Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский**

**политехнический университет»**

Факультет прикладной математики и механики

Кафедра «Прикладной математики»

Направление: 24.04.02 «Системы управления движением и навигация» (уровень магистра)

# Курсовая работа

## Моделирование работы навигационной системы для подземной навигации

Вариант№1

**Выполнил студент гр. ИВК-20-1м**

Абакшин Дмитрий Сергеевич

**Проверил старший преподаватель**

Легостаев Станислав Сергеевич

Пермь 2021

### Содержание

[Цель работы 3](#_Toc59904675)

[Актуальность задачи 3](#_Toc59904676)

[Особенности навигации под землёй 3](#_Toc59904677)

[Существующие решения 4](#_Toc59904678)

[Ожидаемые результаты и области для дальнейших исследований 4](#_Toc59904679)

[Моделирование датчиков 4](#_Toc59904680)

[Моделирование навигационного алгоритма 7](#_Toc59904681)

[Моделирование алгоритма управления объектом 7](#_Toc59904682)

[Общая реализация модели 8](#_Toc59904683)

[Структуры данных 8](#_Toc59904684)

[Основные допущения модели 9](#_Toc59904685)

[Моделирование 9](#_Toc59904686)

[Результаты моделирования 10](#_Toc59904687)

[Рисунок №9 – Угол крена в испытаниях с вращающимся основанием 13](#_Toc59904689)

[Выводы 14](#_Toc59904690)

[Список литературы 15](#_Toc59904691)

[Приложение №1 Схема навигационного алгоритма 16](#_Toc59904692)

### Цель работы

В качестве субъекта исследования будет система навигации, предназначенная для установки в компактную буровую установку для бурения небольших в диаметре, но длинных скважин.

Основная цель – рассмотреть более детально некоторые аспекты моделирования алгоритма подземной навигации, представленного в прошлой работе.

Выделим основные подзадачи:

* Изучение влияния коэффициетнов (весов) комплексирования на результат работы системы.
* Изучение влияние ошибки начальной выставки (определения начальной ориентации) на результат работы алгоритма.
* Нахождение способа снизить погрешность от быстрого вращения бура.

### Актуальность задачи

Намеченные исследования являются актуальными не только для задачи подземной навигации, но и для многих других сфер навигации. Влияние ошибки начальной выставки – хорошо изученная тема. Однако, нам будет интересно посмотреть на то, как эти ошибки проявят себя в нашей модели. Комплексирование – довольно неоднозначная тема в области навигации. Тут существует множество вариаций, которые зависят от набора и качества датчиков и внешних источников. Про погрешности от вращения работ крайне мало, это до сих пор слабо исследованная тема.

Актуальность решения задачи подземной навигации была рассмотрена в предыдущей работе.

### Моделирование

Не будем останавливаться на особенностях подземной навигации и существующих решениях для различных подземных работ. Также опустим основное описание полученной модели, спеифику моделирования датчиков, алгоритма навигации и управления, организацию программы, основных допущениях модели. Обо всём этом уже написано в первой части работы.

Начнём работу с моделирования различных вариантов комплексирования. В модели комплексирование применяется для нахождения скорости бура. Скорость может определяться двумя различными способами: по сигналам акселерометров и одометр. Эти датчики различаются как принципом работы, так и точностными характеристиками. Больше того, каждый из них имеет свои особенности, которые влияют на показания. Для показаний акселерометров нужен пересчёт с вычетом всех ненужных составляющих ускорения и перепроецированием. Одометр сразу выдаёт нам скорость вдоль продольной оси объекта. Подразумевается, что скорость, определённая по одометру, несколько точнее, иначе мы бы пользовались только акселерометрами, так как они всё равно необходимы в системе для проведения выставки.

Итак, зададимся такими же моделями погрешностей датчиков, что были в предыдущей работе:

* Углы перекоса всех датчиков равны 1 °
* Смещение нуля акселерометра – 0,001 g;
* СКО акселерометра – 0,01 g;
* Дрейф гироскопа – 0,1 °/ч
* СКО гироскопа – 0,03 °/ч
* Смещение нуля одометра –0,001 м/с
* СКО одометра – 0,0001 м/с

Траектория испытаний: угол курса – 0 °, угол тангажа - -60 °, длина участка траектории – 100 м. Внешнее воздействие отсутствует.

Движение бура было задано таким:

* Максимальная линейная скорость – 0,1 м/с
* Максимальное линейное ускорение –0,02 м/с2
* Максимальная угловая скорость маневрирования – 0,1 °/с
* Максимальная скорость вращения –180 °/с
* Максимальное угловое ускорение – 0,02 °/с2

Прочие параметры:

* Частота работы датчиков – 100 Гц
* Частота управления – 1 Гц
* Широта места старта 58 ° с.ш.
* Долгота места старта 56 ° в.д.
* Начальная скорость равна нулю
* Начальная угловая скорость равна нулю
* Начальное ускорение равно нулю
* Начальное угловое ускорение равно нулю

В алгоритме комплексирование будет реализовано следующим образом: скорости полученные по акселерометрам и одометру будут помножаться на определённые коэффициенты, затем складываться. Эту сумму необходимо поделить на сумму коэффициентов.

Если выразить это формулой получится следующее:

Промоделируем несколько случаев с различными коэффициентами и посмотрим на результат. Первый случай, когда оба коэффициента равны единицам (среднее арифметическое скоростей). Тогда графики углов ориентации будут следующими:

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок №1 – Угол тангажа в первом испытании |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок №2 – Угол крена в первом испытании |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок №3 – Угол курса в первом испытании |

Хотя нас особо и не интересует угол крена всё же интересно понаблюдать за его поведением при разных вариантах комплексирования. Линейные скорости и ускорения бура в испытаниях правильные, так что не будем акцентировать на них внимание. Вновь отметим, что бур начинает двигаться по спирали, причем наклон её (тангаж) меняется. Отметим, что на бур в этом испытании преодолевает куда меньшее расстояние (примерно 10 метров), чем желаемое. Это происходит из-за того, что весомый вклад вносят ошибки акселерометров и гироскопов, ведь мы находим скорость по интегралу от показаний акселерометров, в которых изначально есть смещение нуля, а также со временем возникает ошибка, связанная с неправильным перепроецированием и рассчётом компенсационных ускорений. Большой вклад здесь вносит тот факт, что при ошибке по углу тангажа из показаний акселерометра X будет вычитаться неправильная проекция ускорения свободного падения. Судя по тому, что реальный угол тангажа в испытаниях растёт, ошибки гироскопов оказывают влияние на ошибку определения скорости по акселерометрам. Такой результат нас, конечно же, не устраивает.

Итак, посмотрим что будет, если использовать только одометр ():

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок №4 – Угол тангажа во втором испытании |
|  |
| |  | | --- | |  | | Рисунок №5 – Угол крена во втором испытании |  |  | | --- | |  | | Рисунок №6 - Угол курса во втором испытании | |
|  |

Здесь ошибки по углам кажутся более значительными, однако это происходит оттого, что здесь испытания шли на порядок дольше, ведь в этот раз длинна пройденного пути правильная (100м). Отметим, что угол тангажа и крена колеблются, причём частота этих колебаний со временем увеличивается. Угол курса монотонно уменьшается, что говорит нам о том, что бур движется по спирали. Так он делает примерно 23 витка. Отметим, что ошибки эти возникли в основном из-за ошибок гироскопов (длина пути посчитана правильно, но ориентация траектории слишком сильно отклоняется от заданной).

Используя только акселерометр получим следующие результаты:

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок №7 – Угол тангажа в третьем испытании |
|  |
| |  | | --- | |  | | Рисунок №8 – Угол крена в третьем испытании |  |  | | --- | |  | | Рисунок №9 - Угол курса в третьем испытании | |
|  |

По времени испытаний можно сделать вывод, что система совсем не выполняет поставленную перед ней задачу. С такими датчиками и алгоритмом управления можно получить только такие результаты, которые никак не соответствуют требованиям.

Попробуем сделать ещё одно испытание со следующими коэффициентами . Результаты в этом случае схожи с теми, что получились в испытаниях с единичными коэффициентами. Причина в том, что скорость, вычисленная по акселерометрам неограниченно растёт и становится на порядки больше чем скорость, определённая по одометру, поэтому изменение коэффициентов оказывает слабое влияние (всё равно в этом испытании бур преодолел чуть большее расстояние, но этого мало на фоне тех отклонений от заданной траектории, которые получились).

Теперь рассмотрим влияние ошибки начальной выставки. Будем раотать с идеальными датчиками, иначе мы врят ли сможем заметить её влияние на фоне тех ошибок, что возникают из-за инструментальных погрешностей.

Зададим ошибку определения угла тангажа равную 1°.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок №10 - Угол тангажа в четвертом испытании |
| |  | | --- | |  | | Рисунок №11 - Угол крена в четвертом испытании |  |  | | --- | |  | | Рисунок №10 - Угол курса в четвертом испытании | |

Как видно, ошибка определения угла тангажа серьёзно влияет на дальнейшую работу алогритма. Как на определение ориентации, так и на определение ускорений влияет эта ошибка, пожтому её необходимо минимизировать.

### Выводы

Были изучены особенности построения БИНС для целей подземной навигации, выявлены основные проблемы данной отрасли. Было промоделировано движение бура с различными источниками погрешностей. В ходе моделирования был оценен вклад каждого источника погрешности, проанализирован полученный результат. В ходе моделирования обнаружились проблемы с «наложением рамок» и влиянием быстрого вращения бура на точность системы. Моделирование показало, что ошибка управления, возникающая от вращения основания БИНС с угловой скоростью 180 °/с приводит к тому, что бур уходит от заданной ориентации линейно. За 1000 секунд работы ошибка по углу курса составила 14 °, по углу тангажа 2,5 °. Конечная точка находилась на расстоянии примерно в 6 метров от желаемой, что является неплохим результатом для некоторых задач, однако, нужно понимать, что датчики в этом испытании были идеальными и отсутствовала вибрация. В испытании с реальными, довольно грубыми, датчиками была получена сложная траектория движения бура. Бур стал двигаться по спирали, которая уменьшалась в диаметре с увеличением глубины. Наклон спирали (угол тангажа) также менялся, но его изменение носило колебательный характер. Колебания тангажа происходили вокруг значения, отличающегося от заданного угла тангажа примерно на 5 °. Амплитуда колебаний по тангажу также была в районе 5 °. В остальных испытаниях отклонения от заданных параметров траектории были нулевые. Отчасти это было связано с тем, что испытания проводились на небольшом промежутке времени и ошибки не успели проявиться из-за ограничений на минимальное управление. Были также обозначены проблемы связанные с алгоритмом управления буром.

### Список литературы

1. Чичинадзе М.В., Попов Г.В., Люсин Ю.Б. Подземная навигация проблемы и пути решения // Материалы VII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам (29-31 мая, 2000 г.). М., 2000. С. 97-99.
2. Заико А.И., Иванова Г.А. Интегрированная измерительная система для подземной навигации на базе феррозондов, акселерометров и гироскопов // ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
3. Матвеев В.В. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / Матвеев В.В., Распопов В.Я.— Санкт-Петербург, ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", 2009.—278 с.
4. Г.А. Иванова Интегрированная измерительная инклинометрическая система // Уфа : УГАТУ, 2013\
5. В. С. Шорин, В. Ю. Буров, В. Б. Никишин Исследование задач подземной ориентации и навигации с применением оптимальной фильтрации Калмана // ЗАО «Газприборавтоматикасервис», г. Саратов, Саратовский государственный технический университет.