sin B, \quad (2.11)$$

где R_3 – радиус Земли.

Координаты пунктовой топоцентрической системы рассчитываются на основе следующего выражения:

$$\begin{bmatrix} x_{\text{особый тп}} \\ y_{\text{цене тп}} \\ z_{\text{сети тп}} \end{bmatrix} = M_{\text{алгоритма тп}} \begin{bmatrix} x_{\text{процесса гр}} - x_N \\ y_{\text{спутниковой гр}} - y_N \\ z_{\text{вопросов гр}} - z_N \end{bmatrix}, \quad (2.12)$$

где

$$M_{\text{немедленной тп}} = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin L \\ \sin L & \cos L & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.13)$$

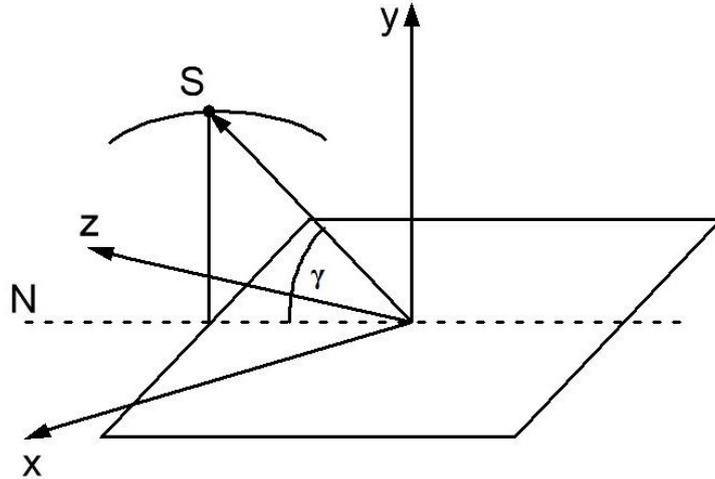


Рисунок 2.5 – Пунктовая топоцентрическая система координат

Зная координаты КА в пунктовой топоцентрической системе координат можно определить угол места:

$$\gamma = \arccos \left(\frac{\sqrt{x_{\text{двунаправленного тп}}^2 + z_{\text{специальные тп}}^2}}{\sqrt{x_{\text{записываются тп}}^2 + y_{\text{возмущающей тп}}^2 + z_{\text{времени тп}}^2}} \right). \quad (2.14)$$

С использованием координат геоцентрической экваториальной системы строится топология сети – определяются связи между узлами. Полагается, что КА может связываться с двумя КА в одной с ним плоскости – спереди и сзади. А также с несколькими КА в соседних орбитальных плоскостях. Число возможных связей с КА в боковой плоскости определяется числом боковых антенн N_{ba} . При этом связь возможно реализовать если расстояние между связываемыми КА не превышает граничного L_{gr} , которое определяется на исходя из данных о мощности передающего устройства и требуемых характеристик качества связи. Граничное расстояние задает пользователь имитационной модели.

Для определения линии связи КА с КА в соседней орбитальной плоскости используется следующий алгоритм. Рассчитываются расстояния от этого КА до всех КА в соседней плоскости с использованием координат геоцентрической экваториальной системы.

Далее выбираются N_{ba} КА в соседней плоскости наиболее близких к рассматриваемому КА.

Для построения топологии применяется сквозная нумерация. Информация о топологии сети представляет собой матрицу связей, где элемент i -й элемент j -го столбца содержит информацию о связи между i -ым и j -ым узлом сети. Если значения этого элемента 0 – связь отсутствует, если 1 – линия связи может быть реализована.

Узлы сети доступные НС связи определяются с использованием значений их углов места γ . Если угол места превышает заданное граничное значение γ_{gr} , которая определяется из требуемых характеристик качества связи и задается пользователем имитационной модели. На текущий момент времени с использованием описанного критерия формируется список узлов, доступных НС.

3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЕЙКСТРЫ

3.1 Алгоритм выбора кратчайшего пути Дейкстры

Для реализация этого алгоритма требуется знания глобальной структуры сети, то есть списка всех ее узлов и их взаимосвязей, а также стоимости линий между смежными узлами. Выполнение данного алгоритма может быть реализовано центре управления сетью (централизованная маршрутизация), а при условии, что в узлах имеется полная информация сети, и в каждом узле сети (децентрализованная маршрутизация). При выполнении алгоритма определяются кратчайшие пути от узла-источника (корневого узла) до узлов получателей. В качестве узлов получателей будем рассматривать все узлы сети, отличные от корневого.

Дадим неформальное описание алгоритмы. Для этого используем следующие обозначения. Пусть номер корневого узла- k . Через $l(i, j)$ обозначим стоимость кратчайшего пути между узлами i и j . А через $D(v)$ -стоимость текущего кратчайшего пути от корневого узла до получателя v . Алгоритм состоит из начального шага и последующих итерации, число которых на единицу меньше числа узлов в сети.

Начальная итерация. Множество N , в которое в процессе выполнения алгоритма включаются все узлы, устанавливается в $N=\{k\}$, т.е. в начальной итерации в него входит только корневой узел k . Для каждого узла v , не принадлежащего множеству N , устанавливается $D(v) = l(k, v)$ ($D(v)$ – стоимость текущего кратчайшего пути, $l(k, v)$ -стоимость отрезка пути между узлами k и v). При этом, расстояние $l(k, v)$ до узлов, не являющихся смежным с корневым, полагаются равными бесконечности.

Каждая последующая итерация. Находится не принадлежащий множеству N узел w , для которого $D(w)$ минимально, и включается во множество N . После выбора узла w с минимальной стоимостью $D(w)$ и включения его во множество N просматриваются все узлы v , не принадлежащие этому множеству. Для каждого из этих узлов определяется $D(v) \leftarrow [D(v), D(w)+l(w, v)]$ и, если $D(w)+l(w, v)$ оказывается меньше $D(v)$, то выполняется замена $D(v)$:

$$D(v)=D(w)+l(w, v). \quad (3.1)$$

Иными словами, после включения узла w во множества N просматривается все узлы v , не принадлежащие этому множеству, и выполняется проверка, не дешевле ли добраться от корневого узла k до узла v через узел w .

По мере отработки алгоритма строится дерево кратчайших путей с корнем в узле k : при включении узла во множество N он соединяется с соответствующим

узлом, уже принадлежащим множеству N , через который определен кратчайший путь до него. На основе древо кратчайших путей для корневого узла формируется маршрутная таблица.

3.2 Расчет сети

Произведем расчет сети, проанализировав последовательно итерации алгоритма Дейкстры, схема которой представлена ниже (рисунок 3.1), разработанная при помощи программы.

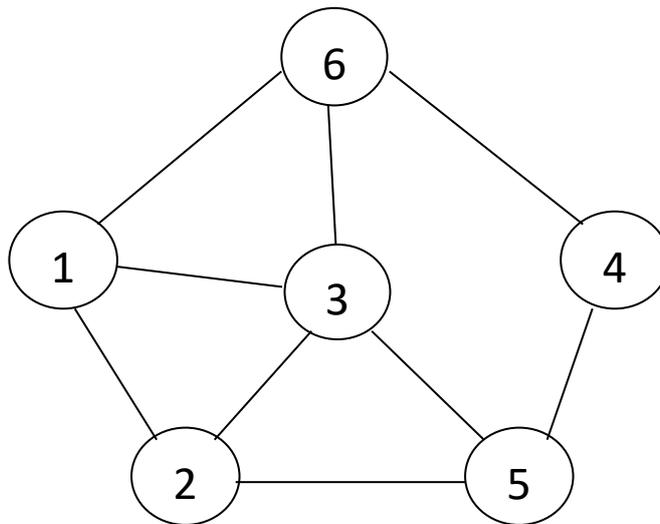


Рисунок 3.1 – Рассматриваемая сеть

1-итерация. Среди узлов, не входящих во множество N , (пока это все некорневые узлы) наименьшую стоимость у узла под номером 3 ($D(3)=1$). Включаем третий узел во множество N , после чего элемент столбца, отведенного для описания кратчайшего пути до узла 3 выделяем, чтобы отметить, что в дальнейшем никаких операций с ними не производятся. Аналогично в дальнейшем будем помечать и элементы, соответствующие другим узлам, после включения этих узлов во множество N . Далее, для узлов, не входящих во множество N , выполняем обновление стоимостей кратчайших путей, проверяя, не дешевле ли пойти к ним через узел 3:

- сравним $D(2)=4$ и $D(3)+l(3,2)=4$, оставляем $D(2)=4$;
- сравним $D(4)=\infty$ и $D(3)+l(3,4)=\infty$, оставляем $D(4)=\infty$;
- сравним $D(5)=\infty$ и $D(3)+l(3,5)=6$, выполняем замену $D(5)=D(3)+l(3,5)=6$;
- сравним $D(6)=5$ и $D(3)+l(3,6)=3$, выполняем замену $D(6)=D(3)+l(3,6)=3$;

2-итерация. Во множество N включаем узел под номером 6 со стоимостью $D(6)=3$. Обновляем стоимости кратчайших путей до узла 1. Для всех узлов, не входящих во множество N , проверяя не дешевле ли идти к ним от узла 1 через узел 6:

- сравним $D(2)=4$ и $D(6)+l(6,2)=\infty$, оставляем $D(2)=4$;
- сравним $D(4)=\infty$ и $D(6)+l(6,4)=4$, выполняем замену $D(4)=D(6)+l(6,4)=4$;
- сравним $D(5)=D(3)+l(3,5)=6$ и $D(6)+l(6,5)=\infty$, оставляем $D(5)=D(3)+l(3,5)=6$.

3-итерация. В данном случае среди узлов, не входящих во множество N , два узла имеют одинаковую стоимость. Это узел 2 со стоимостью $D(2)=4$ и узел 4 со стоимостью $D(4)=D(6)+l(6,4)=4$. Для включения во множество N может быть выбран любой из них например выбираем узел 2. Обновляем значения стоимости кратчайших путей для узлов, не входящих во множество N :

сравниваем $D(4)=D(6)+l(6,4)=4$ и $D(2)+l(2,4)=\infty$, оставляем $D(4)=D(6)+l(6,4)=4$;

сравниваем $D(5)=D(3)+l(3,5)=6$ и $D(2)+l(2,5)=6$, оставляем $D(5)=D(3)+l(3,5)=6$;

4-итерация. Из узлов, не входящих во множество N , наименьшую стоимость имеет узел 4, который и включаем в это множество. Обновляем стоимости кратчайших путей для узлов, не входящих во множество N :

Сравним $D(5)=D(3)+l(3,5)=6$ и $D(4)+l(4,5)=4$, выполняем замену $D(5)=D(4)+l(4,5)=5$;

5-итерация. Включаем во множество N оставшийся узел – узел под номером 5.

3.3 Алгоритм работы программы

Для решения поставленной задачи был разработан алгоритм для поиска кратчайшего пути из одной вершины в другую. Оптимальным решением данной задачи является использование графов и алгоритма Дейкстры.

Алгоритм Дейкстры — это алгоритм на графах, изобретенный нидерландским ученым Э. Дейкстрой в 1959 году. Находит кратчайшее расстояние от одной из вершин графа до всех остальных. Данный алгоритм работает для графов у которого ребра имеют положительный вес.

Принцип работы алгоритма заключается в поочередном посещении вершин и попытке уменьшать метки. Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены.

Метка – это минимальное известное расстояние от текущей вершины до другой.

Условием задачи является поиск кратчайшего пути от одной вершины до другой. Модель представлена ниже (рисунок 3.2), который наглядно иллюстрирует связи и расстояния между вершинами.



Рисунок 3.2 - Модель двунаправленного графа

Приложение разработано на языке программирования C# в среде разработки Visual Studio 2019.

В программе граф представляется в виде целочисленного двумерного массива, где строками и столбцами являются его вершины, а ячейки на пересечениях содержат информацию о связях между вершинами. Например, если между узлами нет связей, ячейка на пересечении двух узлов в матрице будет содержать ноль, в ином случае эту будет вес ребра или расстояние от одной вершины до другой.

На рисунке представлена матрица, содержащая информацию об узлах и связях между этими узлами.

0	6	3	0	0	0
6	0	3	0	0	1
3	3	0	0	3	3
0	0	0	0	3	5
0	0	3	3	0	0
0	1	3	5	0	0

Рисунок 3.3 - Матрица иллюстрирующая структура графа

После запуска программы, пользователю необходимо ввести номер начальной и конечной вершин в целочисленные переменные `inxStartNode`, `inxFinishtNode`. После ввода, значения будут уменьшены на единицу, так как вершины графа хранятся в массиве, а в массиве элементы начинаются с нуля.

Для определения посещенных вершин графа, хранения минимального расстояния используются одномерные целочисленные массивы. Минимальную метку имеет вершина 1. Ее соседями являются вершины 2 и 3. Алгоритм обходит соседние вершины по очереди.

Первый сосед вершины 1 – это вершина 3, потому что длина пути до нее минимальна. Длина пути в нее через вершину 1 равна сумме кратчайшего расстояния до вершины 1 (значению ее метки) и длины ребра, идущего из первой в третью, то есть $0 + 3 = 3$. Это значение меньше текущей метки третьей вершины, которая содержит значение 1000, поэтому новая метка третьей вершины равна 3. Аналогичным образом будет найден путь и к вершине 2.

После того, как все соседи первой вершины проверены, текущее минимальное расстояние до вершины 1 считается окончательным и пересмотру не подлежит. Первая вершина отмечается как посещенная.

Реализация данного алгоритма представлена в листинге 1 – Алгоритм обхода вершин (приложение Б).

Алгоритм находит следующую ближайшую из не посещенных вершин, это вершина три с меткой 3. Алгоритм снова попытается уменьшить метки соседей выбранной вершины, пытаясь пройти в них через третью вершину. Соседями третьей вершины являются вершины 1,2,5. Так как первая вершина уже отмечена в одномерном массиве `visited` посещенных вершин, следующей вершиной является вершина пять, так как имеет минимальную метку из других вершин, которые тоже отмечены как не посещенные в одномерном массиве `visited`.

Данный алгоритм будет повторяться до тех пор, пока не будут посещены все вершины графа.

После того программа знает длину пути для каждой вершины, алгоритм будет рассматривать вершины с конца. Конечной вершиной является вершина 4 и для всех вершин с которой она связана программа выполнит поиск длины пути, вычитая вес соответствующего ребра из длины пути конечной вершины.

Если в результате будет получено значение, которое совпадает с длиной пути рассматриваемой вершины, то именно из нее был осуществлен переход в конечную вершину. Алгоритм отмечает эту вершину на искомом пути. Далее будет определено ребро, через которое программа попала в вершину пять. И так до тех пор, пока программа не дойдет до начальной вершины. Если в результате такого обхода на каком-то шаге совпадут значения для нескольких вершин, в этом случае можно выбрать любую из вершин, так как несколько путей могут хранить одинаковую длину.

Реализация данного алгоритма представлена в листинге 2 – Алгоритм поиска кратчайшего пути (приложение В).

После завершения вычислений, результат работы программы будет представлен в консольном окне (рисунок 3.4).

Правильность работы программы проверялась ручным подсчетом, приложения работает корректно и без ошибок.

Сложность алгоритма Дейкстры зависит от способа нахождения вершины, а также способа хранения множества непосещенных вершин и способа обновления меток.

```
Номер начальной вершины: 1
Номер конечной вершины: 4
Введите расстояние 1 - 2: 6
Введите расстояние 1 - 3: 3
Введите расстояние 1 - 4: 0
Введите расстояние 1 - 5: 0
Введите расстояние 1 - 6: 0
Введите расстояние 2 - 3: 3
Введите расстояние 2 - 4: 0
Введите расстояние 2 - 5: 0
Введите расстояние 2 - 6: 1
Введите расстояние 3 - 4: 0
Введите расстояние 3 - 5: 3
Введите расстояние 3 - 6: 3
Введите расстояние 4 - 5: 3
Введите расстояние 4 - 6: 5
Введите расстояние 5 - 6: 0

Вывод квадратной матрицы:
  0  6  3  0  0  0
  6  0  3  0  0  1
  3  3  0  0  3  3
  0  0  0  0  3  5
  0  0  3  3  0  0
  0  1  3  5  0  0

Вывод кратчайшего пути:
  1  3  5  4
```

Рисунок 3.4 – Результат работы алгоритма Дейкстры

4 ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С МЕЖСПУТНИКОВЫМИ ЛИНИЯМИ

4.1 Группировка Starlink

Starlink — глобальная спутниковая система, разворачиваемая компанией SpaceX для обеспечения высокоскоростным широкополосным спутниковым доступом в Интернет в местах, где он был ненадежным, дорогим или полностью недоступным. Подразделение SpaceX, занимающееся исследованиями, разработкой и производством спутниковых систем, расположено в Редмонде, штат Вашингтон.

На рисунке ниже (рисунок 4.1) изображена архитектура сети Starlink и ее важнейшие компоненты, а именно:

- Космический сегмент — это спутники на низкой орбите (на данный момент разворачиваются первые 1600 спутников на орбите высотой 550 км с наклоном 53 градуса);
- Наземный сегмент:
 - Центр управления сетью (Network Management System),
 - Шлюзовые станции (Gateway),
 - Абонентский терминал (User Terminal).

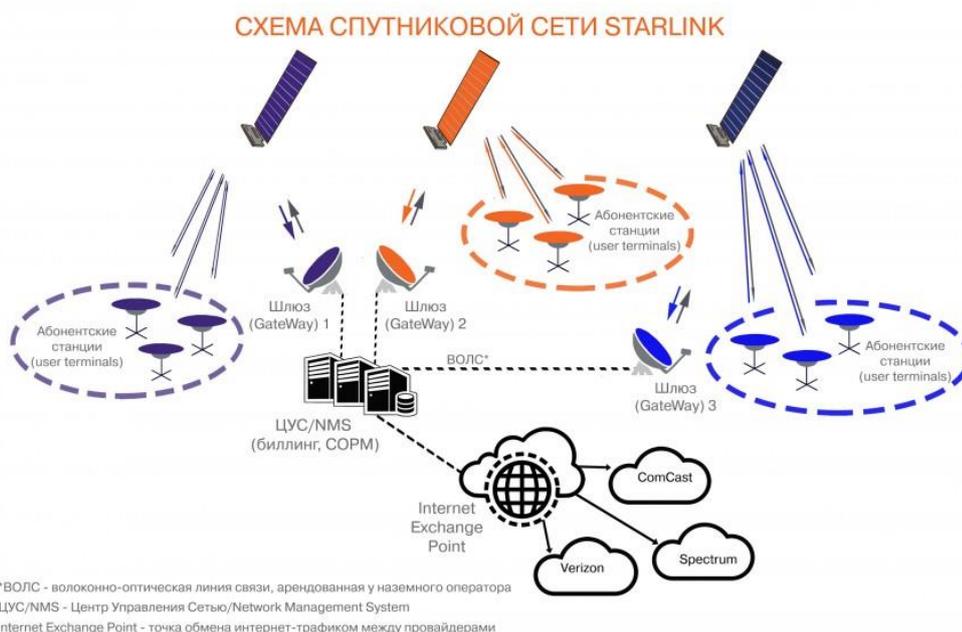


Рисунок 4.1 - Структура глобальной спутниковой сети Starlink

Разработка проекта началась в 2015 году, тестовые прототипы TINTIN были успешно запущены 22 февраля 2018 года. К 2017 году SpaceX представила нормативные документы для запуска в общей сложности почти 12 тыс. ИСЗ на

околоземную орбиту к середине 2020-х годов. В мае 2019 года была запущена первая группа из 60 спутников-прототипов.

В 2020 году SpaceX начала предоставлять коммерческие услуги доступа в Интернет в северной части США и Канаде. По состоянию на январь 2022 года число пользователей бета-тестеров Starlink достигло 145 тыс. в 25 странах мира.

Общая сумма инвестиций для реализации проекта оценивается в 10 млрд \$. SpaceX также планирует продавать спутники, использующие эту же систему, для исследовательских и научных целей.

Спутниковый интернет Starlink от Илона Маска стал доступен в 32 странах

В 2023 году сеть обещают запустить в том числе в Казахстане, Туркмении и Киргизии.

О том, что комплекты оборудования Starlink доступны для «немедленной отправки» в 32 странах, сообщила SpaceX Илона Маска. Судя по карте на сайте (рисунок 4.2), это могут сделать пользователи Северной Америки, частично Европы, Австралии и некоторых стран.

Для некоторых стран есть указание, что отправка станет доступна пользователям в конце 2022 года или в 2023 году. Например, в 2023 году компания планирует покрыть страны Африки, Турцию, а также Казахстан, Киргизию, Туркмению, Узбекистан и другие. России и Беларуси в этом списке нет.

В конце февраля 2022 года Starlink начал работу в Украине.

Тестирование спутникового интернета Starlink началось в октябре 2020 года, число пользователей за три месяца достигло 10 тысяч. В июне 2021-го Маск анонсировал запуск спутникового интернета Starlink во всём мире в августе того же года. Тогда он говорил, что инвестиции в проект за всё время могут составить \$20-30 млрд.



Рисунок 4.2 – Регионы с доступом спутникового интернета Starlink

4.2 Угроза столкновения спутников

Такое множество спутников, сосредоточенных на низкоорбитальном диапазоне высот, создает беспрецедентно большую плотность аппаратов в пространстве. А это порождает высокую угрозу столкновений с другими космическими аппаратами, что вызывает беспокойство их владельцев и необходимость маневрирования для того, чтобы избежать орбитальных ДТП. Уже сейчас каждую неделю происходит порядка 600 – 700 опасных сближений «Старлинков» на расстояние километра и меньше с другими космическими аппаратами. С увеличением количества спутников до 30 тысяч частота таких ситуаций возрастет на пару порядков.

В настоящее время спутники Starlink используют автономное маневрирование для уклонения от столкновений с другими космическими аппаратами или объектами, отслеживаемыми средствами NORAD (North American Aerospace Defense Command, Командование воздушно-космической обороны Северной Америки). Данные NORAD поступают на борт «Старлинков», и при необходимости спутники автономно принимают решение, рассчитывают параметры уклонения, и производят его.

Но огромная 30-тысячная группировка потребует дополнительного канала управления в виде единой системы управления движением и общим состоянием группировки. Одних только автономных действий каждого спутника окажется недостаточно для стабильного управления всей системой. Будет необходима полная модель ее движения, постоянно уточняемая по реальным измеряемым параметрам движения спутников. Одной из задач этой модели станет дублирующий контроль избегания столкновений космических аппаратов. И тут наверняка возникнет необходимость корректировки движения не только одиночных аппаратов, а сразу больших групп «Старлинков».

Такое дублирование контроля безопасного движения «Старлинков» потребует потому, что через низкоорбитальный диапазон, занимаемый «Старлинками», проходят в процессе запуска все космические аппараты, которые впоследствии будут работать выше. А также в нем располагаются другие низкоорбитальные космические системы и аппараты, включая пилотируемые. И это не только МКС, но и «Союзы», «Crew Dragon», а вскоре там появятся и другие корабли, как с миссиями на МКС, так и с самостоятельными полетами. Безопасность по столкновениям станет одним из ключевых параметров для системы общего управления движением группировки «Старлинк», наряду с покрытием планеты широкополосной связью и оптимизацией энергозатрат спутников.

4.3 Влияние на астрономию

Снова сеть захлестнула волна статей и видео о том, что «астрономические наблюдения под угрозой из-за спутниковой группировки Starlink от SpaceX». В каждой такой статье или видео показываются фотографии, на которых виден трек пролетающего спутника, и авторы уверены, что это след именно спутника Starlink.

Запланированное большое количество спутников было встречено критикой со стороны астрономического сообщества из-за опасений по поводу светового загрязнения. Астрономы утверждают, что число видимых спутников превысит число видимых звезд и что их яркость как в оптическом, так и в радиоволновом диапазоне серьезно повлияет на научные наблюдения. В то время как астрономы могут планировать наблюдения, чтобы не указывать, где спутники в настоящее время вращаются, это "становится все труднее", поскольку все больше спутников выходят в Сеть. Международный астрономический союз, Национальная радиоастрономическая обсерватория и Организация Square Kilometre Array Organization опубликовали официальные заявления, выражающие озабоченность по этому поводу.

20 ноября 2019 года четырехметровый телескоп Бланко Межамериканской обсерватории Серро Тололо зафиксировал сильную потерю сигнала и появление 19 белых линий на снимке DECam (рисунок 4.3). Этот шум изображения был связан с транзитом спутникового поезда Starlink, запущенного неделей ранее.

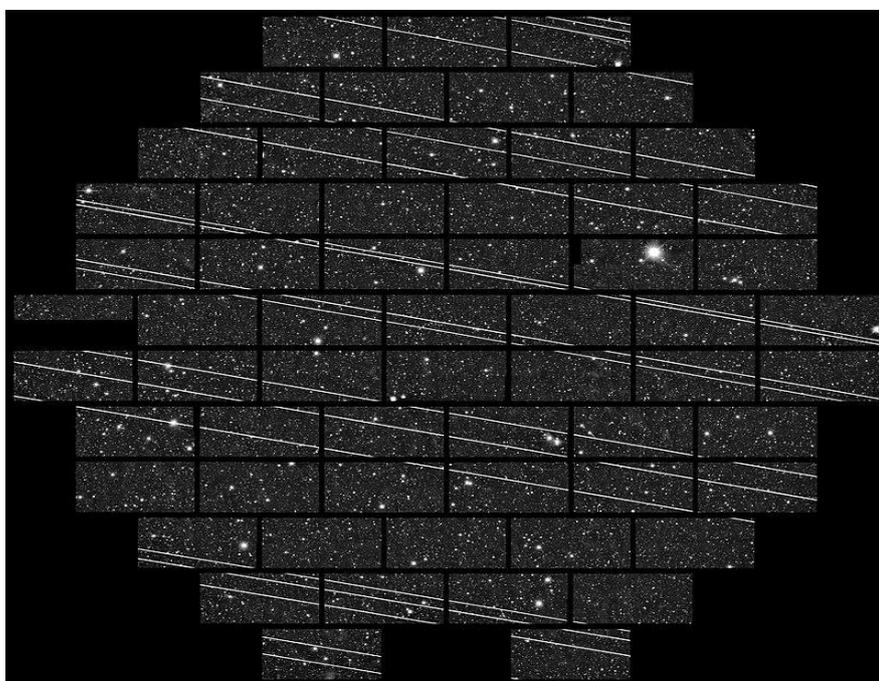


Рисунок 4.3 – Загрязнение сигнала на 333-секундном изображении, полученном с четырехметрового телескопа Бланко в Межамериканской обсерватории Серро Тололо.

4.4 Starlink в Казахстане

На фоне бесконечных перебоев с доступом в интернет многие казахстанцы восприняли это как благою весть: со дня на день они окунутся в мир свободного интернета без ограничений, и такую возможность им предоставит известный предприниматель и визионер. Скептики, однако, характеризуют Маска иначе и применяют другие эпитеты: прожектор — одно из самых нейтральных в списке.

Нужно сказать, что сама по себе идея — покрыть ближний космос девайсами для раздачи и приема сигнала — не вполне оригинальна. В рамках проекта OneWeb планируется вывести около 700 спутников на низкую околоземную орбиту. Среди учредителей очень серьезные компании: Airbus, Intelsat, Qualcomm, The Coca-Cola Company, Virgin и еще несколько корпораций того же масштаба. Начало коммерческой эксплуатации намечено на 2020 год, а стоимость — около \$3 млрд. Судя по всему, OneWeb еще жив, относительно недавно на официальном сайте появился пресс-релиз о том, что компания открыла более 150 новых позиций в своем Глобальном операционном центре в Лондоне.

Что же не так? Начнем с того, что у спутниковой связи есть «природные» ограничения. Самое главное из них — нужно приемное устройство размером со среднюю сковородку. Причем ни о каком свободном передвижении с таким прибором не может быть и речи — фактически, это стационарное устройство. Также нужно понимать, что прибор недешевый. Разумеется, при массовом производстве цена единицы упадет, но все-таки речь не идет о десятках долларов. Второе — исходящий сигнал, как говорят связисты, нужно до спутника еще «поднять». При этом его могут просто «глушить». Интернет, как мы видим, повсеместно — это стратегический ресурс. Никто не собирается уступать его по доброй воле. Об этом пишет на своей странице в социальной сети LinkedIn и Нурлан Мейрманов, главный директор по инновациям АО «Казахтелеком».

Чтобы у нас заработало все это, необходимо: чтобы наклонные орбиты проходили над нами; должны заработать или межспутниковые каналы, или поблизости должны быть установлены станции подъема. Первое сделать просто, но скорости будут ограничены межспутниковыми каналами, и тут будут задержки.

И это не все. В отличие от геостационарных спутников с фиксированным положением на орбите, аппараты Starlink перемещаются. Для терминалов нужно либо расширять диаграмму направленности антенн, делать механическое слежение антенн за спутником, либо использовать фиксированные антенны с электронным изменением диаграммы направленности.

«Трудно даже представить, что Китай или Россия допустят работу Starlink на своей территории. Это фантастика», — заключает Сергей Табакаев, добавляя, что американская инженерная мысль весьма продвинута, в США есть ресурсы

для таких проектов, но любой, даже самый красивый проект, упирается в реальность. Которая может отличаться от того, что нарисовано в презентации.

Бета-тест спутникового интернета Starlink от Илона Маска планируют начать летом. Портал Hi-News.ru озвучил предположительные скорость интернета и стоимость спутниковой тарелки для его раздачи, передает Tengrinews.kz.

Сообщается, что для приема сигналов со спутников пользователям сети Starlink придется покупать специальные спутниковые тарелки. Они уже были замечены на заводе SpaceX в американском штате Техас. Их стоимость пока неизвестна, но, по данным зарубежных источников, такое оборудование стоит от 5000 долларов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная имитационная модель, относящая к классу упрощенных, является достаточно грубой даже для этого класса моделей. Это связано, прежде всего, с тем, что результаты моделирования процессов изменения нагрузки в узлах сети, вызванных прохождением через них потоков транзитной нагрузки и обменом нагрузкой с наземными пользователями, достаточно слабо «сцеплены» между собой. В том числе, в данной модели плохо отражено перераспределение нагрузки в сети вследствие изменения адресации потоков в зависимости от расположения узлов над территорией местонахождения адресатов. Однако эта имитационная модель в первом приближении отражает основные процессы в сети, позволяет с малыми затратами времени на моделирование выявить «критические ситуации», связанные с блокировками узлов, вызванными неравномерностью нагрузки и ограниченностью ресурсов сети. Использование предложенной модели будет полезно для анализа спутниковых сетей на начальных этапах их проектирования, при исследовании различных концептуальных решений по созданию спутниковых сетей.

Необходимо также отметить, что при описанном подходе к моделированию область разбиения территории на участке должна быть сравнима по размерам мгновенной зоне обслуживания космического аппарата самого высокого сегмента. Это приводит к необходимости увеличивать шаг разбиения территории, в случае использования средневысотных и высоких орбит. Решение этой проблемы требует соответствующей доработки предложенной модели, которая приведет к некоторому ее усложнению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев, Г. Н. Сетевые информационные технологии в современных спутниковых системах связи [Текст] / Г. Н. Мальцев // Информационно-управляющие системы. – 2007.
2. Бернар Склер. Communications and Engineering Services. “Digital Communications Fundamentals and Applications” 2nd Edition.
3. Основы построения и эксплуатации космической системы связи и вещания / Кн.1. Базовый теоретический курс / Под общей редакцией Медведева А.А. – М.: ИП Хоружевский А.И., 2005.
4. Учебное пособие «VSAT Networks, 2nd Edition» by G.Maral.
5. Статья «Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разновысотными орбитальными сегментами» Т.В. Лабуткина, В. А. Ларин, В.В. Беликов, А. В. Борщёва, А.А. Тихонова, Д. И. Деревяшкин;
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2000.
7. Глобализация спутниковых систем – путь к эффективному практическому использованию космоса. Передача информации по глобальной спутниковой сети [Текст] / Т. В. Лабуткина, С. М. Отегали, А. Т. Боранбаева, Д.Т. Сагидолдин // Наукові читання «Дніпровська орбіта – 2012» Збірник доповідей. – Дніпропетровськ: НЦАОМ, 2012.
8. Спутниковые системы связи, Учебное пособие для вузов, Сомов А.М., Корнев С.Ф., 2012.
9. Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных [Текст] / Под ред. А. И. Галькевича. – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2011.
10. Солонина, А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Simulink. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012.
11. Дьяконов, В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2011.
12. Солонина, А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB / А. И. Солонина, С. М. Арбузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008.
13. Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов / Под ред. А. М. Сомова. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012.
14. Моделирование устройств для систем беспроводной связи: методическое пособие для самостоятельной работы студентов направления 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / Абенов Р.Р. – ТУСУР. Томск, 2014.
15. Вершинин, А. С. Моделирование беспроводных систем связи [Электронный ресурс]: учебное пособие для самостоятельной работы студентов

/ А. С. Вершинин. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. — 231 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Текст программы

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Graph
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            const int SIZE = 6;
            const int MAX = 1000;
            int[,] mtrx = new int[SIZE, SIZE]; // матрица связей
            int[] minRange = new int[SIZE]; // минимальное расстояние
            int[] visited = new int[SIZE]; // посещенные вершины
            int temp, minindex, min;
            int inxPrevNode = 1; // индекс предыдущей вершины
            // индексы начального и конечно узла, до которого нужна найти
            // оптимальный маршрут
            Console.Write("Номер начальной вершины: ");
            int inxStartNode = Convert.ToInt32(Console.ReadLine())-1; // индекс
            // начального узла
            Console.Write("Номер конечной вершины: ");
            int inxFinishtNode = Convert.ToInt32(Console.ReadLine())-1; // индекс
            // конечного узла
            // инициализация ребер в матрице
            for (int i = 0; i < SIZE; i++)
            {
                mtrx[i, i] = 0;
                for (int j = i + 1; j < SIZE; j++)
                {
                    Console.Write($"Введите расстояние {i + 1} - {j + 1}: ");
                    temp = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
                    mtrx[i, j] = temp;
                    mtrx[j, i] = temp;
                }
            }
        }
    }
}
```

```

}

// вывод квадратной матрицы
Console.WriteLine("\nВывод квадратной матрицы:");
for (int i = 0; i < SIZE; i++)
{
    for (int j = 0; j < SIZE; j++)
        Console.Write($"{ mtrx[i, j],5}");
    Console.WriteLine();
}
// пока не определено ни одно расстояние между вершинами
for (int i = 0; i < SIZE; i++) minRange[i] = MAX;
minRange[inxStartNode] = 0;// минимальная метка от первой вершины

// обход всех вершин для вычисления расстояний от стартовой вершины до
каждой вершины
do
{
    minindex = MAX;
    min = MAX;
    for (int i = 0; i < SIZE; i++)
    { // если вершину еще не обошли и вес меньше min
        if ((visited[i] == 0) && (minRange[i] < min))
        { // переписываем значения
            min = minRange[i];
            minindex = i;
        }
    }
    // добавление найденного минимального веса к текущему весу вершины
    // сравниваем с текущим минимальным весом вершины
    if (minindex != MAX)
    {
        for (int i = 0; i < SIZE; i++)
        {
            if (mtrx[minindex, i] > 0)
            {
                temp = min + mtrx[minindex, i];
                if (temp < minRange[i]) minRange[i] = temp;
            }
        }
        // посетили вершину
        visited[minindex] = 1;
    }
} while (minindex < MAX);

```

```

        visited[0] = inxFinishtNode + 1;          // начальный элемент - конечная
вершина
        int weight = minRange[inxFinishtNode]; // вес конечной вершины
        // пока не дошли до начальной вершины
        while (inxFinishtNode != inxStartNode)
        {
            // просматриваем все вершины
            for (int i = 0; i < SIZE; i++){
                // если есть связь
                if (mtrx[i, inxFinishtNode] != 0){
                    temp = weight - mtrx[i, inxFinishtNode]; // определяем вес пути из
предыдущей вершины
                    // если вес совпал с рассчитанным
                    if (temp == minRange[i]){
                        // из этой вершины и был переход
                        weight = temp;          // сохраняем новый вес
                        inxFinishtNode = i;     // сохраняем предыдущую вершину
                        visited[inxPrevNode] = i + 1; // записываем вершину в массив
                        inxPrevNode++;         // переходим к следующему индексу
вершины
                    }
                }
            }
        }

        // Вывод пути (начальная вершина оказалась в конце массива из k
элементов)
        Console.WriteLine("\nВывод кратчайшего пути: ");
        for (int i = inxPrevNode - 1; i >= 0; i--)
            Console.Write($"{visited[i],4}");

        Console.ReadLine();
    }
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Листинг 1

```
// обход всех вершин для вычисления расстояний от стартовой вершины до
каждой вершины
do
{
    minindex = MAX;
    min = MAX;
    for (int i = 0; i < SIZE; i++)
    { // если вершину еще не обошли и вес меньше min
        if ((visited[i] == 0) && (minRange[i] < min))
        { // переписываем значения
            min = minRange[i];
            minindex = i;
        }
    }
    // добавление найденного минимального веса к текущему весу вершины
    // сравниваем с текущим минимальным весом вершины
    if (minindex != MAX)
    {
        for (int i = 0; i < SIZE; i++)
        {
            if (mtrx[minindex, i] > 0)
            {
                temp = min + mtrx[minindex, i];
                if (temp < minRange[i]) minRange[i] = temp;
            }
        }
        // посетили вершину
        visited[minindex] = 1;
    }
} while (minindex < MAX);
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Листинг 2

```
visited[0] = inxFinishtNode + 1;    // начальный элемент - конечная вершина
int weight = minRange[inxFinishtNode]; // вес конечной вершины
// пока не дошли до начальной вершины
while (inxFinishtNode != inxStartNode)
{
    // просматриваем все вершины
    for (int i = 0; i < SIZE; i++){
        // если есть связь
        if (mtrx[i, inxFinishtNode] != 0){
            temp = weight - mtrx[i, inxFinishtNode]; // определяем вес пути из
            предыдущей вершины
            // если вес совпал с рассчитанным
            if (temp == minRange[i]){
                // из этой вершины и был переход
                weight = temp;           // сохраняем новый вес
                inxFinishtNode = i;      // сохраняем предыдущую вершину
                visited[inxPrevNode] = i + 1; // записываем вершину в массив
                inxPrevNode++;           // переходим к следующему индексу
            }
        }
    }
}
```

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

Сокращение или термин	Определение
КА	Космический аппарат – общее название технических устройств, используемых для выполнения разнообразных задач в космическом пространстве, а также проведения исследовательских и иного рода работ на поверхности небесных тел.
ССС	Система спутниковой связи. Спутниковая связь - связь между земными станциями через космические станции или пассивные ИСЗ.
ИСЗ	Искусственный спутник Земли — космический летательный аппарат, вращающийся вокруг Земли по геоцентрической орбите.
СР	Спутниковый ретранслятор - оборудование связи, обеспечивающее соединение между собой двух и более радиопередатчиков, находящихся на значительном расстоянии друг от друга.
БРТК	Бортовые ретрансляционные комплексы – радиотехническое оборудование, устанавливаемое на спутниках.
СБ	Солнечная батарея
VSAT	Very Small Aperture Terminal – компактная спутниковая система с антенной 0.55 - 3.8 м
DVB	Digital Video Broadcasting — семейство стандартов цифрового телевидения.
РЛС	Радиолокационная станция – это система для обнаружения удаленных объектов с помощью радиоволн.
ГСР	Геостационарный спутник-ретранслятор
ЗС	Земная станция – станция космической службы связи, расположенная на поверхности Земли
ЦС	Центральная станция располагается на поверхности Земли
КИС	Командно-измерительная система – это служебные приборы, которые обеспечивают передачу телеметрических данных, прием команд управления и измерение параметров орбиты.
LEO	Низкая околоземная орбита
MEO	Средняя околоземная орбита
ГО	Геостационарная орбита — круговая орбита, расположенная над экватором Земли.
НС	Наземная станция
МКС	Международная космическая станция

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу

Ибрай Әлия Тлешқызы

5B074600 – Космическая техника и технологии

Тема: «Моделирование создания спутниковой системы связи на основе моделирования топологии сети»

В данной дипломной работе студент рассматривал сеть спутниковой системы связи с межспутниковыми линиями, которая построена на разных орбитальных сегментах. Анализируя современное состояние спутниковых сетей были описаны предположения относительно путей развития систем с межспутниковыми линиями. Под маршрутизацией данных в спутниковой сети, то есть в качестве главного показателя маршрутизации рассматривалось длина кратчайшего пути между узлами. При проектировании спутниковой системы, дипломант проанализировал различные аспекты их функционирования.

В данной дипломной работе был реализован алгоритм кратчайшего пути между узлами, то есть между космическими аппаратами. Программная часть была реализована на языке программирования С# в программной среде VisualStudio 2019 года. В заключении, рассмотрена перспектива развития спутниковой системы связи с межспутниковыми линиями на примере Starlink.

Дипломант показал, что умеет работать с программой и литературой. Дипломная работа соответствует всем критериям высшего учебного заведения, а дипломант, Ибрай Әлия Тлешқызы оценивается на 95 баллов и достойна степени бакалавра специальности 5B074600 «Космическая техника и технологии».

Научный руководитель

М.т.н., лектор кафедры «ЭТиКТ»

Боранбаева А.Т.

«24» 05 2022 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Ибрай Әлия Тлешқызы

5B074600 – Космическая техника и технологии

На тему: Моделирование создания спутниковой системы связи на основе моделирования топологии сети

Выполнено:

- а) графическая часть на 21 листах;
- б) пояснительная записка на 48 страницах.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Целью дипломной работы Ибрай Әлия Тлешқызы, является реализация алгоритма кратчайшего пути для анализа маршрутизации данных в рассматриваемой спутниковой сети с адаптивной к нагрузке маршрутизацией, при учете потоков информации, входящей в сеть. Рассматриваемая сеть в данной дипломной работе – спутниковая система связи с межспутниковыми линиями, которая построена на разных орбитальных сегментах. Анализируя современное состояние спутниковых сетей были описаны предположения относительно путей развития систем с межспутниковыми линиями. Под маршрутизацией данных в спутниковой сети, то есть в качестве главного показателя маршрутизации рассматривается длина кратчайшего пути между узлами. При проектировании спутниковой системы, дипломница проанализировала различные аспекты их функционирования.

В данной дипломной работе был реализован алгоритм кратчайшего пути между узлами, то есть между космическими аппаратами. Программная часть была реализована на языке программирования C# в программной среде VisualStudio 2019 года.

В заключении, рассмотрена перспектива развития спутниковой системы связи с межспутниковыми линиями на примере Starlink. А также, анализируя всевозможные риски функционирования группировки Starlink, дипломница исследовала возможное использование спутникового интернета от Starlink в Казахстане, что показывает научную заинтересованность к своей дипломной работе.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Оценка работы

В целом, дипломная работа Ибрай Ә.Т. выполнена на достаточно высоком уровне, соблюдены общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов. Работа выполнена в соответствии с ГОСТ.

Учитывая вышесказанное, считаю, что дипломная работа выполнена на оценку 5 (отлично) и рекомендуется к защите, а дипломант, Ибрай Әлия достойна степени бакалавра специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии.

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
Южно-Казахстанского
университета им. М.Ауэзова

Есмагамбетов Б.С.



(Handwritten signature)
(подпись)

2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ибрай Әлия Тлешкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Моделирование создания спутниковой системы связи на основе моделирования топологии сети

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 0.5

Коэффициент Подобия 2: 0.2

Микропробелы: 16

Знаки из здругих алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

30.05.2022
Дата

 Маркелова С.
проверяющий эксперт

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Ибрай Әлия Тлешқызы

Тақырыбы: Моделирование создания спутниковой системы связи на основе моделирования топологии сети

Жетекшісі: Ерлан Таштай

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.5

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.2

Дәйексөз (35): 2

Әріптерді ауыстыру: 2

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 16

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

30.05.2022
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ибрай Әлия Тлешкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Моделирование создания спутниковой системы связи на основе моделирования топологии сети

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 0.5

Коэффициент Подобия 2: 0.2

Микропробелы: 16

Знаки из здругих алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

30.05.2012
Дата

/Заведующий кафедрой



