

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ ГЛОНАСС**

ЧАН НЬЕЙН ЧЖО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

*E-mail: channyeinkyaw66284@gmail.com*

**Аннотация.** ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система) — одна из наиболее известных глобальных спутниковых навигационных систем, предоставляющая данные о местоположении объектов в реальном масштабе времени практически в любой точке Земли. Моделирование функционирования системы ГЛОНАСС является актуальной задачей и включает в себя создание моделей, которые имитируют реальные характеристики сигналов, методы модуляции и протоколы передачи данных. Такое моделирование оценить эффективность функционирования системы ГЛОНАСС путем оценки трактов формирования и приема-передачи сигналов, тестирования алгоритмов и разработки на этой основе новых технологий.

### **Введение**

Рубеж XX-XXI веков выделяется двумя значимыми событиями. Спутниковые радионавигационные системы глобального позиционирования становятся в ряд систем массового обслуживания, компьютер стал в неограниченных объемах доступен многочисленным пользователям. Спутниковая радионавигация применяется в авиации, управлении наземным и морским транспортом, геодезии, картографии, мониторинге газо- и нефтепроводов, высотных сооружений, наблюдениям за смещением материков и многих других отраслях.

При этом достигнуты точности определения координат от миллиметров до нескольких десятков метров. Мировое сообщество может пользоваться спутниковыми системами GPS и ГЛОНАСС безвозмездно. В стадии завершения находятся системы EGNOS и GALILEO, ориентированные на широкий круг потребителей.

Предлагаемая работа является одной из попыток представить сложный расчетный материал по вопросам спутниковой радионавигации на программных продуктах, написанных в среде MatLab.

### **Основная часть**

Системы спутниковой навигации работают путем передачи сигналов с орбитальных спутников на приемники на Земле. Эти сигналы содержат информацию о положении спутника, времени и другие важные данные. Сигналы ГНСС являются широкополосными и характеризуются широким спектром занимаемых частот.

Использование сигналов с расширенным спектром обеспечивает эффективную передачу данных даже в сложные условия наличия шумов и помех. Основные компоненты сигналов GNSS включают в себя данные, псевдослучайные коды и несущие частоты. Компонент данных несет информацию о спутнике, включая эфемериды, поправки часов и состояние системы.

Псевдослучайные коды, такие как код C/A в GPS и M-последовательность в ГЛОНАСС, используются для спутниковой идентификации, синхронизации сигналов и измерения дальности. Несущая частота модулируется этими кодами для создания навигационных сигналов, передаваемых спутниками.

#### **Спутниковые коды ГЛОНАСС: изучение M-Sequence**

Система ГЛОНАСС использует M-последовательности в качестве основных псевдослучайных кодов для идентификации и определения дальности спутников. M-последовательности, также известные как последовательности максимальной длины, генерируются с помощью специального генератора, полинома и сдвигового регистра. Каждый спутник ГЛОНАСС имеет уникальную M-последовательность, что позволяет приемникам различать спутники.

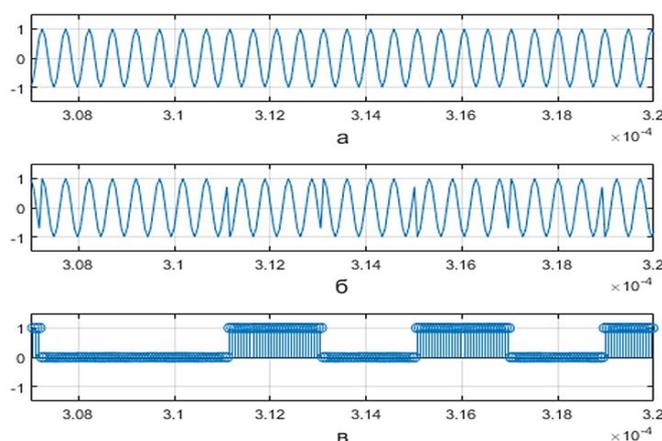
M-последовательности обладают характеристиками, которые являются практически идеальными для навигационных сигналов. Такие последовательности демонстрируют высокие автокорреляционные и низкие кросс-корреляционные свойства. С другой стороны, они имеют низкую

корреляцию с другими М-последовательностями, что позволяет приемникам эффективно идентифицировать и изолировать определенные спутниковые сигналы.

М-последовательность ГЛОНАСС представляет собой двоичную последовательность длиной 511 чипов. Каждый чип имеет длительность 1,9569 микросекунды. Уникальные характеристики М-последовательности обеспечивают повышенную точность системы ГЛОНАСС: приемники измеряют временную задержку между передачей и приемом сигнала с достаточной точностью, чтобы впоследствии определить расстояние до спутников.

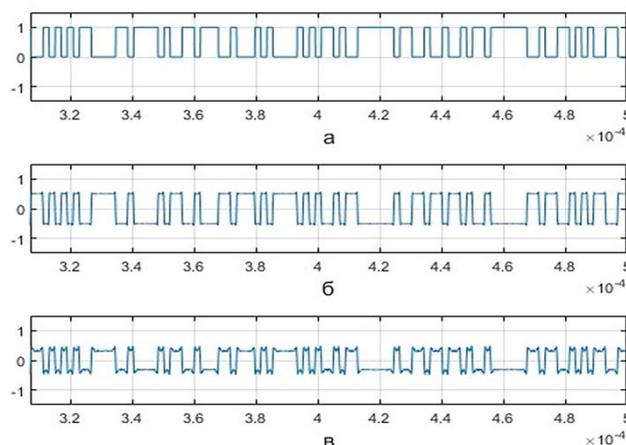
### Результаты моделирования

Моделирование псевдослучайного кода спутников ГЛОНАСС предполагает создание математического представления кода, используемого спутниками для модуляции своих сигналов. Моделирование производилось в среде MatLab. Результаты моделирования представлены на следующих рисунках



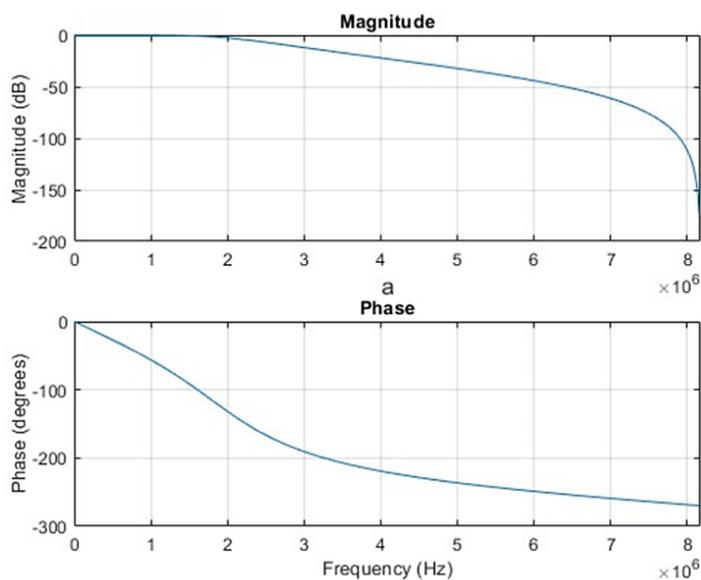
**Рис.1.** Сигнал ГЛОНАСС: а- несущая; б-модулированная несущая; в- выборка дискретизированной М-последовательности

График (а) показывает несущий сигнал, который представляет собой синусоиду, которую можно модулировать для переноса информации. По сути, это необработанный сигнал до добавления каких-либо данных. График (б) изображает модулированный несущий сигнал, то есть несущее колебание было изменено путем кодирования. Модуляция изменяет амплитуду, частоту или фазу несущей волны для передачи данных. График (в) иллюстрирует дискретизированную М-последовательность, которая является типом двоичной последовательности, используемой в системах связи для расширения спектра сигнала. Это метод, гарантирующий, что сигнал может быть точно принят и интерпретирован даже при наличии шума.



**Рис.2.** Сигнал ГЛОНАСС: а- М-последовательность до модуляции; б- М-последовательность после модуляции и фильтрации фильтром с максимально плоской характеристикой; в- М-последовательность после модуляции и фильтрации фильтром с эллиптической характеристикой

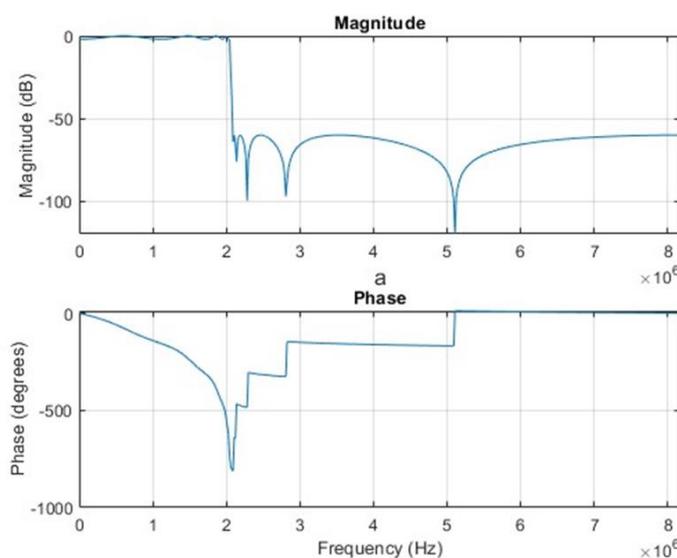
На рисунке 2 показано форма сигнала ГЛОНАСС, преобразованного после модуляции и фильтрации. М-последовательность претерпевает значительные изменения, поскольку она модулируется и обрабатывается различными типами фильтров. Этот процесс необходим для обеспечения целостности и производительности сигнала в спутниковых навигационных системах. Эти графики наглядно демонстрируют, как сигнал формируется для передачи по каналу связи для точного декодирования приемниками даже при наличии шума и помех. Выбор фильтров влияет на характеристики сигнала, балансируя между сохранением целостности сигнала и достижением желаемых частотных характеристик.



**Рис.3.** Фильтр с максимально плоской характеристикой: верхний график- АЧХ; нижний график-ФЧХ

На рис.3 показана частотная характеристика фильтра с максимально плоской характеристикой. На рис.3а представлена амплитудная характеристика. График показывает величину отклика фильтра в децибелах (дБ) на разных частотах (Гц).

На рис.3.в представлена фазовая характеристика (нижний график): Этот график иллюстрирует фазовый сдвиг, вносимый фильтром в градусах в том же диапазоне частот. По мере увеличения частоты фазовый угол уменьшается, демонстрируя, как фильтр влияет на фазу входного сигнала.



**Рис.4.** Фильтр с эллиптической характеристикой-Figure 4: верхний график- АЧХ; нижний график-ФЧХ

На рис.4 представлены характеристики эллиптического фильтра. График амплитудно-частотной характеристики подчеркивает способность фильтра ослаблять сигналы за пределами определенной частоты, что делает его полезным для приложений, требующих резких частот среза. График фазочастотной характеристики иллюстрирует фазовое искажение, вносимое фильтром, что важно для поддержания целостности сигнала.

В целом, графики на рис.4 представляют ценную информацию о производительности эллиптических фильтров при обработке сигналов, что может быть эффективно применено при проектировании системы с точными частотными и фазовыми характеристиками. Данная информация может быть полезной и важной для таких приложений, как спутниковая навигация, где точная фильтрация сигнала необходима для надежной передачи данных.

### **Заключение**

Результаты моделирования навигационных сигналов в системе ГЛОНАСС представляют собой ценную информацию о функционировании и характеристиках этих сигналов, что необходимо для точной и надежной спутниковой навигации при проектировании и эксплуатации глобальной системы ГЛОНАСС. Модели сигналов ГЛОНАСС, полученные в MATLAB, позволяют более точно оценить сложные процессы, связанные с генерацией, модуляцией, передачей и приемом сигнала, что в конечном счете позволяет повысить эффективность функционирования глобальной навигационной системы.

### **Список использованных источников**

1. Бабак В. П., Конін В. В., Харченко В. П. Спутникова радіонавігація. – К.: Техніка, 2004. – 328 с.
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС (Интерфейсный контрольный документ, пятая редакция). – М.: Координационный научно – информационный центр Российской Федерации, 2002. – 57 с.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования/Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. Изд. 3-е, перераб.- М.: Радиотехника, 2005.- 687 с.
4. Гофман-Велленгоф В. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика/ В. Гофман-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз / Пер. з англ.; За ред. акад. Я. С. Яцківа. – К.: Наук. думка, 1996. – 391 с.
5. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6. 5+ Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя.- М. :СОЛОН Пресс, 2002.- 768 с.