

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,**  
**МЕХАНИКИ И ОПТИКИ”**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
**ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**«РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ПРОГРАММНЫМ**  
**ПАКЕТОМ ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ RTKLIV»**

Автор Кузнецов Андрей Андреевич  
(фамилия, имя, отчество) \_\_\_\_\_ (подпись)

Направление подготовки (специальность) 09.04.01 -  
Информатика и вычислительная техника

Квалификация магистр  
(бакалавр, инженер, магистр)

Руководитель Соснин Владимир Валерьевич, к.т.н., доцент  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень)

**К защите допустить**

Зав.кафедрой Муромцев Дмитрий Ильич, к.т.н., доцент  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень)

Санкт-Петербург, 2018 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	7
1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ . . . . .	10
1.1 Особенности работы GPS-приёмников . . . . .	10
1.2 Дифференциальная GPS и кинематика реального времени . . . .	11
1.2.1 Дифференциальная GPS . . . . .	11
1.2.2 Кинематика реального времени . . . . .	12
1.3 Программный пакет RTKLIB . . . . .	13
1.3.1 Поддерживаемые спутниковые системы . . . . .	13
1.3.2 Режимы работы . . . . .	14
1.3.3 Поддерживаемые форматы данных . . . . .	17
1.3.4 Программы, входящие в состав RTKLIB . . . . .	17
1.4 Основные проблемы использования RTKLIB . . . . .	20
1.5 Обзор существующих веб-приложений, предназначенных для работы с устройствами без органов управления . . . . .	21
1.5.1 OpenWrt . . . . .	22
1.5.2 Windows 10 IoT Core . . . . .	23
1.6 Выводы по разделу 1 . . . . .	25
2 ОБЗОР ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . .	27
2.1 Платформа для разработки . . . . .	27
2.2 Общая архитектура приложения . . . . .	28
2.2.1 Задачи и требования . . . . .	28
2.2.2 Основные модули . . . . .	29
2.3 Выбор инструментов разработки . . . . .	29
2.3.1 Серверная часть приложения . . . . .	29
2.3.2 Клиентская часть приложения . . . . .	31
2.4 Детализированная архитектура приложения . . . . .	32

2.4.1	Подробная архитектура клиентской части приложения . . .	32
2.5	Описание модулей приложения и основные требования, предъявляемые к ним . . . . .	33
2.5.1	Статус . . . . .	33
2.5.2	Изыскания . . . . .	34
2.5.3	Настройки RTK . . . . .	35
2.5.4	Входящие поправки . . . . .	36
2.5.5	Выдача позиции . . . . .	37
2.5.6	Режим базы . . . . .	38
2.5.7	Логирование . . . . .	40
2.5.8	Управление камерой . . . . .	41
2.5.9	Wi-Fi . . . . .	41
2.5.10	Bluetooth . . . . .	41
2.5.11	Настройки . . . . .	42
2.5.12	Батарея . . . . .	42
2.5.13	Модуль обработки событий . . . . .	43
2.5.14	Модуль работы с картами . . . . .	43
2.5.15	Общие замечания и ограничения, накладываемые модули, предназначенные для конфигурации устройства . . . . .	44
2.6	Создание макета веб-приложения . . . . .	44
3	РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . .	46
3.1	Подготовка окружения для разработки . . . . .	46
3.2	Структура проекта. Артефакты сборки (?) . . . . .	46
3.3	Глобальное хранилище данных. Модули глобального хранилища данных . . . . .	46
3.4	Модели представления. Однонаправленный поток данных . . . .	46
3.5	Модули общего назначения . . . . .	46
3.6	Вспомогательные компоненты . . . . .	46
4	ТЕСТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . .	47

Библиографический список . . . . .	48
------------------------------------	----

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В настоящее время сложно представить жизнь без спутниковой навигации – данная технология стала неотъемлемой частью деятельности огромного числа людей. Спутниковые системы позволяют легко определить улицу или дом, где находится человек, или же просто помочь в ориентировании на незнакомой местности. Но использование систем навигации не ограничивается только лишь бытовым применением – данная технология активно применяется для решения задач автоматизации сельскохозяйственных работ, топографических съёмок, а также в множестве других областей.

Точность современных приёмников, установленных, например, в смартфонах или автомобильных навигаторах, в зависимости от условий, при которых осуществлялось определение местоположения, варьируется от трёх до пяти метров. Для повседневного применения, например, ориентации по городу – это отличный результат. Однако же, для решения задач более сложных, чем перечисленные выше, необходимы гораздо более точные данные, которые получают, используя технологию *дифференциального GPS*. Данное решение подразумевает использование сложных алгоритмов, а стоимость представленных на рынке устройств, позволяющих производить подобные расчёты, может превышать 10000 долларов США.

Для тех, кому по тем или иным причинам дорогостоящее оборудование недоступно, решением может стать RTKLIV [1] – проект с открытым исходным кодом, реализующий вышеупомянутые алгоритмы для стандартных, общедоступных приёмников. Однако, распространению данного пакета программ мешает неудобство его использования: для управления и мониторинга требуется наличие полноценного компьютера, а программы RTKLIV имеют множество режимов работы и настроек, что достаточно сильно повышает общий порог вхождения.

**Объектом исследования** является программный пакет высокоточного позиционирования RTKLІВ.

**Предметом исследования** является процесс взаимодействия пользователя с программными компонентами RTKLІВ.

**Целью исследования** является создание приложения, позволяющего взаимодействовать с RTKLІВ через веб-браузер. Под взаимодействием понимается возможность наблюдать различные статусы и изменять настройки компонентов RTKLІВ, производить сбор данных, а также работать с накопленными файлами логов данных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

Для достижения цели исследования был сформулирован следующий ряд **задач**:

- изучить состав и возможности программного комплекса RTKLІВ;
- произвести анализ существующих веб-приложений, предназначенных для работы устройствами, у которых отсутствуют органы управления;
- осуществить проектирование и разработку приложения;
- произвести тестирование приложения.

**Средствами разработки** в представленной работе являются: языки программирования Python и JavaScript для реализации серверной (англ. *back-end*) и клиентской (англ. *front-end*) частей приложения соответственно, открытые JavaScript-библиотеки D3.js, OpenLayers, JavaScript-фреймворк Vue.js. Для организации обмена данными серверной и клиентской частей приложения в реальном времени используются библиотека Socket.IO, принцип работы которой основывается на протоколе WebSocket.

**Методологической основой** работы послужила гибкая методология разработки (англ. *Agile software development*), ориентированная на итеративный процесс создания программного продукта и учитывающая возможность динамического формирования требований.

**Новизна** работы обусловлена отсутствием в настоящее время каких-либо программных продуктов с открытым API, основанных на RTKLIB и позволяющих работать с геодезическим оборудованием через веб-браузер.

**Результатом** данной работы является рабочая версия приложения, в которой реализованы все необходимые функции, перечисленные в постановке цели исследования. Также была создана и выложена в открытый доступ пользовательская документация, поясняющая основные моменты работы с приложением. Открытый API находится в стадии разработки.

**Апробация результатов работы.** Наличие документации позволило осуществить открытое тестирование приложения пользователями и, как результат, получить отзывы, сообщения об ошибках и пожелания к функциональности.

# 1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

## 1.1 Особенности работы GPS-приёмников

Каждый GPS-приёмник определяет свои координаты, основываясь на расстояниях до спутников, с которых он получает сигналы. Данные расстояния вычисляются из времени, которое требуется радиосигналам для прохождения от космических аппаратов до приёмника.

Для установления позиции приёмнику необходимо получать сигналы минимум от четырёх спутников. Каждый из этих сигналов может быть искажён при прохождении через слои атмосферы или при отражении от различных наземных объектов (рис. 1.1) – данные явления вызывают появление ошибок и задержек, что отрицательно сказывается на точности позиционирования.



Рисунок 1.1 – Источники ошибок: атмосферные задержки и переотражение сигнала

Важную роль в решении проблемы, описанной выше, играет масштабность системы GPS. Расстояние между наземными объектами и космическими спутниками так велико, что многие расстояния на земле становятся незначительными. Иными словами, если разместить два приёмника на расстоя-



нии нескольких сотен километров друг от друга, то сигналы, которые они будут получать со спутников, будут проходить практически через одну и ту же часть атмосферы, что позволит считать ошибки на обоих приёмниках одинаковыми (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – База и ровер, получающие сигналы с одного спутника

Описанный выше принцип не является лишь теоретическими рассуждениями – данный способ устранения ошибок применяется на практике и является основой *дифференциальной GPS*.

## 1.2 Дифференциальная GPS и кинематика реального времени

### 1.2.1 Дифференциальная GPS

Дифференциальная GPS (англ. *Differential Global Positioning System*, *DGPS*) – система, предназначенная для повышения точности сигналов GPS. Принцип работы данной системы заключается в измерении и учёте разницы между рассчитанной и закодированной псевдодальностями до спутников [2].

Важнейшей особенностью DGPS является использование двух приёмников при проведении измерений:

- **База** (англ. *base*) – стационарный приёмник, который находится в точке с заранее рассчитанной координатой. База транслирует данные о разнице

между информацией о позиции, полученной со спутника, и закодированными данными о своём местонахождении.

– **Ровер** (англ. *rover*) – приёмник, с помощью которого производятся какие-либо измерения. Используя данные, полученные с базы, ровер учитывает влияние внешних факторов на расчёт координаты, тем самым получая более точную информацию о своём местонахождении.

Таким образом, работа дифференциальной GPS основана на следующем принципе: считая искажения спутниковых сигналов одинаковыми для близлежащих приёмников, мы получаем возможность вносить поправки в получаемое решение, улучшая результаты измерений.

### 1.2.2 Кинематика реального времени

Кинематика реального времени (англ. *Real Time Kinematic, RTK*) – режим работы, при котором приём и применение поправок с базы происходят в реальном времени, что позволяет получать результат практически сразу. Важнейшей особенностью данного режима является тот факт, что для обеспечения работы необходима постоянная связь между ровером и базой.

RTK представляется крайне удобным инструментом для задач, решение которых подразумевает использование высокоточного позиционирования. Однако, алгоритмы дифференциальной GPS, обеспечивающие работу RTK, весьма сложны, и производители приёмников предлагают решение в виде закрытого, проприетарного программного обеспечения, встроенного в их продукты. Стоимость приёмников, поддерживающих дифференциальный режим работы, достаточно высока и может превышать 10000 долларов США.

Высокая стоимость оборудования является причиной того, что использование технологии дифференциальной GPS распространено только в таких специфических областях деятельности, как геодезия, земельный кадастр и т.п. Однако, для тех людей, которым по каким-либо причинам недоступны дорогостоящие устройства, решением может стать RTKLIB – программный ком-

плекс, реализующий вышеупомянутые алгоритмы для стандартных, общедоступных GPS-приёмников.

### **1.3 Программный пакет RTKLIB**

RTKLIB – программный пакет с открытым исходным кодом, предназначенный для осуществления стандартного и высокоточного позиционирования с помощью ГНСС (глобальных навигационных спутниковых систем). В состав пакета входит библиотека функций и ряд приложений, использующих данную библиотеку.

Создателем RTKLIB является Томодзи Такасу, профессор Токийского Университета Морских Наук и Технологий. Существенный вклад в кодовую базу проекта был внесён Мишелем Баваро [1; 3], итальянским инженером с огромным опытом работы в сфере спутниковой навигации.

Начиная с релиза первой версии RTKLIB, состоявшегося в 2007 году, проект активно развивается и на данный момент представляет собой систему из восьми приложений, некоторые из которых имеют как графический, так и консольный интерфейс.

Функции компонентов RTKLIB подробно описаны в прилагающейся к проекту официальной документации. Ниже будут рассмотрены наиболее важные для данной работы возможности программного комплекса.

#### **1.3.1 Поддерживаемые спутниковые системы**

RTKLIB поддерживает работу с шестью основными системами спутниковой навигации:

- GPS;
- GLONASS;
- Galileo;
- QZSS;
- BeiDou;

– SBAS.

Основной системой, позволяющей осуществлять высокоточное позиционирование является GPS. Остальные системы, как правило, служат источником дополнительных данных, которые помогают опровергнуть или подтвердить получаемое решение.

### 1.3.2 Режимы работы

Программный комплекс RTKLIB поддерживает несколько режимов работы, каждый из которых предназначен для решения различных навигационных задач. При выборе того или иного режима процесс работы с приёмником может измениться коренным образом. Рассмотрим особенности и назначение основных режимов работы комплекса:

– **Single**, или **Single point positioning** (рис. 1.3). Базовый режим работы, при использовании которого можно получить координаты со стандартной точность. В режиме Single местоположение определяется с помощью данных одного приёмника – база в данном режиме не используется.



Рисунок 1.3 – Режим Single. Корабли, исполняющие роли роверов, не используют поправки с базы, которая установлена на берегу

При использовании режима Single RTKLIB производит расчёт координаты, используя данные о спутниках навигационной системы. Однако, сами при-

ёмники, как правило, берут на себя задачу расчёта местоположения, т.к. они изначально оптимизированы для получения single-решения.

RTKLIB в режиме Single используется только на приёмниках, которые поддерживают функцию выдачи необработанных (или «сырых») данных: фазовых измерений, псевдодалностей и т.д. При работе в данном режиме RTKLIB создаёт файлы логов «сырых» данных, которые далее можно будет использовать для постобработки (англ. *post-processing*).

– **Static** и **Kinematic** (рис. 1.4). При данных настройках RTKLIB позволяет перейти от постобработки накопленных логов к измерениям в режиме реально времени (RTK). В режимах Static и Kinematic данные ровера используются вместе данными базовой станции, что позволит определять позицию ровера гораздо точнее.

Отличием между режимами Static и Kinematic является подвижность ровера. Если при работе в режиме Static ровер считается неподвижным, то в режиме Kinematic ровер находится в движении.



Рисунок 1.4 – Режимы Static и Kinematic. Корабли, исполняющие роли роверов, используют поправки с базы, которая установлена на берегу

Как и в случае Single, в рассматриваемых режимах RTKLIB позволяет записывать логи необработанных данных ровера, однако важно отметить, что па-

параллельно с этим можно также вести лог поправок, получаемых с базы. Сбор всех этих данных может быть крайне полезен для определения и решения проблем связи между двумя приёмниками.

– **Moving-Baseline** (рис. 1.5). Данный режим очень похож на Kinematic, но имеет одно ключевое отличие – движущуюся базу. Moving-Baseline не предназначен для улучшения точности абсолютного позиционирования, однако относительно друг друга база и ровер будут получать крайне точные координаты – работая в этом режиме, можно получить аналог GPS компаса.



Рисунок 1.5 – Режим Moving-Baseline. Один из кораблей выполняет роль базы и передаёт поправки на корабль-ровер; оба корабля находятся в движении

– **Precise point positioning**, или **PPP**. Режимы работы (PPP-Static, PPP-Kinematic и PPP-Fixed), которые используются для подготовки к работе в режиме RTK.

Среди перечисленных выше PPP режимов интерес для данной работы представляет PPP-Static, который используется для определения позиции будущей базы. Суть работы RTKLIB при таких настройках заключается в накоплении и усреднении информации о текущей позиции приёмника. Проработав таким образом в одной точке несколько часов, приёмник может с хорошей

степенью точности определить координаты своего местоположения и выдать данные для настройки базы.

### 1.3.3 Поддерживаемые форматы данных

RTKLIB поддерживает множество форматов хранения данных, используемых при работе с ГНСС. Набор поддерживаемых форматов включает в себя как независимые от специфических устройств форматы (стандартные форматы), так и форматы, используемые для выдачи координат лишь GPS-приёмниками определённых производителей (проприетарные форматы).

Стандартные форматы сообщений:

- RINEX (сокр. англ. *Receiver Independent Exchange Format*);
- RTCM (сокр. англ. *Radio Technical Commission for Maritime Services*);
- NMEA (сокр. англ. *National Marine Electronics Association*).

Примеры поддерживаемых проприетарных форматов сообщений:

- UBX (приёмники u-blox);
- NovAtel;
- Hemisphere;
- JAVAD;
- Furuno;
- NVS.

### 1.3.4 Программы, входящие в состав RTKLIB

Для понимания внутреннего устройства и получения представления о функциональности различных компонентов RTKLIB, следует рассмотреть программы, входящие в состав данного программного пакета. Как уже было сказано ранее, последние версии RTKLIB – 2.4.2 и 2.4.3 beta – включают в себя восемь приложений, отвечающих за различные функции комплекса (таблица 1.1).

В рамках данной работы рассматриваются три приложения RTKLIB,

Таблица 1.1 – Программы, входящие в состав RTKLIB

№	Назначение	GUI *	CUI **
1	Запуск приложений RTKLIB	RTKLAUNCH	-
2	Позиционирование в режиме реального времени	RTKNAVI	RTKRCV
3	Мультиплексор потоков данных	STRSVR	STR2STR
4	Постобработка данных	RTKPOST	RNX2RTKP
5	Конвертер данных	RTKCONV	CONVBIN
6	Графическое отображение полученных данных	RTKPLOT	-
7	Скачивание данных ГНСС	RTKGET	-
8	NTRIP браузер	SRCTBLBROWS	-

\* Графическое приложение

\*\* Консольное приложение

отвечающие за ключевые функции, необходимые при решении задач навигации и позиционирования: RTKNAVI, STRSVR и RTKCONV.

– **RTKNAVI** – программа, обеспечивающая работу приёмника в режиме RTK. RTKNAVI выполняет все задачи, возлагаемые на ровер:

- 1) приём необработанных данных с GPS-приёмника;
- 2) приём поправок с базы;
- 3) ведение логов полученных данных;
- 4) обработка данных с помощью RTK алгоритмов;
- 5) выдача полученного решения в указанном формате.

Также, с помощью RTKNAVI пользователь получает наглядную информацию о качестве текущего решения и о сигналах, получаемых ровером и базой со спутников.

RTKNAVI имеет консольный аналог – приложение под названием **RTKRCV**. Текстовое версия поддерживает все функции графического приложения, включая вывод информации о решении, спутниках и текущих координатах.



Важным отличием двух вариантов приложения является способ установки настроек – если RTKRCV имеет отдельное окно с графическими элементами управления, то RTKRCV настраивается только с помощью конфигурационных файлов, работа с которыми требует от пользователя определённых навыков.

– **STRSVR** является мультиплексором потоков данных, который позволяет создать до трёх каналов передачи связи, в которые будет направлен вывод подключённого к компьютеру GPS-приёмника.

STRSVR предоставляет широкий набор возможностей по перенаправлению данных:

- 1) передача через COM-порты;
- 2) передача через TCP сокет;
- 3) передача через NTRIP-серверы;
- 4) запись в файл.

Также STRSVR обеспечивает (для каждого из выходных потоков) конвертацию входящих данных в указанный пользователем формат. Только STRSVR может осуществлять выдачу информации в легковесном формате RTCM3, что необходимо для обеспечения работы в режиме базы.

Консольная версия данного приложения носит название **STR2STR**.

– **RTKCONV**, или его консольный аналог **CONVBIN** – конвертер данных, получаемых со спутников. Одно из самых важных применений данной программы – конвертация файлов логов из форматов, привязанных к конкретным приёмникам, в независимый формат RINEX.

Использование RTKCONV может быть обусловлено необходимостью проведения дальнейшего анализа и постобработки данных с использованием специального программного обеспечения.

## 1.4 Основные проблемы использования RTKLIB

RTKLIB предоставляет широчайший спектр возможностей, а исходный код данного проекта является открытым. Однако, данный комплекс распространён достаточно слабо и не является широко известным. Данный факт связан отнюдь не с низким качеством результатов работы RTKLIB, а, в первую очередь, с удобством использования данного программного продукта.

Графические версии приложений RTKLIB возможно запустить только в среде операционной системы семейства Windows. Однако, достаточно проблематично обеспечить запуск графических Windows-приложений, к примеру, на беспилотном летательном аппарате или на ГНСС-приёмнике. Но полностью раскрыть потенциал РТК можно именно при интеграции программного обеспечения в технику. Данный факт делает консольные версии программ RTKLIB более привлекательным вариантом.

Входящие в состав пакета текстовые приложения не требуют больших вычислительных ресурсов и могут быть запущены на огромном количестве платформ под управлением GNU/Linux. Но важно понимать, что для работы с консольными приложениями необходимо постоянно поддерживать работу одного или нескольких терминалов, а также иметь компьютер с клавиатурой и доступом к данным приёмника.

Вне зависимости от того, используются ли графические или консольные версии приложений, невозможно использовать обширные возможности RTKLIB без знания особенностей процесса конфигурирования данного комплекса. Огромное количество настроек вкупе с различными режимами работы могут вызвать трудности при освоении RTKLIB новыми пользователями, а разнообразные конфигурационные файлы и неочевидные с первого взгляда решения в дизайне графических настроек способны запутать даже опытных пользователей.

Таким образом, можно выделить следующий ряд трудностей, которые

могут возникнуть при использовании RTKLIB:

- работа с комплексом возможна только при наличии компьютера с клавиатурой;
- графические приложения, входящие в состав пакета, можно запустить только при использовании операционной системы семейства Windows;
- конфигурационные файлы консольных версий программ имеют достаточно сложный синтаксис;
- большое количество доступных настроек может затруднить освоение комплекса новыми пользователями.

В качестве решения проблем, перечисленных выше, данная работа предлагает создать веб-приложение, с помощью которого можно было бы осуществлять контроль над работой RTKLIB, используя практически любое устройство с веб-браузером. Работа подобного приложения будет обеспечиваться с помощью дополнительного программного обеспечения, добавленного на вычислительный модуль, на котором запущен RTKLIB. Осуществляя с помощью такого программного обеспечения обмен командами и информацией между веб-интерфейсом и RTKRCV, можно осуществлять работу с RTKLIB, используя смартфон или планшет.

### **1.5 Обзор существующих веб-приложений, предназначенных для работы с устройствами без органов управления**

В настоящее время существует достаточно большое количество электроники, единственным способом управления которой является специальный веб-интерфейс. Современные маршрутизаторы и различные одноплатные компьютеры – отличный пример подобных устройств.

В рамках проведённого обзора были рассмотрены популярные операционные системы, позволяющие осуществлять управление устройством, на которое они установлены, через веб-браузер:

- **OpenWrt** – дистрибутив GNU/Linux, предназначенный для установки на маршрутизаторы.
- **Windows 10 IoT Core** – версия операционной системы Windows, созданная специально для встраиваемых решений.

### 1.5.1 OpenWrt

Работа с маршрутизаторами, находящимися под управлением OpenWrt, производится через специальный веб-интерфейс под названием **LuCI**. Данный интерфейс представляет собой одностраничное веб-приложение, доступное через браузер любого устройства, подключённого к сети маршрутизатора. LuCI позволяет пользователю:

- произвести настройку маршрутизатора;
- просмотреть информацию о маршрутизаторе и установленном программном обеспечении;
- просмотреть информацию о подключённых устройствах и трафике.

В интерфейсе LuCI доступ к различным страницам и настройкам осуществляется через меню в верхней части веб-страницы (рис. 1.6). Все пункты верхнего меню, за исключением кнопки выхода из системы, представляют собой выпадающие меню, позволяющие перейти на одну из страниц соответствующей категории.



Рисунок 1.6 – Главное меню LuCI

Благодаря разнообразным веб-элементам и возможностям JavaScript в LuCI

пользователь получает возможность удобно редактировать различные настройки маршрутизатора с помощью интерактивных форм (рис. 1.7), что позволяет производить конфигурацию устройства, используя практически любой компьютер или смартфон.

**System**  
Here you can configure the basic aspects of your device like its hostname or the timezone.

**System Properties**

General Settings   **Logging**   Language and Style

System log buffer size: 16   
kiB

External system log server: 0.0.0.0

External system log server port: 514

Log output level: Debug

Cron Log Level: Normal

Рисунок 1.7 – LuCI: Форма настройки системных логов

Также, OpenWrt демонстрирует прекрасный пример применения современных веб-технологий для визуализации данных. Через интерфейс LuCI пользователь может наблюдать за текущей загрузкой сети с помощью специального графика (рис. 1.8).

### 1.5.2 Windows 10 IoT Core

Windows 10 IoT Core позволяет использовать операционную систему Windows на таких устройствах, как Raspberry PI или MinnowBoard. Так как подобные встраиваемые решения зачастую не имеют экрана и клавиатуры, взаимодействие пользователя с системой осуществляется с помощью веб-страницы (рис. 1.9).

Различные функции, предоставляемые системой, доступны пользова-



Рисунок 1.8 – LuCI: График загрузки сети



Рисунок 1.9 – Главная страница Windows 10 IoT Core

телю через специальное боковое меню (рис. 1.10). При переключении между пунктами меню веб-приложение отображает страницы с различными пане-

лями управления.

Богатые возможности веб-технологий позволяют отобразить в браузере привычные для операционной системы Windows утилиты: менеджер установленных приложений, диспетчер задач, панель настройки беспроводных подключений, менеджер подключённых устройств (рис. 1.10) и т.д.



Рисунок 1.10 – Windows 10 IoT Core: Менеджер подключённых устройств

## 1.6 Выводы по разделу 1

На основании обзора существующих веб-приложений, предназначенных для работы с устройствами без органов управления, можно сделать следующие выводы:

- Одностраничные приложения являются наиболее удачным решением при создании веб-версии панели управления каким-либо устройством. Отсутствие долгой загрузки при переключении между вкладками или пунктами меню и получение необходимых данных с помощью асинхронных запросов благоприятно влияют на опыт пользователя (англ. *User experience, UX*).
- Выпадающие списки, текстовые поля с валидацией введённых зна-

чений, флажки, переключатели и другие веб-элементы позволяют представить сложные конфигурационные файлы в виде интуитивно понятных форм настроек.

– С помощью векторных изображений и JavaScript можно создавать наглядные графики и диаграммы для визуализации различной информации, обновляемой в режиме реального времени.

Проведённый обзор показал распространённость использования веб-приложений для управления встраиваемыми решения, что ещё раз подчёркивает актуальность предлагаемой работы. При учёте сделанных наблюдений и выводов становится возможно создание браузерного приложения, которое существенно облегчит использование GPS-приёмника, работа которого основана на использовании RTKLIB.



## 2 ОБЗОР ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ

### 2.1 Платформа для разработки

Разработка приложения будет осуществляться на платформе продуктов компании Emlid [4]: ГНСС модуля Reach [5] и ГНСС приёмника Reach RS [6]. Основой данных устройств являются вычислительный модуль Intel Edison и плата, на которую установлен ГНСС модулю компании u-blox. Intel Edison работает под управлением GNU/Linux, что позволяет использовать многочисленные средства разработки, доступные для дистрибутивов данной операционной системы.

При разработке приложения на платформе указанных выше устройств важно учитывать следующий факт: несмотря на то, что Reach и Reach RS созданы на базе одного и того же вычислительного модуля и используют одинаковые приёмники u-blox, имеется ряд существенных различий в аппаратном обеспечении данных устройств [5; 6]. Различия Reach и Reach RS, которые необходимо учесть при создании веб-приложения, указаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Различия Reach и Reach RS

<b>Техническая/функциональная особенность</b>	<b>Reach</b>	<b>Reach RS</b>
Встроенная батарея	нет	да
Встроенная антенна	нет	да
Встроенное радио	нет	да
Возможность управления фотокамерой	да	нет

Наличие (отсутствие) тех или иных возможностей у Reach или Reach RS отразится на клиентской части разрабатываемого решения в виде специфических форм и элементов интерфейса, отображение которых будет зависеть от того, на каком из устройств запущено приложение.

## 2.2 Общая архитектура приложения

### 2.2.1 Задачи и требования

Для создания общей архитектуры приложения необходимо определить наиболее важные идеи, задачи и требования, предъявляемые к разрабатываемому продукту.

Важно отметить, что в следующем далее списке присутствуют пункты, которые касаются лишь разработчиков программных компонентов, отвечающих за взаимодействие с RTKLIB, системными утилитами и различными аппаратными компонентами Reach и Reach RS. Данные модули и детали их разработки выходят за рамки рассматриваемой работы, но являются чрезвычайно важными для понимания общей структуры приложения.

Разрабатываемое приложение должно:

- **Осуществлять запуск приложений RTKLIB в управляемых контейнерах.** Надёжным и простым способом организации взаимодействия с приложениями RTKLIB является их запуск в управляемых контейнерах. При данном подходе необходимые утилиты будут работать так же, как если бы пользователь запускал их в терминале.

Используя подобный подход, становится возможно организовать взаимодействие веб-приложения с необходимыми программами таким образом, что:

- 1) не требуется вмешательство в исходный код RTKLIB;
- 2) облегчается поддержка совместимости с новыми версиями программного комплекса;
- 3) разрабатываемый продукт остаётся независим от изменений в кодовой базе RTKLIB.

- **Иметь клиентскую часть, представленную в виде одностраничного приложения.** Основываясь на выводах, сделанных в разделе 1, было принято решение реализовать клиентскую часть разрабатываемого решения в виде одностраничного приложения.

Как показал проведённый обзор, данный подход в настоящее время является одним из самых популярных решений для создания веб-интерфейсов, предназначенных для управления такими устройствами, как Reach или Reach RS.

– **Поддерживать передачу данных по протоколу WebSocket.** Для создания отзывчивого интерфейса веб-приложения и обеспечения лучшего пользовательского опыта большую часть взаимодействий клиентской части с сервером следует организовать с помощью асинхронных запросов и сообщений.

Наиболее удачным решение для разрабатываемого приложения является протокол WebSocket. Создавая на клиентской части веб-приложения слушателей определённых событий, становится возможно организовать отображение различной информации в режиме реального времени без постоянных опросов сервера.

### **2.2.2 Основные модули**

Перечислим основные модули приложения (рис. 2.1):

а) Серверная часть

- 1) WebSocket сервер
- 2) Модуль взаимодействия с RTKLIV
- 3) Демоны и сервисы для взаимодействия с аппаратными компонентами устройства

б) Клиентская часть

- 1) WebSocket клиент
- 2) JavaScript-приложение

## **2.3 Выбор инструментов разработки**

### **2.3.1 Серверная часть приложения**

В рамках разработки описанного приложения выбор инструментов для написания серверной части приложения зависит не только от возможностей



Рисунок 2.1 – Общая архитектура приложения

веб-фреймворков, доступных для того или иного языка программирования, но и от задач, описанных в подразделе 2.2. Также, важно помнить, что разрабатываемое приложение предназначено для запуска на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Разработчиками серверной части приложения был проведён обзор высокоуровневых языков программирования, часто используемых для разработки веб-приложений. Основными из рассмотренных вариантов были такие популярные языки, как Java, Python, Ruby.

На основании различных оценок, детали формирования которых выходят за рамки рассматриваемой работы, основным языком для серверной части приложения был выбран Python.

- Веб-фреймворк Flask
- reхрест
- GeoPandas

## 2.3.2 Клиентская часть приложения

### 2.3.2.1 Основные средства

Основу клиентской части приложения составят: язык гипертекстовой разметки HTML, CSS-стили и скрипты на языке JavaScript.

Для наиболее быстрой и удобной разработки одностраничного приложения было решено использовать специализированную библиотеку или фреймворк. На момент проектирования приложения одними из самых популярных [?] инструментов для создания одностраничных приложений являлись React [?], Angular 2 [?], Vue.js [?] и Knockout [?].

Для анализа и сравнения вышеперечисленных библиотек и фреймворков были изучены:

- официальные документации;
- исходные коды простейших приложений и их компонентов;
- результаты синтетических тестов [?].

По результатам изучения возможных решений для разработки приложения был выбран фреймворк Vue.js. Данный выбор обусловлен не только плюсами фреймворка, выделенными во время анализа, но также наличием у автора данной работы опыта разработки с использованием фреймворка AngularJS, который является одним из источников вдохновения для создателей Vue.js [?].

Также, вместе с Vue.js было решено использовать библиотеку-расширение для данного фреймворка – Vuex [?]. Данная библиотека позволит создать централизованное хранилище данных, доступ к которому будут иметь все компоненты приложения. Одной из важнейших особенностей работы с таким хранилищем является способность компонентов Vue.js реактивно обновлять своё состояние при изменении тех или иных данных в Vuex.

### **2.3.2.2 Работа с картами**

В качестве решения для задачи отображения карт и всевозможной информации на картах был выбран проект OpenLayers [?]. Данная библиотека предоставляет широкие возможности для работы с картами:

- выбор источника графических тайлов карты;
- управление отображением элементов управления картой;
- модификация способов взаимодействия пользователя с картой;
- координатная сетка и шкала масштаба, доступные по умолчанию;
- возможность отрисовки произвольных фигур и изображений на различных слоях карты.

### **2.3.2.3 WebSockets**

Для работы с WebSocket была выбрана библиотека Socket.IO [?]. Данный выбор обусловлен не только популярностью библиотеки, но и наличием полной поддержки Socket.IO на серверной части приложения – для веб-фреймворка Flask существует расширение Flask-SocketIO, позволяющее серверу обмениваться сообщениями с любыми клиентами Socket.IO.

## **2.4 Детализированная архитектура приложения**

С учётом инструментов, выбранных в предыдущем подразделе, уточним архитектуру приложения, представленную ранее (рис. 2.1). На рисунке 2.2 изображена детализированная архитектура разрабатываемого приложения.

### **2.4.1 Подробная архитектура клиентской части приложения**

Клиентская часть разрабатываемого приложения представляет из себя совокупность отдельных программных модулей и глобального хранилища, изменения данных в котором вызывают реактивное обновление модулей, имеющих соответствующие слушатели событий.



Рисунок 2.2 – Детализированная архитектура приложения

Модули приложения можно условно разделить на две группы:

- модули, являющиеся *моделями представления* для соответствующих экранов приложения;
- модули общего назначения, предназначенные для обработки событий, приходящих от сервера, или содержащие различные утилиты.

На рисунке 2.3 изображены все основные компоненты приложения и их связи с глобальным хранилищем. К модулям общего назначения относятся только модуль обработки событий и модуль работы с картами, остальные компоненты написаны с помощью Vue.js и связаны с представлениями приложения.

## 2.5 Описание модулей приложения и основные требования, предъявляемые к ним

### 2.5.1 Статус

Данный модуль служит для обработки, форматирования и отображения основной информации, связанной с работой приёмника:



Рисунок 2.3 – Архитектура клиентской части приложения

– значения отношений сигнал/шум (англ. *Signal-to-noise ratio*, *SNR*) для принимаемых со спутников сигналов (для ровера и базы);

- режим работы RTKLIB;
- качество получаемого решения;
- текущие координаты ровера;
- скорость движения ровера;
- параметры RTK;
- координаты базы.

Также, модуль должен осуществлять сбор и хранение истории изменения координат ровера для отображения данной информации на интерактивной карте.

### 2.5.2 Изыскания

Модуль, реализующий инструменты для проведения полевых работ и предоставляющий пользователю следующие возможности:

- создание и удаление проектов;
- экспорт проектов в различных форматах;
- сбор и вынос точек;



- просмотр данных проекта на интерактивной карте.

#### **2.5.2.1 Создание проекта**

При создании нового проекта пользователь должен:

- указать название проекта;
- указать имя автора проекта;
- добавить описание проекта (опционально);
- ввести высоту антенны по умолчанию;
- создать до трёх правил для автоматического сбора точек.

Правила для автоматического сбора точек представляют собой условия, при которых устройство автоматически будет принимать результаты осреднения координат. Параметры правил:

- статус решения (Single, Float или Fix);
- минимальное время сбора (от одной секунды до одного часа);
- максимальное допустимое значение СКО;
- максимальное допустимое значение DOP.

#### **2.5.2.2 Экспорт проекта**

Экспорт проектов должен быть доступен в следующих форматах:

- GeoJSON;
- ESRI Shapefile;
- DXF;
- CSV;
- DroneDeploy CSV.

#### **2.5.3 Настройки RTK**

Модуль приложения, необходимый для настройки параметров RTK и используемых ГНСС.

Настраиваемые параметры RTK:

- режим позиционирования (Single, Static или Kinematic);

- метод разрешения фазовой неоднозначности;
- угол отсечки спутников (от 0 до 30 градусов);
- маска для отношения сигнал/шум (от 0 до 40);
- максимальные возможные горизонтальные и вертикальные ускорения ГНСС-антенны (от 0 до 10 м/с<sup>2</sup>).

Настройки используемых ГНСС:

- выбор ГНСС из списка, представленного в пункте 1.3.1;
- выбор частоты обновления навигационных данных (1, 5, 10 или 14 Гц).

При настройке необходимо соблюдать следующие ограничения:

- а) получение данных GPS невозможно отключить;
- б) невозможно одновременно включить системы ГЛОНАСС и BeiDou;
- в) невозможно настроить получение данных от ГЛОНАСС и BeiDou при частоте обновления выше 5 Гц.

Ограничения, указанные в пунктах б) и в) списка выше, обусловлены аппаратными ограничениями приёмника u-blox, установленного в устройствах Reach и Reach RS.

#### **2.5.4 Входящие поправки**

Данный модуль необходим для настройки получения ровером поправок с базы. В список задач, решаемых данным компонентом, входит выбор способа получения поправок и настройка значений, специфичных для каждого из них.

Способы получения поправок и элементы их конфигурации:

- последовательный порт
  - 1) устройство (UART, USB-to-PC, USB-OTG);
  - 2) скорость передачи (бод);
  - 3) формат данных.
- NTRIP
  - 1) адрес;

- 2) порт;
- 3) имя пользователя (опционально);
- 4) пароль (опционально);
- 5) точка подключения;
- 6) формат данных.
- TCP соединение
  - 1) роль (сервер, клиент);
  - 2) адрес;
  - 3) порт;
  - 4) формат данных.
- Bluetooth
  - 1) формат данных.
- LoRa
  - 1) частота;
  - 2) выходная мощность;
  - 3) пропускная способность;
  - 4) формат данных.

### **2.5.5 Выдача позиции**

Модуль, позволяющий настроить до двух потоков данных, содержащих информацию о текущей позиции устройства. Как и в случае с настройкой входящих поправок, рассматриваемый модуль предоставляет инструменты для выбора способа передачи данных и их конфигурации.

Способы передачи данных и элементы их конфигурации:

- последовательный порт
  - 1) устройство (UART, USB-to-PC, USB-OTG);
  - 2) скорость передачи (бод);
  - 3) формат данных.
- TCP соединение

- 1) роль (сервер, клиент);
  - 2) адрес;
  - 3) порт;
  - 4) формат данных.
- Bluetooth
    - 1) формат данных.

### **2.5.6 Режим базы**

Модуль, предназначенный для настройки параметров, специфичных для устройства, работающего в режиме базы. Содержит в себе инструменты для:

- настройки потока данных с поправками (способы и их настройки);
- выбора типов передаваемых RTCM3-сообщений и частоты их передачи;
- установки точных координат будущей базы (автоматически и вручную).

#### **2.5.6.1 Передача данных**

Способы передачи данных и элементы их конфигурации:

- последовательный порт
  - 1) устройство (UART, USB-to-PC, USB-OTG);
  - 2) скорость передачи (бод).
- NTRIP
  - 1) адрес;
  - 2) порт;
  - 3) имя пользователя и пароль (опционально);
  - 4) точка подключения.
- TCP соединение
  - 1) роль (сервер, клиент);
  - 2) адрес;
  - 3) порт.

- Bluetooth (не имеет настроек)
- LoRa
  - 1) частота;
  - 2) выходная мощность;
  - 3) пропускная способность.

#### 2.5.6.2 Передаваемые сообщения

Доступные для передачи типы RTCM3-сообщений:

- 1002 – L1-только GPS RTK измерения (англ. *L1-Only GPS RTK Observables*);
- 1006 – Местоположение точки относительно антенны референтной станции RTK с высотой антенны (англ. *Stationary RTK Reference Station ARP with Antenna Height*);
- 1008 – Описание антенны и серийный номер (англ. *Antenna Descriptor and Serial Number*);
- 1019 – Эфемериды GPS (англ. *GPS Satellite Ephemeris* );
- 1020 – Эфемериды ГЛОНАСС (англ. *GLONASS Satellite Ephemeris*);
- 1010 – Расширенные L1-только ГЛОНАСС RTK измерения (англ. *Extended L1-Only GLONASS RTK Observables*);
- 1097 – Сообщения множественных сигналов Galileo (англ. *Galileo MSM7*);
- 1107 – Сообщения множественных сигналов SBAS (англ. *SBAS MSM7*);
- 1117 – Сообщения множественных сигналов QZSS (англ. *QZSS MSM7*);
- 1127 – Сообщения множественных сигналов BeiDou (англ. *BeiDou MSM7*).

Каждый из перечисленных типов сообщений может передаваться с частотой 0.1, 0.5, 1, 2, 5 или 10 Гц.

При использовании LoRa, максимальный объём передаваемых RTCM3-сообщений должен быть ограничен в зависимости от выбранной пропускной способности.

### 2.5.6.3 Координаты базы

Установку координат будущей базы возможно осуществить двумя способами:

- ручной ввод (WGS84 или ECEF координаты);
- автоматическое усреднение (при статусе решения Single, Float, Fix).

Время автоматического усреднения позиции может составлять от 6 секунд до 30 минут.

### 2.5.7 Логирование

Данный модуль необходим для управления записью и историей логов данных. Модуль решает следующие задачи:

- включение (выключение) записи и выбор формата логов определённого типа;
- получение списка доступных логов;
- предоставление пользователю инструментов для удаления и скачивания файлов логов.

Типы логов и доступные для них форматы:

- Лог необработанных данных (англ. *raw data*). Доступные форматы:
  - 1) UBX;
  - 2) RINEX (версии 2.10-2.12 и 3.00-3.03).
- Лог позиций устройства. Доступные форматы:
  - 1) LLH;
  - 2) XYZ;
  - 3) ENU;
  - 4) NMEA;
  - 5) ERB.
- Лог поправок, полученных с базы. Доступные форматы:
  - 1) RTCM3;
  - 2) RINEX (версии 2.10-2.12 и 3.00-3.03).

### 2.5.8 Управление камерой

Модуль, позволяющая произвести настройку управления камерой для осуществления аэрофотосъёмки. Данная возможность доступна только для устройств Reach.

Основными задачи модулю являются:

- включение (отключение) подачи сигнала камере;
- управление параметрами широтно-импульсно модулированного управляющего сигнала;
- выдача временной отметки последнего срабатывания камеры.

Параметры управляющего сигнала:

- период импульсов (от 1 до 30 секунд);
- длительность импульса (от 5 до 100 миллисекунд);
- полярность сигнала.

### 2.5.9 Wi-Fi

Модуль управления сетевыми подключениями, который решает следующие задачи:

- перевод устройства в режим беспроводной точки доступа;
- управление списком сохранённых (известных устройству) Wi-Fi сетей;
- предоставление пользователю интерфейса для подключения устройства к Wi-Fi сетям;
- вывод информации о текущем подключении.

### 2.5.10 Bluetooth

Данный модуль необходим для управления подключениями к различным устройствам с помощью Bluetooth. Задачи, решаемые модулем:

- включение (отключение) Bluetooth;

- включение (отключение) возможности обнаружения другими устройствами;
- установка PIN-кода (от 1 до 6 цифр);
- сопряжение (англ. *pairing*) с другими устройствами;
- управление списком сопряжённых устройств.

### **2.5.11 Настройки**

Модуль, содержащий инструменты для общей настройки устройства и различные утилитарные возможности.

Общие настройки:

- выбор канал получения обновлений (канал со стабильными версиями или канал с ранним доступом к новым возможностям);
- изменение имени устройства;
- настройка поведения при заполнении памяти.

Утилиты:

- генерирование отчётов о состоянии устройства (в виде текста или архива);
- полный сброс настроек;
- включение (выключение) «ночного» режима работы (при включении данного режима устройство отключает светодиоды).

### **2.5.12 Батарея**

Модуль, предназначенный для вывода информации о текущем состоянии встроенного аккумулятора на устройствах Reach RS.

Отображаемая информация:

- напряжение (вольт);
- сила тока (ампер);
- уровень заряда батареи (проценты);
- температура датчика STC (градусы Цельсия);



- ограничение силы тока USB (миллиампер);
- ограничение силы тока разъёма питания (миллиампер);
- USB OTG кабель (подключён/отключён);
- текстовый статус зарядки батареи;
- температура датчика LTC (градусы Цельсия).

### **2.5.13 Модуль обработки событий**

Модуль служит для регистрации слушателей событий WebSocket, содержащих данные которые:

- необходимы сразу для нескольких (или всех) модулей приложения;
- влияют на глобальное состояние приложения.

Данные, получаемые модулем с помощью событий WebSocket:

- координаты ровера и базы;
- скорость перемещения ровера;
- параметры RTK-системы;
- качество получаемого решения;
- данные о видимых спутниках (отдельно для ровера и базы);
- информация о входящих и исходящих потоках данных;
- IP адрес устройства;
- информация о потере (восстановлении) соединения с устройством;
- информация об обновлении разрешённого диапазона частот.

### **2.5.14 Модуль работы с картами**

Данный модуль представляет собой обёртку над компонентами библиотеки OpenLayers. Наличие подобного компонента в приложении обусловлено необходимостью быстро и удобно создавать интерактивные карты для различных экранов приложения.

Модуль должен предоставлять конструктор для создания нового экземпляра карты OpenLayers. Единственным необходимым параметром конструктора

тора должен быть уникальный идентификатор DOM-элемента, в котором будет отображена карта. В качестве дополнительного параметра конструктор должен принимать объект конфигурации, который позволит:

- включить (отключить) отображение координатной сетки;
- настроить отображение элементов управления картой, добавленных по умолчанию;
- включить (отключить) различные типы взаимодействий с картой.

### **2.5.15 Общие замечания и ограничения, накладываемые модули, предназначенные для конфигурации устройства**

- ограничения на порты TCP-серверов;
- Bluetooth IO conflict;
- LoRa is only for RS;
- LoRa IO conflict;
- LoRa local constraints;
- Serial IO warnings.

## **2.6 Создание макета веб-приложения**

На основе наблюдений, сделанных в подразделе 1.5, было принято решение разнести многочисленные функции приложения по отдельным вкладкам. Подобное разделение панелей индикаторов (англ. *dashboard*), всевозможных форм настроек и прочих элементов управления призвано сделать интерфейс приложения интуитивным, а процесс работы пользователя с устройством – комфортным.

Разделение интерфейса на вкладки, по сути, является отображением модульной структуры приложения, описанной в подразделах 2.4 и 2.5. Был сформирован следующий список вкладок, содержащих элементы управления, относящиеся только к конкретной части приложения:

- Статус (англ. *Status*);

- Изыскания (англ. *Survey*);
- Настройки RTK (англ. *RTK settings*);
- Входящие поправки (англ. *Correction input*);
- Выдача позиции (англ. *Position output*);
- Режим базы (англ. *Base mode*);
- Логирование (англ. *Logging*);
- Управление камерой (англ. *Camera control*);
- Wi-Fi;
- Bluetooth;
- Настройки (англ. *Settings*).

### **3 РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ**

#### **3.1 Подготовка окружения для разработки**

#### **3.2 Структура проекта. Артефакты сборки (?)**

#### **3.3 Глобальное хранилище данных. Модули глобального хранилища данных**

#### **3.4 Модели представления. Однонаправленный поток данных**

#### **3.5 Модули общего назначения**

#### **3.6 Вспомогательные компоненты**

## **4 ТЕСТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

## **Библиографический список**

1. Takasu T. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning [Электронный ресурс] // RTKLIB support information. 2015. URL: <http://www.rtklib.com/> (дата обращения: 01.02.2017).
2. Trimble GPS Tutorial [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Trimble. 2017. URL: [http://www.trimble.com/gps\\_tutorial/](http://www.trimble.com/gps_tutorial/) (дата обращения: 01.02.2017).
3. Bavaro M. Michele's GNSS blog [Электронный ресурс] // Личный блог Мишеля Баваро. 2017. URL: <http://michelebavaro.blogspot.ru/> (дата обращения: 15.02.2017).
4. Emlid Ltd [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Emlid. 2017. URL: <https://emlid.com/> (дата обращения: 01.02.2017).
5. Emlid Ltd – Reach [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Emlid. Описание ГНСС модуля Reach. 2017. URL: <https://emlid.com/reach/> (дата обращения: 01.02.2017).
6. Emlid Ltd – Reach RS [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Emlid. Описание ГНСС приёмника Reach RS. 2017. URL: <https://emlid.com/reachrs/> (дата обращения: 01.02.2017).