

# 09, сентябрь 2015

УДК 629.7.05

## **Влияние вибраций на выходные характеристики БИНС на микромеханических датчиках**

*Дегтярёв И. О., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы и приборы ориентации, навигации и стабилизации»  
Россия, 127018, г. Москва, АО «ЦНИИ Автоматики и Гидравлики»*

*Зиновьев П. Д., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы и приборы ориентации, навигации и стабилизации»  
Россия, 127018, г. Москва, АО «ЦНИИ Автоматики и Гидравлики»*

*Измайлов-Перкин А. В., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы и приборы ориентации, навигации и стабилизации»  
Россия, 127018, г. Москва, АО «ЦНИИ Автоматики и Гидравлики»*

*Научный руководитель: Шевцова Е.В., к.т.н.  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы и приборы ориентации, навигации и стабилизации»  
[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

### **1. Сравнение платформенных и бесплатформенных ИНС**

При работе в реальных условиях эксплуатации на инерциальную навигационную систему (ИНС) действуют вибрации и ударные воздействия. В платформенных ИНС чувствительные элементы (ЧЭ) и часть электроники находятся на платформе трехосного гиростабилизатора (ГС), который парирует вибрации основания. В связи с этим возможно создание прецизионных платформенных инерциальных навигационных систем, в качестве ЧЭ на которых используются высокоточные дорогостоящие акселерометры и гироскопы, на работоспособность которых могли бы повлиять интенсивные внешние возмущения.

Противоположная ситуация возникает при использовании бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС). ЧЭ жестко связаны с корпусом БИНС, который в свою очередь закреплен непосредственно на движущемся объекте и

ориентирован по его строительным осям. Отсутствие платформы, развязанной от основания по угловым перемещениям и обеспечивающей ослабление внешних возмущений, приводит к тому, что все механические воздействия, оказываемые на движущийся объект, в такой же мере действуют и на сами ЧЭ БИНС. Это приводит к тому, что возникают дополнительные ошибки навигации и ориентации.

Из выше сказанного следует актуальность поставленной в данной работе задачи, а именно, качественной оценки влияния широкополосной случайно вибрации (ШСВ) на выходные параметры БИНС.

Исследуемой системой являлась БИНС на основе инерциального измерительного блока (ИИБ) АИСТ-350 на микромеханических датчиках. Данная система была выбрана, потому что БИНС на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) отличаются относительно невысокой стоимостью и доступностью на рынке.

## **2. Влияние вибраций в автономном режиме**

Для оценки влияния вибраций необходим эталонный сигнал. Так как отсутствует возможность использования высокоточных БИНС ввиду их дороговизны, необходимо получить более точные параметры путем коррекции сигнала исследуемой БИНС. Существуют различные методы улучшения выходных параметров ИИБ данного класса. В АИСТ-350 приборе предусмотрена синхронизация выходных пакетов данных прибора со стандартным PPS сигналом GPS/GLONASS приемников для работы в гибридных навигационных системах, что должным образом увеличивает точность выходных параметров. Поэтому в роли эталонного сигнала выбрана комплексированная система БИНС/GPS.

В основе БИНС данной категории лежат низкоточные микромеханические датчики. У них большой собственный дрейф и большой разброс параметров от включения к включению, в результате чего возникают ошибки углов ориентации и координат. Особенно это проявляется при вибрациях, что наглядно можно увидеть из графиков сравнения сигналов на неподвижном и подвижном объектах при автономном режиме работы системы (рис. 1-4).

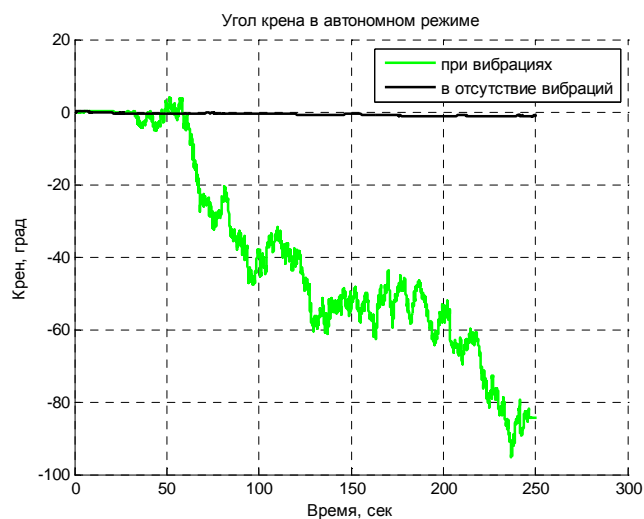


Рис. 1. Угол крена в автономном режиме в покое и при вибрациях

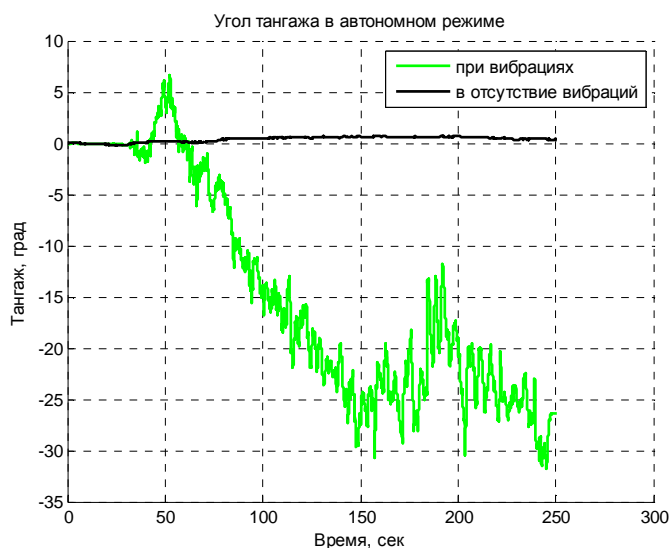


Рис. 2. Угол тангажа в автономном режиме в покое и при вибрациях

При работе БИНС происходит нарастание скорости накопления ошибки по координатам и уходу по углам ориентации. На неподвижном основании через 4 минуты скорость изменения координат составила примерно 20 м/с, а на движущемся объекте, находящемся под воздействием случайной вибрации широкого спектра, около 1000 м/с, тогда как скорость объекта была постоянна и составляла всего 1,1 м/с. Ошибка по углам в состоянии покоя, в ходе всего эксперимента, не превышала 1,5°. При движении угловое положение объекта может изменяться на неровностях местности. Поэтому, для того чтобы судить об ошибке углов ориентации, в конце эксперимента было решено воссоздать первоначальную ориентацию объекта, закончив движение в точке старта. В результате, значения углов составили 85°-угол крена и 25°-угол тангажа, что можно считать уходом углов ориентации. Наличие столь больших ошибок параметров ориентации и навигации

говорит о невозможности использования БИНС на микромеханических ЧЭ автономно длительное время в условиях вибраций.

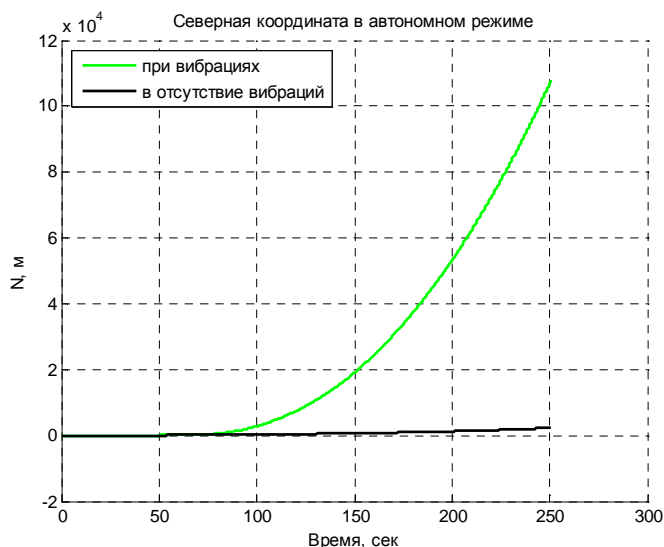


Рис. 3. Северная координата в автономном режиме в покое и при вибрациях

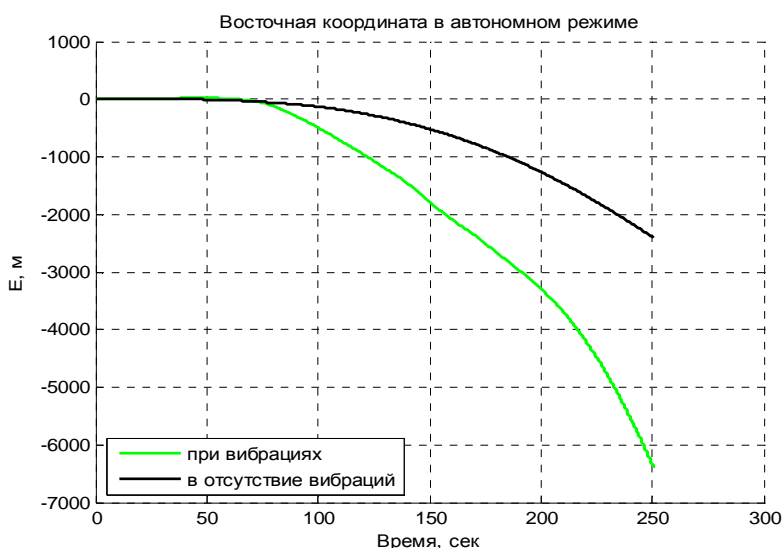


Рис. 4. Восточная координата в автономном режиме в покое и при вибрациях

### 3. Корректируемая БИНС

По сигналам с прибора, находящегося в состоянии покоя (рис. 5а, 6а, 7а, 8а), заметно, что ошибки углов ориентации и координат, благодаря коррекции от СНС, остаются невелики и колеблются около нуля.

Для качественной оценки ошибок БИНС, находящейся в движении, необходимо исключить из общих исследуемых параметров составляющие фактических значений углов и координат. Таковыми можно считать сигналы с эталонной системы БИНС/GPS. Как видно из графиков (рис. 5б, 6б, 7б, 8б) реальные изменения параметров знакопеременны и

составляют лишь малую часть от выходных сигналов, то есть качественно на выходной сигнал они не влияют, для дальнейшего анализа можно ими пренебречь. Сопоставив графики выходных параметров покоящейся автономной БИНС, которые можно считать собственными уходами прибора, с сигналами объекта в движении, можно оценить величину ошибки, возникающую в результате вибраций.

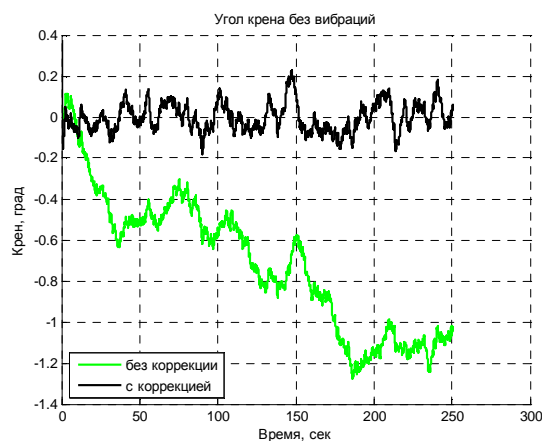


Рис. 5а. Угол крена автономной и корректируемой покоящейся БИНС

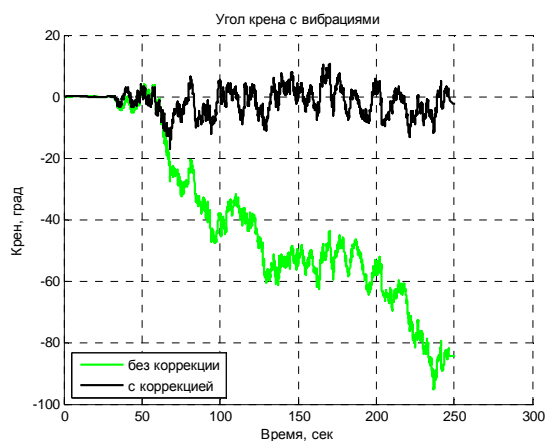


Рис. 5б. Угол крена автономной и корректируемой БИНС при воздействии ШСВ

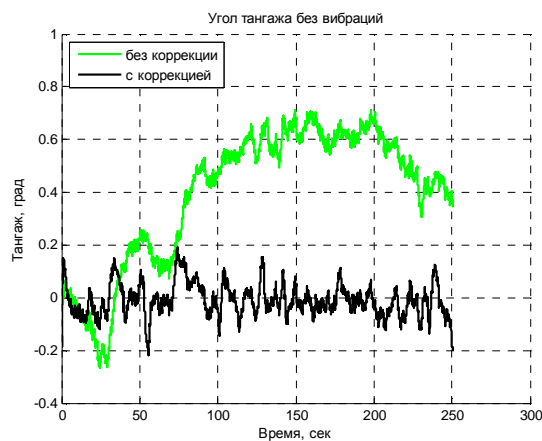


Рис. 6а. Угол тангажа автономной и корректируемой покоящейся БИНС

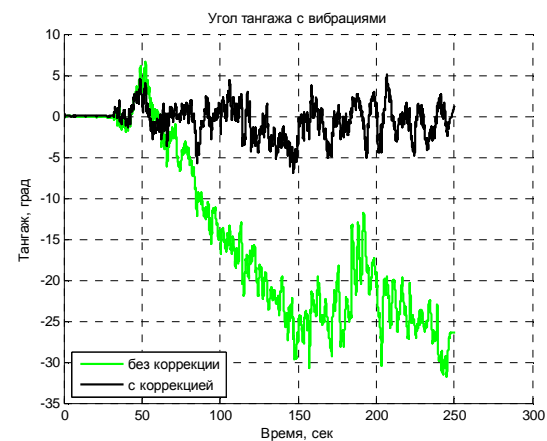


Рис. 6б. Угол тангажа автономной и корректируемой БИНС при воздействии ШСВ

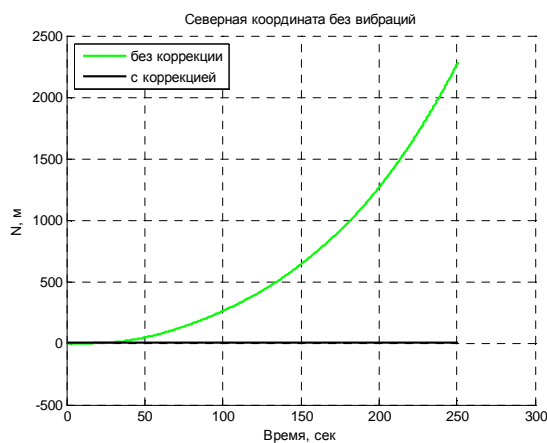


Рис. 7а. Северная координата автономной и корректируемой покоящейся БИНС

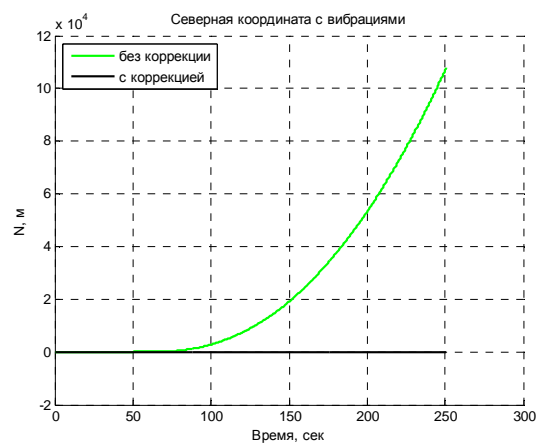


Рис. 7б. Северная координата автономной и корректируемой БИНС при воздействии ШСВ

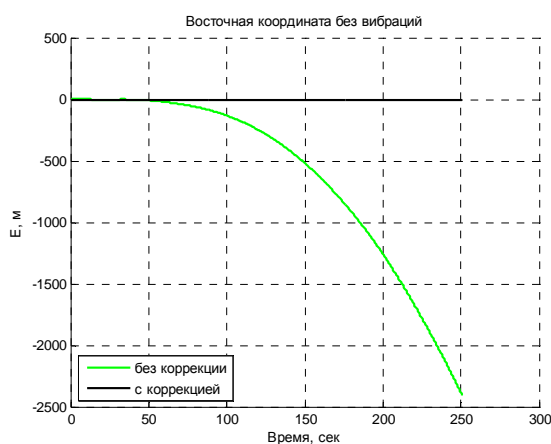


Рис. 8а. Восточная координата автономной и корректируемой покоящейся БИНС

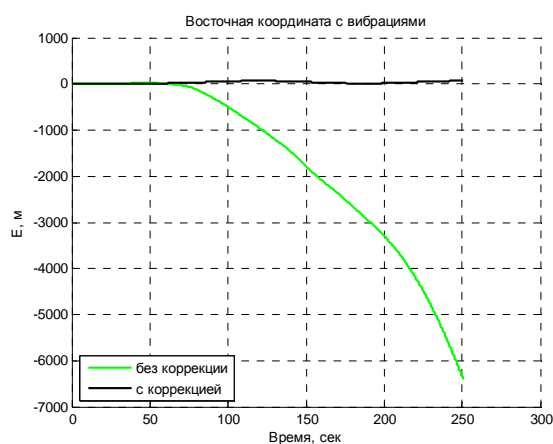


Рис. 8б. Восточная координата автономной и корректируемой БИНС при воздействии ШСВ

#### 4. Закономерность выходных ошибок от интенсивности вибраций

Было решено проанализировать поведение выходных параметров, а именно углов ориентации, при изменении интенсивности вибрации, в зависимости от покрытия. Для определения разброса составляющей ошибки выходных параметров был получен разностный сигнал между автономной БИНС и БИНС, корректируемой от GPS, и найдена его дисперсия. После линейной аппроксимации зависимостей дисперсий выходных величин от дисперсий сигналов с акселерометров и гироскопов на различных покрытиях (рис. 9а, 9б), можно заметить, что выходные ошибки будут возрастать с увеличением интенсивности вибраций, что вполне закономерно.

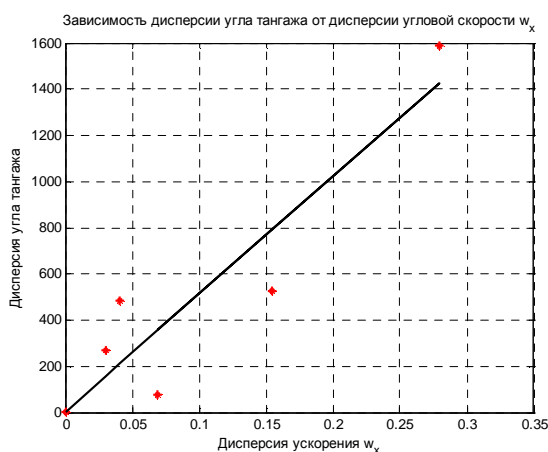


Рис. 9а. Зависимость дисперсии угла тангажа от дисперсии угловой скорости по продольной оси

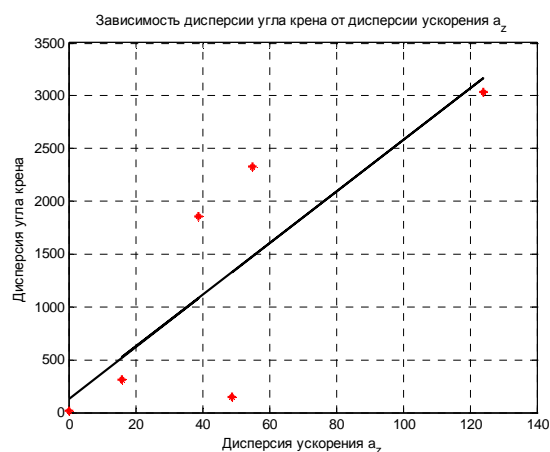


Рис. 9б. Зависимость дисперсии угла крена от дисперсии ускорения по вертикальной оси

### Заключение

При решении навигационных задач БИНС часто подвергается различного рода вибрациям. Из анализа погрешностей автономной БИНС видно, что составляющая ошибки от воздействия вибраций превосходит собственный уход прибора в десятки раз, причем ошибка тем больше, чем выше интенсивность возмущающих воздействий. Из этого можно сделать вывод о необходимости использования виброзащиты (виброизоляции) для повышения точности выходных параметров системы.

### Список литературы

1. Дегтярёв И.О., Зиновьев П.Д., Измайлов-Перкин А.В. Качественный анализ воздействия вибраций на микромеханические инерциальные датчики // Молодежный научно-технический вестник. Электрон. журн. № 08. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/800058.html> (дата обращения 31.08.2015).
2. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. В 2 ч. Ч. 1. Введение в теорию оценивания. 2-е изд., исправлен. и дополнен. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010. 509 с.
3. Salychev O.S. Applied Inertial Navigation: Problems and Solutions. М.:BMSTU Press, 2004, 304 p.
4. Библиотека технической документации к изделиям компании ООО «Айсенс». Режим доступа <http://www.isense.ru/materialyi/> (дата обращения 20.11.2014).