

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО Генерального директора



АО «ИТТ»

Бахонин К.А.

6 2017 г.

## ОТЗЫВ

**ведущей организации АО «Инерциальные технологии  
«Технокомплекс» на диссертационную работу Васинёвой Ирины  
Алексеевны «Калибровка бескарданной навигационной системы в сборе  
на точных стендах», представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.02.01 - теоретическая механика.**

Актуальность темы. Важнейшей технологической задачей при изготовлении навигационных систем является определение систематических параметров инструментальных погрешностей блока акселерометров и блока датчиков угловой скорости с целью их последующей компенсации в рабочих режимах функционирования БИНС. Качество и точность проведенной калибровки определяют точностные характеристики навигационной системы. В настоящее время на предприятиях, занимающихся разработкой навигационной систем, предложены и реализованы различные методики калибровки БИНС.

Одна из широко используемых в настоящее время методик калибровки разработана лабораторией управления и навигации мехмата МГУ, основу которого составляет специальный план угловых движений стенда, когда платформа стенда, на котором устанавливается БИНС в сборе, совершает определенный тип вращательных движений. Исходной информацией для калибровки служат собственные показания акселерометров и ДУС. Особенностью методики является отсутствие жестких требований к задаваемым программно движениям стенда ввиду того, что внешняя информация о движении стенда непосредственно не участвует в алгоритмах обработки информации для оценивания калибровочных параметров.

Актуальность темы диссертации заключается в повышении точности и сокращении времени калибровки за счёт использования информации от стенда. Практической ценностью работы является проведение калибровки системы в сборе.

Новизна полученных в диссертационной работе результатов. Диссертация посвящена разработке методов калибровки бескарданных инерциальных навигационных систем (БИНС) в сборе на специализированных высокоточных наклонно-поворотных стендах (НПС), в том числе с привлечением информации стенда. Диссертация Васинёвой Ирины Алексеевны является продолжением исследований лаборатории МГУ по калибровке БИНС в сборе с использованием информации от точного наклонно-поворотного стенда. Особенностью работы заключается в использовании дополнительной информации об угловом положении платформы стенда. Работа, содержит математическое описание задачи, включающее в себя вывод уравнений, описывающих поведение параметров модели, ее линеаризацию и вывод соотношений, описывающих корректирующие измерения. При этом в состав оцениваемых параметров включаются инструментальные погрешности стенда и параметры несинхронности получаемой от стенда информации. Задача калибровки при этом сводится к оценке вектора состояния с использованием фильтра Калмана.

В работе проводится детальный аналитический анализ наблюдаемости, позволивший выделить комбинации оцениваемых параметров. Потенциальная точность решения задачи калибровки подробно исследуется методом ковариационного анализа. При этом учитывается следующая многовариантность: калибровка на одностепенном или двухстепенном стенде, разные способы введения начальных условий и т.д. Также значимым рассмотренным вопросом являлась калибровка при помощи выходной навигационной информации БИНС.

Новизной работы является проведение сравнения с калибровкой при помощи первичной информации на грубых стендах, когда информация о параметрах вращения стенда отсутствует. Построен алгоритм калибровки при помощи вторичной информации на грубых стендах, что дополняет ранее проведенные исследования задачи калибровки на грубых стендах.

Работоспособность и точность предложенных алгоритмов калибровки подтверждены экспериментальными работами на специализированном точном стенде с серийной БИНС.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов. В качестве основных значимых результатов диссертационной работы можно выделить следующие:

- калибровка на точных стендах на основе разработанных автором диссертации методик заметно повышает ее точность по сравнению с известными автору способами;
- калибровка по вторичной информации незначительно ухудшает точность калибровки по первичной информации и является допустимой;
- предложенные методы являются универсальными и проведение соответствующих калибровочных экспериментов не требует больших временных затрат;

- разработаны алгоритмы калибровки, позволяющие осуществлять калибровку с высокой точностью.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

К основным результатам, которые могут быть рекомендованы для дальнейшего использования, можно отнести следующие:

1. Методику калибровки БИНС на точных стендах.
2. Методику сравнительного анализа численных результатов калибровки БИНС.

Научные коллективы, в которых могут быть использованы и развиты результаты диссертации. Результаты данной диссертационной работы могут быть использованы и развиты в научных организациях и предприятиях приборостроительного, машиностроительного и авиационно-космического профилей, занимающихся исследованием и проектированием систем ориентации и наведения подвижных объектов.

К таким предприятиям могут быть отнесены: АО «МИЭА», ФГУП «ГосНИИАС», АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», АО «Инерциальные технологии «Технокомплекса», АО «ЦНИИАГ», филиал ФГУП «ЦЭНКИ»-«НИИПМ им. академика В.И. Кузнецова», АО «ПНППК».

Отдельные фрагменты диссертации могут быть использованы в образовательном процессе.

Диссертационная работа, включая проведённый автором обзорный анализ, теоретические и экспериментальные исследования, в целом представляет собой завершённую научную работу со значимыми для науки и производства результатами.

Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в печати. Основные положения и результаты диссертации доложены и обсуждены на 5-ти конференциях.

В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

- ряд значимых результатов работы не достаточно объёмно отражен в выводах. Например, в главе 3 показано, что приемлемая точность калибровки достигается за счет увеличения длительности калибровочных экспериментов. Однако в выводах не отражено, какой из алгоритмов калибровки позволяет точнее откалибровать БИНС.

- в работе в малом объёме предоставлены результаты калибровочных экспериментов навигационных систем;

- присутствует ряд опечаток и неточностей в формулировках.

В целом, представленные замечания не снижают ценности диссертационной работы. Результаты работы могут быть использованы на предприятиях, занимающихся разработкой навигационных систем.

Содержание работы достаточно полно отражено в автореферате, выполненном в соответствии с необходимыми требованиями.

Содержание работы соответствует специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

Рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения ВАК РФ о присуждении учёных степеней»,

предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Васинёва Ирина Алексеевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - теоретическая механика.

Материалы диссертации и отзыв коллективно обсуждены и одобрены на НТС АО «ИТТ» 31 мая 2017г.

Заместитель Генерального директора  
по научной работе, д.т.н.  
Телефон: +7 (496) 464-07-07  
E-mail: itt@inertech.ru

  
5.06.17

Редькин С.П.

Главный конструктор по  
алгоритмам и ПО, к.т.н.  
Телефон: +7 (496) 464-07-02, +79265953208  
E-mail: al\_nekrasov@mail.ru

  
5.06.17

Некрасов А.В.