

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКПБ «Оптико-электронные методы в землеустройстве
и кадастрах»

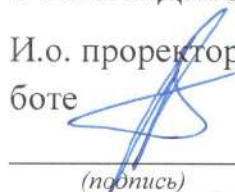
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС

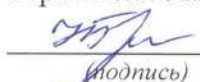

(подпись) Е.М. Димитриади
« 16 » 05 20 25 г.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной ра-
боте


(подпись) А.В. Космынин
« 16 » 05 20 25 г.

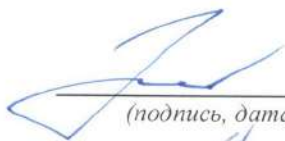
Декан факультета кадастра и
строительства


(подпись) Н.В. Гринкруг
« 16 » 05 20 25 г.

«Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных
навигационных спутниковых систем»

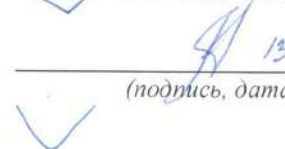
Комплекс конструкторской/ проектной документации

Руководитель СКПБ


(подпись, дата) 13.05.26

В.И. Зайков

Руководитель проекта


(подпись, дата) 13.05.26

А.О. Полтавцева

Комсомольск-на-Амуре 2025

Карточка проекта

Название	«Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем»
Тип проекта	<i>Техническое творчество (инициативный)</i>
Исполнители	Тукмамедова Лилия Саловатовна гр. 1К36-1 
Срок реализации	Начало выполнения - октябрь 2024 г. Окончание выполнения – декабрь 2024 г.

Использованное оборудование и программное обеспечение

Наименование	Количество, шт.
Программный модуль Sokkia SSF (Spectrum Survey Field)	1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ на разработку

Название проекта: «Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем».

Назначение: Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем

Область использования: Аппаратно-программное обеспечение геодезических работ

Функциональное описание проекта: Аппаратно-программное обеспечение геодезических работ все в большей мере основывается на использовании новейших технологий, и в первую очередь, технологий навигационно-космического характера. Современные методы геодезического обеспечения земельно-кадастровых работ благодаря развитию технических средств способны обеспечивать различные научные и производственные комплексы пространственно-временными данными об объектах местности, инженерных сооружениях и рельефе. Такие данные необходимы для решения оборонных, экологических, управленческих и разнообразных инженерных задач, а также для автоматизированного анализа при управлении территориями на основе трехмерного геоинформационного обеспечения.

Основные характеристики:

Современные спутниковые методы ГЛОНАСС / GPS имеют такие преимущества как:

а) передача с высокой оперативностью и точностью координат практически на любые расстояния;

б) геодезические пункты можно располагать в благоприятных для их сохранности местах, так как не нужно обеспечивать взаимную видимость между пунктами и, следовательно, строить дорогостоящие геодезические знаки;

в) простота и высокий уровень автоматизации работ;

г) понижение требований к плотности исходной геодезической основы.

Техническое описание устройства: Аппаратно-программный комплекс глобальных навигационных спутниковых систем

Требования: Обеспечить эффективное взаимодействие блоков аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем при обработке результатов измерений.

Таблица 1 - План работ:

Наименование работ	Срок
Информационное исследование и теоретическое обоснование проекта	30.10.2024
Анализ аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем	09.11.2024
Разработка методики эффективного доступа при обработке данных на программном модуле Sokkia SSF (Spectrum Survey Field).	30.11.2024
Оформление отчета по выполненному проекту	17.12.2024

Перечень графического материала:

1. Схемы интерфейса программных модулей Sokkia SSF (Spectrum Survey Field)

Руководитель проекта

 13.06.25
(подпись, дата)

А.О. Полтавцева

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ПАСПОРТ
(техническое описание) проекта
«Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных
навигационных спутниковых систем»

Руководитель проекта

 13.05.25

(подпись, дата)

А.О. Полтавцева

Комсомольск-на-Амуре 2025

Содержание

1 Общие положения.....	7
1.1 Наименование проекта	7
1.2 Наименования документов, на основании которых ведется разработка проекта.....	7
1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке изделия	7
1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно- технических документах.....	8
2 Назначение и теоретическое обоснование проекта.....	9
2.1 Назначение проекта (изделия).....	9
2.2 Область использования проекта (изделия).....	9
2.3 Теоретическое обоснование проекта (изделия).....	9
3 Анализ аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем	10
3.1 Функциональное назначение и структура глобальных навигационных систем.....	10
3.2 Характеристика и структура навигационных сигналов, используемых для получения геодезической информации	19
3.3 Обзор и классификация геодезических навигационных приемников..	23
4 .Анализ программного обеспечения глобальных навигационных спутниковых систем.....	28
4.1 1 Программный модуль Sokkia SSF (Spectrum Survey Field).....	28
5. Заключение.....	35

1 Общие положения

Настоящий паспорт (техническое описание) является документом, предназначенным для ознакомления с основными техническими параметрами, интерфейсом аппаратно-программного обеспечения, технологией установки и эксплуатации разработанного проекта.

1.1 Наименование проекта

Полное наименование проекта – «Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем».

1.2 Наименования документов, на основании которых ведется разработка проекта

Разработка проекта «Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем»

осуществляется на основании требований и положений следующих документов:

- задание на разработку.

1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке проекта

Заказчиком проекта «Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем» является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (далее заказчик), находящийся по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, Ленина пр-кт, д. 27.

Исполнителем проекта «Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем» является конструктор студенческого конструкторского/проектного бюро «Оптико-электронные методы в землеустройстве и кадастрах» (далее СКПБ), студент гр. 1К3б-1 группы 2КЗм-1, Тукмамедова Лилия Саловатовна

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
						7
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах

При проектировании использованы следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения.

ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.610-2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.

ГОСТ 2.004-88. Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
						8
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

2 Назначение и принцип действия

2.1 Назначение проекта (изделия)

Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем

2.2 Область использования проекта (изделия)

Аппаратно-программное обеспечение геодезических работ

2.3 Принцип действия проекта (изделия)

Аппаратно-программное обеспечение геодезических работ все в большей мере основывается на использовании новейших технологий, и в первую очередь, технологий навигационно-космического характера. Современные методы геодезического обеспечения земельно-кадастровых работ благодаря развитию технических средств способны обеспечивать различные научные и производственные комплексы пространственно-временными данными об объектах местности, инженерных сооружениях и рельефе. Такие данные необходимы для решения оборонных, экологических, управленческих и разнообразных инженерных задач, а также для автоматизированного анализа при управлении территориями на основе трехмерного геоинформационного обеспечения.

Основные характеристики:

Современные спутниковые методы ГЛОНАСС / GPS имеют такие преимущества как:

- а) передача с высокой оперативностью и точностью координат практически на любые расстояния;
- б) геодезические пункты можно располагать в благоприятных для их сохранности местах, так как не нужно обеспечивать взаимную видимость между пунктами и, следовательно, строить дорогостоящие геодезические знаки;
- в) простота и высокий уровень автоматизации работ;
- г) понижение требований к плотности исходной геодезической основы.

Современные GPS-устройства обычно оснащены 6-8 приемниками, что позволяет отслеживать, практически, все навигационные спутники, находящиеся в

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
						9
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

зоне радиовидимости объекта. Скорость обновления навигационных данных - 1 с. Время обнаружения зависит от числа одновременно наблюдаемых спутников и режима определения местоположения. Определение навигационных параметров может производиться в двух режимах - 2D (двумерном) и 3D (пространственном). В режиме 2D устанавливаются широта и долгота (высота считается известной). При этом достаточно присутствия в зоне радиовидимости 3 спутников. Время определения координат в режиме 2D обычно не превышает 2 мин.

Для определения пространственных координат абонента (режим 3D) требуется, чтобы в соответствующей зоне находились не менее 4 спутников. Гарантируются время обнаружения не более 3-4 мин и погрешность вычисления координат - не более 100 м.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

3 Анализ аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем

3.1 Функциональное назначение и структура глобальных навигационных систем

Спутниковые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС создавались исходя из определенных требований, соответствующих их прямому назначению. Подразумевалась их глобальность; независимость от метеорологических условий, рельефа местности, степени подвижности объекта; непрерывность работы и круглосуточная доступность; помехозащищенность; компактность аппаратуры потребителя и др.

Гражданское применения СНС, развившиеся уже после разработки концепции систем ГЛОНАСС и GPS, особенно такие, как управление гражданским воздушным движением, навигацией судов, спасательные работы, предъявляют к СНС повышенные требования в плане доступности, целостности и непрерывности обслуживания. Доступность (готовность) - степень вероятности работоспособности СНС перед ее применением и в процессе применения.

Целостность - степень вероятности выявления отказа системы в течение заданного времени или быстрее.

Непрерывность обслуживания - степень вероятности сохранения непрерывной работоспособности системы на заданном промежутке времени.

Под заданным промежутком времени, как правило, подразумевается отрезок времени, наиболее важный с практической точки зрения, например, время захода авиалайнера на посадку. В настоящее время среди гражданских применений наиболее критичным к работоспособности СНС является управление воздушным движением, включая навигационное обеспечение воздушных судов. Требования к доступности зависят от этапов полета и интенсивности воздушного движения [3].

Доступность при маршрутном полете должна быть не хуже 0,999...0,99999; при полете в зоне аэродрома и не категорированном заходе на посадку не хуже 0,99999.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

Требования к целостности достигают, согласно требованиям ИКАО, значения 0,999999995 при допустимом времени предупреждения не более 1 с. Приведенные данные показывают, насколько велики требования, предъявляемые к надежности СНС потребителями.

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) предназначена для непрерывного и высокоточного определения координат места различных подвижных объектов, их курса и скорости в любой точке Земли или околоземного пространства, в любое время суток и в любую погоду.

В настоящее время навигационные спутниковые системы нашли самое широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, но особое место в силу своих положительных свойств (глобальность, высокая точность, независимость от погодных условий, времени суток и сезона) они нашли на транспорте. Качественный облик (структура, способы функционирования и эксплуатационные характеристики) ГНСС во многом обусловлены требованиями потребителей к точности навигационного обеспечения и методам навигационных измерений.

Основной задачей, решаемой ГНСС, является определение пространственных координат местоположения подвижного объекта и времени. Эта задача реализуется путем вычисления искомых навигационных параметров непосредственно в прием индикаторе на основе без запросных (пассивных) дальномерных измерений по сигналам нескольких видимых НКА с известными координатами. Применение без запросных измерений обеспечили возможность достижения неограниченной пропускной способности ГНСС [3].

Геометрия орбитальной группировки позволяет обеспечивать одно-временную радиовидимость в любой точке земного шара и в любое время суток не менее четырех НКА. Все НКА работают в одной полосе частот и передают навигационные сигналы одинаковой структуры, позволяющие в аппаратуре потребителей измерять псевдодальность системы «объект-НКА». Кроме того, измеряется доплеровский сдвиг частоты сигнала НКА, который используется

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

для измерения скорости объекта. Псевдодальности используются для определения координат места и вычисляются путем измерения времени прохождения сигнала на трассе «НКА-объекта».

Наиболее точное определение места обеспечивается при углах между направлениями «НКА объект» близких к 90° .

Основная функция подсистемы состоит в формировании и излучении радиосигналов, которые необходимы для навигационных определений подвижных объектов, контроля бортовых систем спутника подсистемой контроля и управления. Для этого в состав аппаратуры НКА включают:

- радиотехническое оборудование (передатчики навигационных сигналов и телеметрической информации, приемники данных и команд от КИК, антенны, блоки ориентации);
- ЭВМ;
- бортовой эталон времени и частоты;
- солнечные батареи и др.

Бортовые эталоны времени и частоты обеспечивают синхронное излучение навигационных сигналов всеми спутниками орбитальной группировки, что необходимо для реализации дальномерных измерений в ПИ.

Навигационные системы НКА содержат дальномерные компоненты и компоненты служебных сообщений. Дальномерные компоненты используют для определения в ПИ навигационных параметров. Компоненты служебных сообщений предназначены для передачи на подвижные объекты координат спутников, векторов их скоростей, времени и другие [3].

Выбор состава и конфигурации орбитальной группировки НКА влияют на площадь рабочей зоны, возможность реализации различных методов навигационных определений, их непрерывность и точность.

Эта подсистема представляет собой комплекс наземных средств (командно-измерительный комплекс), которые обеспечивают наблюдение и контроль за траекториями движения НКА, качеством функционирования их

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

аппаратуры, управление режимами их работы и параметрами спутниковых радиосигналов, а также составом, объемом и дискретностью, передаваемой со спутников навигационной информации, стабильностью бортовой шкалы времени и др.

Как правило, КИК состоит из координационно-вычислительного центра (КВЦ), станций траекторных измерений (СТИ) и управления, системного (наземного) эталона времени и частоты.

В идеальном варианте, когда измерения производятся точно и показания часов спутников и потребителя совпадают для определения положения потребителя в пространстве достаточно произвести измерения до трех навигационных спутников. В действительности показания часов, которые входят в состав навигационной аппаратуры потребителя, отличаются от показаний часов на борту навигационных спутников. Тогда для решения навигационной задачи к неизвестным ранее параметрам (три координаты потребителя) следует добавить еще один - смещение между часами потребителя и системным временем. Отсюда следует, что в общем случае для решения навигационной задачи потребитель должен «видеть», как минимум, четыре навигационных спутника.

Для функционирования навигационных спутниковых систем необходимы данные о параметрах вращения Земли, фундаментальные эфемериды Луны и планет, данные о гравитационном поле Земли, о моделях атмосферы, а также высокоточные данные об используемых системах координат и времени.

Геоцентрические системы координат - системы координат, начало которых совпадает с центром масс Земли. Их также называют общеземными или глобальными.

Для построения и поддержания общеземных систем координат используются четыре основных метода космической геодезии:

- радио интерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ);
- лазерная локация космических аппаратов (SLR);
- доплеровские измерительные системы (DORIS);

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

- навигационные измерения космических аппаратов ГЛОНАСС и других ГНСС.

Международная земная система координат ITRF является эталоном земной системы координат.

В современных навигационных спутниковых системах используются различные, как правило национальные системы координат (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Национальные системы координат

Навигационная система	Система координат
Система координат ГЛОНАСС	ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 года)
Система координат GPS	WGS-84 (World Geodetic System)
Система координат ГАЛИЛЕО	GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame)
Система координат БЕЙДОУ	CGCS2000 (China Geodetic Coordinate System 2000)
Система координат QZSS	JGS (Japanese geodetic system)
Система координат NavIC	WGS-84 (World Geodetic System)

При полете НКА в зоне радиовидимости СТИ происходит наблюдение за ним. Это позволяет с помощью КВЦ определять и прогнозировать координатную и другую необходимую информацию. Затем эти данные закладываются в бортовую ЭВМ и передают на подвижные объекты в служебном сообщении. Для достижения непрерывности определения местоположения объекта вне зависимости от погоды, сезона и времени суток в составе современных ГНСС второго поколения ГЛОНАСС (РФ) и GPS (США) функционируют три основные подсистемы:

- сегмент навигационных космических аппаратов (НКА) - космический сегмент;
- сегмент контроля и управления - наземный командно-измерительный комплекс (КИК) или сегмент управления;
- сегмент навигационной аппаратуры потребителей (НАП) [3].

Сегмент управления.

Сегмент управления состоит из главной станции, совмещенной с вычислительным центром; группы контрольно-измерительных станций (КИС), связанных с главной станцией и между собой каналами связи; наземного эталона времени и частоты. Контрольно-измерительные станции стараются размещать как можно равномернее по поверхности Земли, сообразуясь с геополитическими факторами и экономической целесообразностью.

Координаты КИС (фазового центра антенны) определены в трех измерениях с максимально доступной точностью. При пролете НКА в зоне видимости КИС, она осуществляет наблюдение за спутником, принимает навигационные сигналы, осуществляет первичную обработку информации и производит обмен данными с главной станцией. На главной станции происходит сбор информации от всех КИС, ее математическая обработка и вычисление различных координатных и корректирующих данных, подлежащих загрузке в бортовую ЭВМ НКА.

Данные, подлежащие загрузке, подразделяются на оперативные, обновляемые при каждом сеансе связи, и долговременные. В случае возникновения нештатной ситуации возможно проведение внеплановых сеансов связи и загрузки данных при условии нахождения НКА в зоне видимости одной из КИС. Наземный эталон времени и частоты имеет более высокую точность, чем бортовые эталоны и предназначен для синхронизации всех процессов, происходящих в СНС и коррекции бортовых эталонов. Сочетание независимости и беззапросности придает СНС неограниченную пропускную способность - произвольное число потребителей может использовать сигналы СНС в любой момент времени [3].

Сегмент потребителей.

Сегмент потребителей можно условно разбить на три части: военные организации; гражданские организации; частные лица. Независимо от назначения потребительского оборудования, в нем присутствуют радиочастотный тракт, в котором происходит прием радиосигналов НКА и их первичная обработка, и вычислитель, предназначенный для вторичной обработки сигнала,

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

выделения навигационной информации, реализации алгоритма вычисления оптимального созвездия и вычисления пространственных координат и вектора скорости потребителя. Обычно сначала определяются текущие координаты НКА и дальности до них, затем вычисляются географические координаты потребителя.

Вектор скорости потребителя вычисляется путем измерения доплеровских сдвигов частоты НКА при известных векторах скорости спутников. Для некритичных транспортных применений вектор скорости может рассчитываться по разности координат в два фиксированных момента времени. Далее, в зависимости от назначения приемника, информация может поступать на устройство отображения, в канал передачи, либо на блок управления внешними исполнительными механизмами [3].

Космический сегмент.

Точность место определения и стабильность функционирования СНС в большой степени зависит от взаимного орбитального расположения спутников и параметров их сигналов. Как правило, требуется, чтобы в зоне видимости потребителя находились не менее 3 - 5 НКА. На практике орбитальная структура строится таким образом, что для большинства потребителей постоянно видны более 6 НКА и потребитель имеет возможность выбирать оптимальное созвездие по определенному алгоритму, заложенному в вычислитель приемника.

Кроме действующих НКА, завершенная СНС имеет в своем составе несколько резервных спутников, которые могут быть оперативно введены для замены вышедших из строя либо для увеличения степени покрытия определенного региона. Действующие НКА могут быть перегруппированы (в ограниченных пределах) по команде с наземной станции управления. Действующие в настоящее время средневысотные орбиты с высотой около 20 000 км позволяют принимать сигналы каждого НКА почти на половине поверхности Земли, что обеспечивает непрерывность радионавигационного поля и достаточную избыточность при выборе оптимального созвездия НКА. Системы

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

GPS и ГЛОНАСС часто называют сетевыми СНС, поскольку принципиальное значение для их функционирования имеет взаимная синхронизация НКА по орбитальным координатам и параметрам излучаемых сигналов, т.е. объединение группы НКА в сеть.

Основное значение НКА - формирование и излучение сигналов, необходимых для решения потребителем задачи позиционирования и контроля исправности самого НКА. В состав стандартного НКА входят: радиопередающее оборудование для передачи навигационного сигнала и телеметрической информации; радиоприемное оборудование для приема команд наземного комплекса управления; антенны; бортовая ЭМВ; бортовой эталон времени и частоты; солнечные батареи; аккумуляторные батареи; системы ориентации на орбите и т.д. Современные НКА могут нести сопутствующее оборудование, такое как детекторы для обнаружения наземных ядерных взрывов и элементы систем боевого управления.

Излучаемые НКА сигналы содержат дальномерную и служебную составляющие [3].

Дальномерная составляющая используется потребителями непосредственно для определения навигационных параметров - дальности до НКА, вектора скорости потребителя, его пространственной ориентации и т.п. Служебная составляющая содержит информацию о координатах спутников, шкале времени, векторах скоростей НКА, исправности и т.д.

В основном служебная информация готовится командно-измерительным комплексом и закладывается в бортовую память НКА во время сеанса связи. И лишь незначительная ее часть формируется бортовой аппаратурой. Процедура переноса служебной информации из командного комплекса в память бортовой ЭВМ часто называется загрузкой данных.

Дальномерная составляющая содержит компоненты стандартной и высокой точности. Стандартная точность измерений доступна всем потребителям, а высокая - только авторизованным, т.е. имеющим разрешение военных

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

контролирующих органов. Разграничение доступа достигается путем кодирования сигналов высокой точности [3].

В условиях военных действий возможны попытки как постановки преднамеренных помех с целью подавления сигнала СНС (джаминг), так и попытки навязывания (спуфинг), т.е. подмены сигнала и ввода в приемную аппаратуру противника заведомо ложной информации при помощи сторонних передатчиков. Поскольку в литературе весьма редко встречается четкое толкование термина «антиспуфинг» применительно к СНС, следует особо подчеркнуть, что речь идет именно о защите от навязывания.

3.2 Характеристика и структура навигационных сигналов, и используемых для получения геодезическая информации

Навигационный радиосигнал состоит из дальномерного кода и навигационного сообщения. Навигационный радиосигнал, передаваемый каждым НКА системы ГЛОНАСС на собственной несущей частоте, является многокомпонентным фазоманипулированным сигналом.

Фазовая манипуляция несущей осуществляется со сдвигом с максимальной погрешностью не более $\pm 0,2$ радиана.

Фаза несущего колебания и фазы несущих колебаний поддиапазонов в НКА ГЛОНАСС-М модулируются двоичной последовательностью, образованной суммированием по модулю трех двоичных сигналов цифровой информации:

- навигационного сообщения - двоичного сигнала навигационной информации (НИ) с тактовой частотой 50 Гц (скорость передачи 50 бит/с), передаваемого с помощью относительной фазовой модуляции (ОФМ) в виде строк длительностью 2 секунд;

- псевдслучайного дальномерного кода (ПСДК) СТ - последовательности максимальной длины (М-последовательности) с тактовой частотой $= 511$ кГц и периодом 1 мс (скорость передачи 511 Кбит/с). Иногда для обозначения этого кода используется аббревиатура ПТ-код, т.е. код пониженной точности;

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

- вспомогательного колебания типа меандр - сигнала тактовой синхронизации в виде меандра с частотой 100 Гц (скорость передачи 100 бит/с) [4].

Основой для формирования всех перечисленных компонентов сигнала является бортовой стандарт частоты.

Псевдослучайный дальномерный код предназначен для вычисления временной задержки (времени распространения) сигнала от спутника до места его приема навигационным приемником.

В системе ГЛОНАСС используется частотное разделение сигналов (FDMA), излучаемых каждым спутником - двух фазоманипулированных сигналов. Частота первого сигнала лежит в диапазоне L1 ~ 1600 МГц, а частота второго - в диапазоне L2 ~ 1250 МГц. Номинальные значения рабочих частот радиосигналов, передаваемых в диапазонах L1 и L2, определяются выражением:

$$f_{k1} = f_1 + k\Delta f_1, \quad (3.1)$$

$$f_{k2} = f_2 + k\Delta f_2, \quad (3.2)$$

где $k = 0, 1, \dots, 24$ - номера литеров (каналов) рабочих частот спутников;

$f_1 = 1602 \text{ МГц}$; $\Delta f_1 = 9/16 = 0,5625 \text{ МГц}$;

$f_2 = 1246 \text{ МГц}$; $\Delta f_2 = 7/16 = 0,4375 \text{ МГц}$.

Для каждого спутника рабочие частоты сигналов в диапазоне L1 и L2 когерентны и формируются от одного эталона частоты. Отношение рабочих частот несущей каждого спутника:

$$\Delta f_{k1} / \Delta f_{k2} = 7/9 \quad (3.3)$$

Номинальное значение частоты бортового генератора, с точки зрения наблюдателя, находящегося на поверхности Земли, равно 5,0 МГц [4].

В диапазоне L1 каждый спутник системы Глонасс излучает 2 несущие на одной и той же частоте, сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90°. Одна из несущих подвергается фазовой манипуляции на 180°.

Модулирующий сигнал получают сложением по модулю 2 трёх двоичных сигналов:

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

- грубого дальномерного кода, передаваемого со скоростью 511 Кбит/с;
- последовательности навигационных данных;
- меандрового колебания, передаваемого со скоростью 100 бит/сек.

Сигнал в диапазоне L1 (аналогичен C/A-коду в GPS) доступен для всех потребителей в зоне видимости КА. Сигнал в диапазоне L2 предназначен для военных нужд, и его структура не раскрывается [4].

Состав и структура навигационных сообщений спутников системы ГЛОНАСС. Навигационное сообщение формируется в виде непрерывно следующих строк, каждая длительностью 2 с. В первой части строки (интервал 1,7 с) передаются навигационные данные, а во второй (0,3 с) - Метка Времени. Она представляет собой укороченную псевдослучайную последовательность, состоящую из 30 символов с тактовой частотой 100 бит/с.

Навигационные сообщения спутников системы ГЛОНАСС необходимы потребителям для навигационных определений и планирования сеансов связи со спутниками. По своему содержанию навигационные сообщения делятся на оперативную и неоперативную информацию [4].

Оперативная информация относится к спутнику, из сигнала которого она была получена. К оперативной информации относят:

- оцифровку меток времени;
- сдвиг шкалы времени спутника относительно шкалы системы;
- относительное отличие несущей частоты спутника от номинального значения;
- эфемероидная информация.

Время привязки эфемероидной информации и частотно-временные поправки, имеющие получасовую кратность от начала суток, позволяют точно определять географические координаты и скорость движения спутника.

Неоперативная информация содержит альманах, включающий:

- данные о состоянии всех спутников системы;
- сдвиг шкалы времени спутника относительно шкалы системы;
- параметры орбит всех спутников системы;

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

- поправку к шкале времени системы Глонасс.

Выбор оптимального "созвездия" КА и прогноза доплеровского сдвига несущей частоты обеспечивается за счёт анализа альманаха системы.

Навигационные сообщения спутников системы Глонасс структурированы в виде суперкадров длительностью 2,5 мин. Суперкадр состоит из пяти кадров длительностью 30 с. Каждый кадр содержит 15 строк длительностью 2 с. Из 2 с длительности строки последние 0,3 с занимает метка времени. Остальная часть строки содержит 85 символов цифровой информации, передаваемых с частотой 50 Гц [5].

В составе каждого кадра передаётся полный объём оперативной информации и часть альманаха системы. Полный альманах содержится во всём суперкадре. При этом информация суперкадра, содержащаяся в строках 1-4, относится к тому спутнику, с которого она поступает (оперативная часть), и не меняется в пределах суперкадра.

Структура навигационных радиосигналов системы GPS.

В системе GPS используется кодовое разделение сигналов (CDMA), поэтому все спутники излучают сигналы с одинаковой частотой. Каждый спутник системы GPS излучает два фазоманипулированных сигнала. Частота первого сигнала составляет $L1 = 1575,42$ МГц, а второго - $L2 = 1227,6$ МГц. Сигнал несущей частоты $L1$ модулируется двумя двоичными последовательностями, каждая из которых образована путём суммирования по модулю 2 дальномерного кода и передаваемых системных и навигационных данных, формируемых со скоростью 50 бит/с. На частоте $L1$ передаются две квадратурные компоненты, бифазно манипулированные двоичными последовательностями. Первая последовательность является суммой по модулю 2 точного дальномерного кода P или засекреченного кода Y и навигационных данных.

Вторая последовательность также является суммой по модулю 2 грубого C/A кода и той же последовательности навигационных данных. Радиосигнал на частоте $L2$ бифазно манипулирован только одной из двух ранее

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

рассмотренных последовательностей. Выбор модулирующей последовательности осуществляется по команде с Земли. Каждый спутник использует свои собственные только ему дальномерные коды C/A и P(Y), что и позволяет разделять спутниковые сигналы. В процессе формирования точного дальномерного P(Y) кода одновременно формируются метки времени спутникового сигнала [5].

3.3 Обзор и классификация геодезических навигационных приемников

Современный геодезический навигационный приёмник - радиоприёмное устройство для определения географических координат текущего местоположения антенны приёмника на основе данных о временных задержках прихода радиосигналов.

Современный геодезический навигационный приемник включает в себя три основных элемента:

Приемник - устройство, получающее информацию от спутников, обрабатывающее ее, а также производящее запись в память или на внешнее устройство.

Антенна - принимающий элемент.

Контроллер -устройство, позволяющее управлять работой приемника.

По сложности технических решений и объему аппаратных затрат спутниковые приемники принято подразделять на:

а) одноканальные - позволяют в каждый текущий момент времени вести прием и обработку радиосигнала только одного спутника;

б) многоканальные - позволяют одновременно принимать и обрабатывать сигналы нескольких спутников.

В настоящее время в основном выпускаются и используются многоканальные приемники [6].

Кроме того, приемники можно классифицировать еще по двум направлениям:

1 Одно системный - принимающий сигналы GPS или ГЛОНАСС.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

2 Двух системный - принимающий сигналы ГЛОНАСС и GPS.

В зависимости от вида принимаемых и обрабатываемых сигналов приемники подразделяются на:

- одночастотный кодовый;
- двухчастотный кодовый;
- одночастотный кодово-фазовый;
- двухчастотный кодово-фазовый.

Таблица 3.2 - Типы приемников

Тип приемника	Группа	Число каналов, не менее	Частоты
Двухсистемные двухчастотные и более	1	24	L1/L2(GPS)+3 мм + L1/L2(ГЛОНАСС)
Односистемные двухчастотные	2	9	L1/L2(GPS) или L 1/L2(ГЛОНАСС)
Односистемные одночастотные	3	9	L1(GPS) или L1(ГЛОНАСС)

По устройству приемники настолько сложны, что иногда их именуют приемными системами. Все приемники являются многоканальными с числом каналов от 6 и более. Каждый канал следит за своим спутником. При измерениях проблемой является срыв сигналов в тени зданий и других объектов.

Эти трудности легче преодолеть, измеряя многоканальными приемниками: чем больше каналов, тем легче найти необходимое количество видимых спутников и избежать срывов (Cannon, 1994).

Приемники можно разделить на:

- одно системные, ориентированные на прием сигналов одной системы, главным образом GPS;
- двух системные, принимающие сигналы как ГЛОНАСС, так и GPS.

По видам принимаемых и обрабатываемых сигналов приемники делятся на:

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

- кодовые, одночастотные, работающие по C/A-коду;
- кодовые двухчастотные, ориентированные прежде всего на работу с P-кодом;
- кодово-фазовые одночастотные, применяющие дальномерный C/A-код и фазовые измерения только на частоте L1;
- кодово-фазовые двухчастотные, использующие дальномерные коды и фазовые измерения на частотах L1 и L2.

Кодовые приемники легки, компактны, умещаются на ладони (handheld). В одном корпусе совмещены все блоки (антенна, сам приемник, питание). По функциональным возможностям они все менее и менее различаются. Кроме определения трехмерного положения, как правило, вычисляют скорость и направление движения. Выдают координаты в различных форматах (широты, долготы, высоты, плоские координаты в разных проекциях и др.). Приспособлены к накоплению и хранению результатов измерений. Пользователь снимает отсчеты по подсвечиваемому экрану, определяет расстояние, азимут и время прибытия к цели, на многих из них видит карту маршрута и свое положение на ней. Могут иметь порты для подключения к компьютерам для обработки измерений. После снятия режима SA (селективного доступа) они стали основными приборами место определения в различных географических, геологических и других работах.

Кодово-фазовые приемники малогабаритны, обычно оснащены отдельной антенной, имеют мощные накопители данных. В некоторых конструкциях внутренняя память до 100 Мб и более, а число каналов достигает 40. Все они снабжены портами для интеграции с другой аппаратурой, питаются в основном от аккумуляторов. Нередко клавиатура с дисплеем установлена на вспомогательном устройстве - контроллере, которое пользователь держит в руке, при измерениях вводит необходимые команды, такие как имя точки, высота антенны, погодные условия и др.

Иногда, главным образом фирмами распространителями, применяется классификация приемных систем по назначению:

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

- навигация - автомобильный, морской, авиационный транспорт;
- геодезия - геодезические сети, топографические съемки, прикладные работы;
- ГИС - сбор и анализ данных для географических информационных систем;
- телекоммуникация - мобильная связь;
- диспетчерская работа - служба пожарных, полиции, скорой медицинской помощи, перевозки грузов и др.;

В настоящее время в мире производством спутниковых приемников занято более 400 фирм. Практически распространение в России получили приемники GPS фирм Ashtech, Garmin, Карл Цейс, Leica, Magellan (в январе 1998 г. Ashtech и Magellan объединились), TPS (Topcon Positioning System), Trimble и др.

Значительный интерес вызывают совмещенные GPS/ГЛОНАСС приемники. Объявлялись в печати такого типа российские приемники «Бриз» (14 каналов), МЗК-14 (18 каналов), приемники фирм Trimble 4000 SGL (18 каналов), Ashtech GG-24 (24 канала) и ряд приемников фирмы TPS. Все приемники TPS базируются на одной технологии.

Перезагрузкой программного обеспечения одночастотный приемник может быть переведен в двухчастотный двух системный - кроме того, с момента обещанного введения гражданского кода на частоте L2 он также будет обрабатываться (Конта рук, 2000).

Комплект аппаратуры.

Комплект аппаратуры пользователей зависит от его назначения. В простейшем случае - миниатюрный приемник по размерам не больше наручных часов чем точнее работы, тем сложнее аппаратура. Наиболее совершенные приемные системы применяют в геодезических целях. Комплект АП для геодезических целей включает антенну, приемник, контроллер (управляющее устройство), блок питания (для зарядки аккумуляторов и работы от сети),

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

аккумуляторы или батареи, кабели, штативы, вешку для установки антенны, рулетку или специальное приспособление для измерения высоты антенны, станковый рюкзак для приемника, упаковочные сумки, чехлы и прочее оснащение. Для обработки измерений обязателен персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением. АП интенсивно развиваются в направлении совершенствования электронной и информационной частей, существенного уменьшения массы и габаритов.

Антенные устройства.

Антенна может быть встроена в приемник или использоваться в виде выносного модуля, соединяемого с ним специальным кабелем. Антенны применяют:

- одночастотные, настроенные на частоту L_1 ;
- двухчастотные, принимающие частоты L_1 и L_2 .

В геодезической аппаратуре получили распространение микро полосковые плоские спиральные антенны. Такие антенны обеспечивают прием волн круговой поляризации. Их изготавливают нанесением печатным способом проводника на диэлектрик. Антенны технологичны в изготовлении, легки и компактны, защищены обтекателем, приспособлены для установки на штативе или вешке.

Для отсечения отражений к ним может быть прикреплен плоский металлический экран. Для измерений по фазе несущей волны важное значение имеет фазовая характеристика антенны. Фазовая характеристика идеальной антенны представляет собой полусферу: с какой бы стороны не приходила радиоволна, в антенне задержка по фазе будет одинаковой. В реальной антенне задержки по фазе зависят от направления на спутник. В заводских условиях определяют зависимость параметров антенны от азимутов направлений. Чтобы заводская характеристика соответствовала условиям измерений, на антенну наносят указатель на Север, по которому ее ориентируют относительно стран света. На станции все измерения отнесены к одной точке антенны - к ее фазовому центру.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

4 Анализ программного обеспечения глобальных навигационных спутниковых систем

4.1 Программный модуль Sokkia SSF (Spectrum Survey Field)

SSF (Spectrum Survey Field) является полевым программным обеспечением Sokkia, и может быть установлено на полевые контроллеры Topcon, как FC-200, FC-2200, FC-2500, FC-250, FC-Z, а также на контроллеры, интегрированные с GPS/ГЛОНАСС приемниками: предназначенным для карманных портативных компьютеров (КПК) работающие в среде Windows® CE или Windows Mobile®, такие GMS-2.

Создание проекта

При первом запуске программы отображается экран Защита.

Для запуска программы SSF запрашивает код доступа в виде:

- ключ - отображает номер контроллера по умолчанию; он должен быть предоставлен поставщику Topcon для получения кодов активации;
- коды активации - поля, в которые вводятся полученные от поставщика Topcon - коды защиты для активации приобретенных функций SSF.

При первом запуске SSF открывает только проект Default, созданный одновременно с инсталляцией программы (рисунок 3.2).

В окне открыть выполняется следующее:

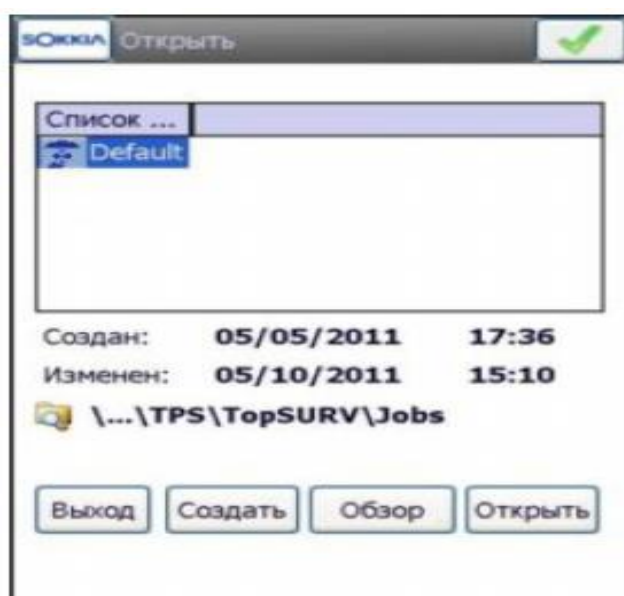


Рисунок 4.1 - Открытие проекта

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

1 Открыть - нажмите для создания проекта Default (текущего) и возврата в главное окно.

2 Создать - нажмите для создания нового проекта.

3 Выход - нажмите для выхода из программы.

4 Обзор - нажмите для поиска директории, в которой находится проект.

Выделите файл и нажмите кнопку ОК.

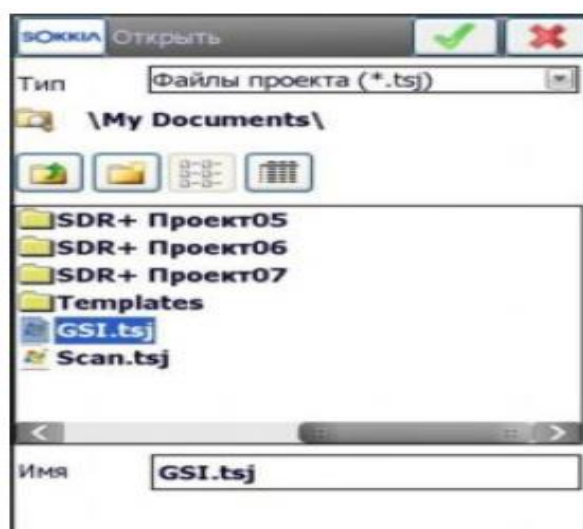


Рисунок 4.3 - Открытие нового проекта

Главное окно.

Главное окно SSF содержит строку заголовков и главное меню.

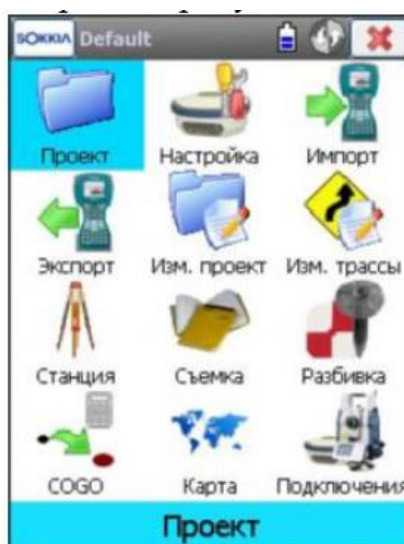


Рисунок 4.4 - Главное окно SFS

В SSF реализовано два пользовательских графических интерфейса: на основе значков и на основе списка. По умолчанию, SSF использует интерфейс на основе значков для быстрого и простого доступа к функциям программ.

Строка заголовка в окне главного меню отображает имя открытого проекта и следующие значки (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Значки строки меню

Значок	Описание
	Значок Справки с логотипом - открывает выпадающее меню, предоставляющее доступ к файлам Справки (обязательно) и некоторым опциям, относящимся к текущему открытому окну.
	Значок состояния питания контроллера – показывает состояние питания.
	Значок подключения - показывает состояние подключения (зеленый означает установленное подключение к устройству). Нажатие на значок открывает диалог Подключения для пере подключения.
	Значок выхода - закрывает SSF. При нахождении в подменю он превращается в значок  для возврата в главное меню.

Внутри опций меню строка заголовка отображает значок Справки, имя открытого окна и любые системные кнопки (зеленая кнопка ОК  и красная кнопка Отмены ), используемые для сохранения или не сохранения настроек (рисунок 4.3).

Меню значков главного окна SSF (Spectrum Survey Field) содержит следующие значки для предоставления доступа к конфигурации проекта,

настройкам, отображению, другим проектным функциям и управлению данными (таблица 4.2)

Таблица 4.2 - Значки главного меню

Значок	Описание
	Проект - открывает подменю для создания, открытия, удаления и получения информации о проекте.
	Настройка - открывает подменю для создания или изменения конфигурации проекта. Значок изменяет вид и отображает инструмент, используемый в текущем проекте.
	Импорт - открывает подменю для импорта данных из проекта, контроллера или из файла.
	Экспорт - открывает подменю для экспорта данных в новый проект, контроллер или в файл.
	Изменить проект - открывает подменю для изменения данных проекта.
	Изменить трассы - открывает подменю для изменения трасс. Недоступно для статических съемок.
	Станция - открывает подменю для настройки съемки.
	Съемка - открывает подменю для ведения съемки. Недоступно для статических съемок.
	Разбивка - открывает подменю для выноса объектов в натуру.
	COGO - открывает подменю для расчета задач координатной геометрии.
	Карта - открывает карту текущего проекта.

Работа с проектом.

Чтобы работать с фалом проекта, щелкните по значку Проект в главном меню (рисунок 4.5). [18]

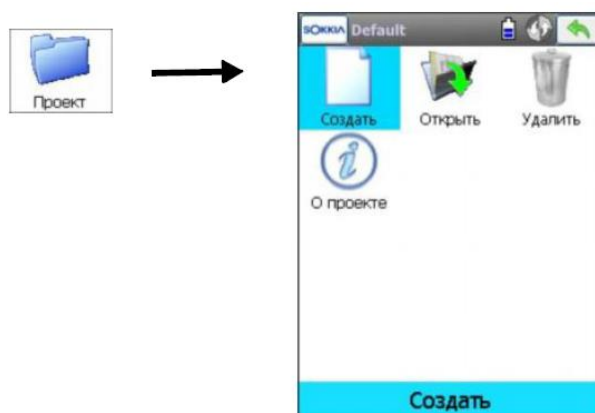


Рисунок 4.5 - Меню проект

Если нужные Вам опции меню не отображаются, щелкните значки Настройка/Меню и включите эти опции в окне Конфигурация меню.

Значок Справка открывает выпадающее меню, предоставляющее доступ к файлам Справки, модулю кодов активации, порту записи данных, смене интерфейса меню и информации о программе SSF.

Создание проекта.

Чтобы создать новый проект, щелкните по значку Создать. Открывается окно создать (рисунок 4.6) для запуска процесса создания нового проекта, который выполняется с помощью Мастера.

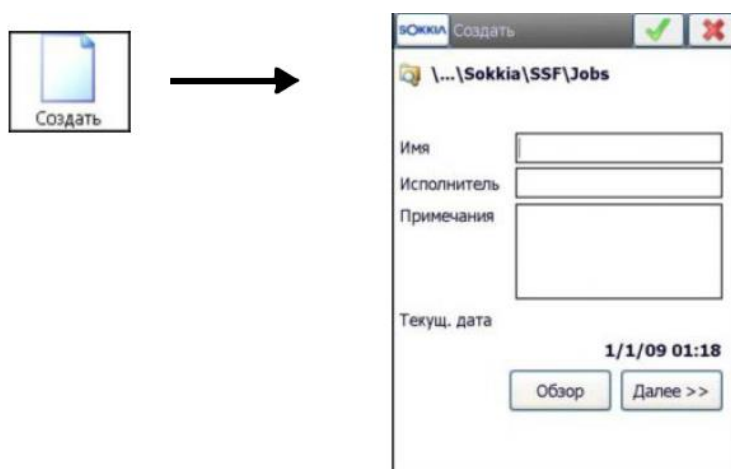


Рисунок 4.6 - Создание нового проекта

Заполните поля в окне Создать. В контроллерах со встроенной многофункциональной клавиатурой поместите курсор в поле, которое хотите заполнить, и клавиатура отобразится в новом окне (рисунок 4.7). [18]

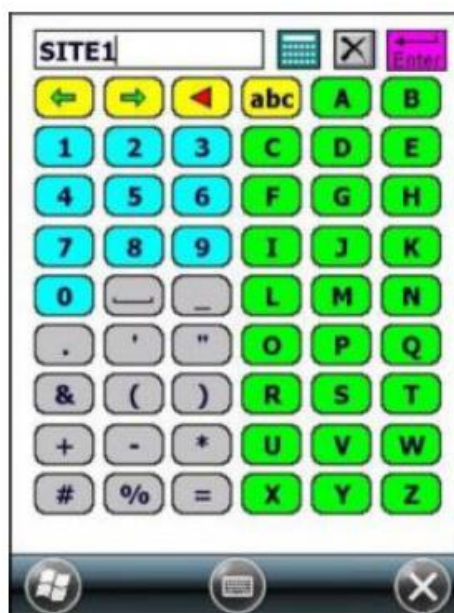


Рисунок 3.7 - Экранная клавиатура SSF

а) имя - имя нового проекта. Это поле должно быть заполнено обязательно. Если поле останется незаполненным или имя проекта будет недопустимым, появится сообщение с предупреждением (рисунок 3.8).

б) исполнитель - имя или другая информация об исполнителе съемки.

в) примечания - любая дополнительная информация о проекте, например, условия съемки.

г) текущая дата - отображает текущую дату и время создания проекта.

д) обзор - изменение директории, в которой находится проект. По умолчанию, файлы проекта сохранены в папке Jobs директории, в которой установлена программа.

Путь  к файлу проекта отображается в верхней части окна. Сохранен последний указанный путь.

1 Далее - открывает окно Конфигурация съемки (рисунок 3.9).

2 Нажатие на кнопку  сохраняет информацию и возвращает в главное окно. Новый проект становится активным [18].

Выбор конфигурации съемки.

В окне Конфигурация съемки выбирается стиль съемки для нового проекта (рисунок 4.8). Параметры конфигурации съемки не зависят от проекта. Одна конфигурация может использоваться в нескольких проектах.

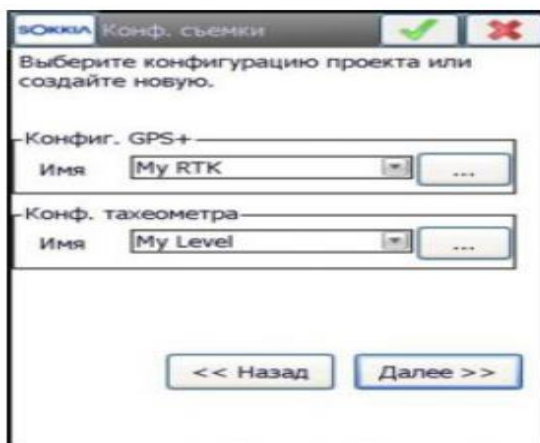


Рисунок 4.8 - Выбор конфигурации съемки

SSF содержит несколько конфигураций по умолчанию: My RTK, My Network RTK, My Network DGPS, My RT DGPS, My PP Static, My PP Kinematic и My PP DGPS для режима GPS+; My Conventional, My Reflectorless, My Robotic и My Level для режима оптических инструментов.

5 Заключение

В процессе реализации работ по проекту ««Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем»» выполнены:

- информационное исследование и теоретическое обоснование проекта;
- анализ аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем
- разработана методика эффективного доступа при обработке данных на программном модуле Sokkia SSF (Spectrum Survey Field

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

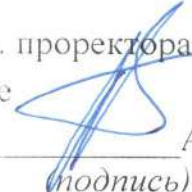
СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

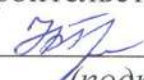
Начальник отдела ОНИПКРС

 Е.М. Димитриади
(подпись)
« 16 » 05 20 25 г.

И.о. проректора по научной ра-
боте

 А.В. Космынин
(подпись)
« 16 » 05 20 25 г.

Декан факультета кадастра и
строительства

 Н.В. Гринкруг
(подпись)
« 16 » 05 20 25 г.

АКТ

О приемке в эксплуатацию пректа

««Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных
навигационных спутниковых систем».»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 16 » 05 2025г.

Комиссия в составе преподавателей:

со стороны заказчика

- В.И. Зайков – руководитель СКПБ,
- Н.В. Гринкруг – декан ФКС

со стороны исполнителя

- А.О. Полтавцева – руководитель проекта,

- Л.С. Тукмамедова – группа 1К36-1

Составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Анализ эффективности аппаратно-программного комплекса глобальных навигационных спутниковых систем». в составе:

- ПАСПОРТ (техническое описание) проекта

Руководитель проекта

 13.05.25
(подпись, дата)

А.О. Полтавцева

Исполнитель проекта

 13.05.25 Л.С.Тукмамедова
(подпись, дата)