

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.03

**Соискатель:** Наумченко Владислав Павлович

**Тема диссертации:** Разработка алгоритма определения начальной ориентации инерциальных измерительных блоков

**Специальность:** 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 04 декабря 2025 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Наумченко Владиславу Павловичу ученую степень кандидата технических наук.


**Присутствовали:** председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников, А.И. Болкунов, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.В. Ефремов, С.Ю. Желтов, К.А. Занин, Д.А. Козорез, М.С. Константинов, А.В. Ненарокомов, С.Н. Падалко, В.Г. Петухов, Г.Г. Райкунов, К.И. Сыпало, Ю.В. Тюменцев.

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.2.327.03, д.т.н., доцент

Проректор по научной работе, д.т.н., доцент



  
\_\_\_\_\_ А.В. Старков

  
\_\_\_\_\_ А.В. Иванов

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.03**

созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
(МАИ)

**по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 04.12.2025 г., протокол № 29

О присуждении **Наумченко Владиславу Павловичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка алгоритма определения начальной ориентации инерциальных измерительных блоков» по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки) принята к защите «02» октября 2025 г., протокол № 15, диссертационным советом 24.2.327.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт), 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

**Соискатель**, Наумченко Владислав Павлович, «13» апреля 1998 года рождения. В 2021 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами» (диплом специалиста с отличием 107718 1200680, регистрационный номер 2021/3О-0635Д от 06 июля 2021 г.). В 2025 году окончил обучение в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» (диплом об окончании аспирантуры 107733 0004783, регистрационный номер 2025/6А-0470Д от 07 июля 2025 г.).

В период подготовки диссертации соискатель Наумченко Владислав Павлович работал в филиале акционерного общества «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» - «Научно-исследовательский институт прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова» (Филиал АО «ЦЭНКИ» - «НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова») в должности ведущего



инженера отдела 105 отделения 10 (Инерциальных приборов и датчиков). В настоящее время соискатель Наумченко Владислав Павлович работает в филиале АО «ЦЭНКИ»-«НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова» в должности ведущего инженера отдела 105 отделения 10 (Инерциальных приборов и датчиков).

Диссертация выполнена в МАИ на кафедре 604 «Системный анализ и управление» института №6 «Аэрокосмический».

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры 604 «Системный анализ и управление» МАИ, Малышев Вениамин Васильевич.

**Официальные оппоненты:**

1. Фоминов Иван Вячеславович – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, начальник кафедры 21 (Автономных систем управления ракет-носителей и космических аппаратов) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации.

2. Николаев Михаил Викторович – гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, начальника отдела гироскопических приборов систем управления изделий ракетно-космической техники Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения».

Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** «Инерциальные технологии «Технокомплекса» (АО «ИТТ»), 140108, Московская область, г. Раменское, ул. Михалевича, д. 39, корп. 3, эт/пом 3/74, в своем положительном отзыве, рассмотренном и одобренном на заседании научно-технического совета предприятия (протокол № Пт-1/25-ОНТИ от 13.11.2025 г.), подписанном заместителем руководителем отдела, кандидатом технических наук И.Х. Шаймардановым, директором по научной работе, ученым секретарем НТС, кандидатом технических наук А.В. Некрасовым и утвержденным генеральным директором Е.В. Бабаевым, указала, что тема и содержание диссертации соответствуют специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки), диссертация В.П. Наумченко является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи, имеющей важное прикладное значение для ракетно-космической отрасли и, на основании изложенного рецензируемая работа «Разработка алгоритма определения начальной ориентации инерциальных измерительных блоков» удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Наумченко Владислав Павлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.



Соискатель имеет 31 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации 26 работ, включающих 9 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки РФ, из которых 4 соответствуют специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки). Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

**Статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК, соответствующие специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки):**

1. Наумченко В.П., Илюшин П.А., Пикунов Д.Г., Соловьёв А.В. Оптимизационный подход к начальной выставке платформенной инерциальной системы при воздействии шумов // «Вестник Московского авиационного института». 2023. Т. 30. № 2. С. 158-168. DOI: 10.34759/vst-2023-2-158-168 (Категория К1, 8 с. авт., №561 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).

Личный вклад автора заключается в формулировке концепции алгоритма выставки, составлении математических моделей, проведении расчетов по влиянию шумов измерений и математическом моделировании алгоритма выставки с учетом шумов измерений.

2. Наумченко В.П., Илюшин П.А., Пикунов Д.Г., Соловьёв А.В. Обработка показаний инерциальных приборов на унифицированном программно-математическом комплексе // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Том 195. №4 2023. С. 8-16. (Категория К2, 7 с. авт., №1003 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).

Личный вклад автора заключается в оценке влияния инструментальных погрешностей гироскопов и акселерометров на точность решения задачи навигации, составлении математических моделей измерений датчиков и методики их калибровки, написании структуры программно-математического комплекса для расчета результатов калибровки датчиков и его реализации на языке программирования Python3.

3. Наумченко В.П. Зависимость параметров выведения РКН на орбиту от начальной выставки платформенной инерциальной системы // «Вестник Московского авиационного института». 2024. Т. 31. № 4. С. 185-196. (Категория К1, 12 с., №561 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).

4. Наумченко В.П. Расчетно-экспериментальная оценка оптимизационного алгоритма начальной выставки инерциальной платформы // Инженерный журнал: наука и инновации, 2025, вып. 5 (161). EDN JDMYRY. (Категория К2, 15 с., №1399 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).



**Статьи по теме диссертационной работы в других рецензируемых журналах из перечня ВАК:**

1. Наумченко В.П. Современный подход построения алгоритма начальной выставки инерциальных навигационных систем платформенного класса // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2022, № 9, С. 51-59. (Категория К2, 9 с., №1597 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).

2. Наумченко В.П., Илюшин П.А., Пикунов Д.Г., Соловьёв А.В. Оценка Влияния шумов инерциальных датчиков на точность выставки гиropлатформы // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». 2022;11(6):425-441. <https://doi.org/10.26583/vestnik.2022.16>. (Категория К2, 14 с. авт., №610 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).

Личный вклад автора заключается в составлении математических моделей измерений акселерометров и гироскопов, приведении конфигурации типовых шумов измерений и оценка их влияния на задачу выставки, составлении модели начальной выставки, проведении и анализе моделирования с учетом шумов измерений.

3. Илюшин П.А., Наумченко В.П., Пикунов Д.Г. Анализ оптимального исполнения системы амортизации бесплатформенного измерительного прибора при помощи модифицированного метода роя частиц // «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы». 2024, том 11, выпуск 3, с. 91–103. (Категория К2, 4 с. авт., №2376 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).

Личный вклад автора заключается в участии в составлении модели и скалярного критерия для поиска оптимального решения среди значительного объема результатов моделирования работы системы амортизации, а также в построении Парето-фронтов для характерных пар параметров.

4. Илюшин П.А., Наумченко В.П., Пикунов Д.Г. Анализ системы амортизации инерциального прибора как решение задачи многокритериальной оптимизации // «Труды МФТИ». Том 16, №3(63). 2024. с. 105-117. (Категория К2, 4 с. авт., №2821 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).

Личный вклад автора заключается в построении Парето-фронтов при исследовании взаимосвязи критериев оптимизации, а также в сведении многокритериальной задачи к однокритериальной.

5. Илюшин П.А., Наумченко В.П., Пикунов Д.Г. и др. Анализ влияния погрешностей начальной выставки и конечной жесткости конструкции на показания бесплатформенной инерциальной навигационной системы с внутренней системой амортизации и демпфирования // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2025, № 1 (150), с. 91--112. EDN: XKXQJW (Категория К2, 6 с. авт., №574 в перечне ВАК по состоянию на 01.07.2025 г.).



Личный вклад автора заключается в оценке влияния погрешности начальной выставки на точность работы бесплатформенной инерциальной навигационной системы при наличии внутренней системы амортизации, проведении моделирования алгоритма начальной выставки.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

**На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:**

**1) Акционерное общество «Инерциальные технологии «Технокомплекса», ведущая организация. Отзыв положительный.**

В то же время по автореферату и диссертации имеются не снижающие ценности работы замечания:

1. Не приведено сравнение по точности и времени проведения предложенных алгоритмов выставки с используемыми в настоящее время.

2. Не описаны ограничения применимости предложенных методов и алгоритмов в условиях внешних воздействующих факторов.

3. Для практического применения БИНС с вращающимся БЧЭ необходимо дополнительное исследование.

**2) Фоминов Иван Вячеславович, официальный оппонент, доктор технических наук, профессор. Отзыв положительный, заверен начальником отдела кадров ВКА имени А.Ф. Можайского Г. Плотниковым.**

Замечания и недостатки:

1. В работе и автореферате не приводятся формализованные постановки общей и частных задач исследования, что затрудняет оценить правильность принятия методов и подходов к их решению.

2. В актуальности работы автор правомерно указывает, что задача начальной выставки ИНС заключается в определении начальных углов рассогласования приборной системы координат ИНС относительно географической системы координат. Однако, в работе приводятся результаты моделирования, показывающие результат совмещения связанной системы координат с географической, что не соответствует ранее поставленной задаче.

3. К сожалению, в работе и автореферате не приводятся характеристики точности чувствительных элементов БИНС, подлежащих оцениванию путем полунатурного моделирования, а также отсутствуют исходные данные для проведения математического моделирования.

4. Предложенная конструктивная особенность БИНС с вращающимся блоком чувствительных элементов оказывает влияние на надежность и точность начальной выставки. Однако автором не приводятся требования к точности углового движения и надежности функционирования такой БИНС.



5. Представленные результаты оценивания влияния погрешностей начальной выставки ИНС на точность выведения космического аппарата на орбиту получены на основе упрощенной модели движения ракеты-носителя, не учитывающей способность системы терминального управления уменьшать некоторые погрешности, в том числе, начальной выставки.

**3) Николаев Михаил Викторович**, официальный оппонент, кандидат технических наук. **Отзыв положительный**, заверен главным ученым секретарем АО «ЦНИИмаш», д.т.н. В.Ю. Ключниковым.

К сожалению, диссертационная работа не лишена некоторых недостатков:

1. Математическая модель инерциальных датчиков, представленная формулами (1.2.1) - (1.2.3), не содержит зависящих от перегрузок составляющих, что ограничивает применение разработанных алгоритмов для высокоманевренных объектов.

2. В главе 2 излагается концепция обобщенной начальной выставки, в основе которой лежит изображенная на рисунке 2.1.2 функциональная схема ИНС с ГСП. В то же время функциональная схема БИНС с вращающимся БЧЭ отсутствует, что не позволяет определить для какого варианта: ИНС на базе ГСП или ИНС с вращающимся БЧЭ, разработанные алгоритмы начальной выставки наиболее эффективны.

3. Не представлен сравнительный анализ габаритно-массовых характеристик БИНС с вращающимся БЧЭ в сравнении с традиционными БИНС и ИНС на основе ГСП.

4. Отсутствуют требования к техническим характеристикам (быстродействие, требуемый дополнительный объем памяти) центрального вычислительного модуля (ЦВМ), являющегося составной частью функциональной схемы ИНС и выполняющего обработку информации измерителей при градиентном методе начальной выставки и калибровки ИНС с ГСП и БИНС с вращающимся БЧЭ.

5. В диссертационной работе употребляется термин «докалибровка», которому необходимо было бы дать определение. При отсутствии такого определения не совсем понятно, какой смысл автор в него вкладывает.

**4) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук**, отзыв на автореферат.

**Отзыв положительный**, подписан заведующим Лабораторией «Адаптивных и робастных систем им. Я.З. Цыпкина», д.ф.-м.н., профессором РАН М.В. Хлебниковым, заверен вед. инженером Л.Л. Заложневой.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. В автореферате не пояснено, из каких соображений в качестве основы построения алгоритма выставки принят именно метод градиентного спуска.



2. Для повышения помехоустойчивости алгоритма автор применяет метод сканирования в роли второго каскада в окрестности экстремума. При этом вновь не пояснено, почему выбран именно этот метод, а не, например, метод Флетчера-Ривса или Полака-Рибьера.

3. В автореферате не указана точность фиксации арретирующего устройства БЧЭ в БИНС с вращающимся БЧЭ, хотя она может вносить значительный вклад в точность выставки и навигации.

4. Приведенные в табл. 2 результаты моделирования, соответствующие разным вариантам алгоритма, имеют разное количество значащих цифр.

5. Наконец, автореферат содержит небольшое количество неизбежных стилистических неточностей и опечаток («числитель шага» (стр.9), «левое уравнение» (стр.10), «модель [...] имеют вид» (стр.11) и др.).

**5) Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения», отзыв на автореферат.**

**Отзыв положительный**, подписан начальником отдела навигационных приборов и систем Д.А. Рябовым, ученым секретарем НТС предприятия, к.ф.-м.н. Л.С. Точиловым и начальником группы отдела навигационных приборов и систем Д.С. Ветохиным. Отзыв утвержден советником генерального конструктора, к.т.н., Лауреатом премии Правительства РФ А.И. Бурганским. Отзыв рассмотрен и одобрен на секции №4 НТС предприятия, протокол №10 от «05» ноября 2025 г.

По материалам автореферата диссертации могут быть сделаны следующие замечания:

1. В качестве основы построения алгоритма выставки выступает метод градиентного спуска, однако в тексте автореферата не представлено обоснование выбора указанного метода, описание его преимуществ по отношению к другим методам.

2. Не представлено обоснование выбора фильтра шумов измерений – фильтр нижних частот, описание его преимуществ перед фильтрами Калмана или Люенбергера.

3. В ходе эксперимента применялись показания, шумы которых преимущественно белые, что видно из рисунка 9, но не отражены результаты при условиях негаусовских шумов.

4. Отсутствует сравнительный анализ габаритно-массовых характеристик БИНС с вращающимся БЧЭ в сравнении с традиционными БИНС.

**б) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», отзыв на автореферат.**



**Отзыв положительный**, подписан доцентом кафедры ИУ-2 МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н. В.П. Подчерзцевым, заверен специалистом по персоналу И.О. Поваляевой.

К недостаткам автореферата можно отнести следующее:

1. Модель (1) на стр. 7 предполагает отсутствие составляющих погрешности измерителей угловой скорости от действующих ускорений, но практически все математические модели датчиков угловой скорости включают в себя зависимости ускорений.

2. Нет анализа требований к дискретности разворота платформы БИНС, уровню вибраций и угловым колебаниям места проведения предстартовой калибровки.

3. Отсутствует оценка влияния в полевых условиях точности исходной ориентации оси вращения системы разворота платформы БИНС относительно географической системы координат и скорости её разворота на точность алгоритма выставки.

4. Не предъявлены требования к точности расположения оси системы разворота платформы относительно измерительных осей акселерометров и гироскопов, а эти требования влияют на формулы пересчета связанной системы координат и географической (9) на стр. 11.

**7) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»**, отзыв на автореферат.

**Отзыв положительный**, подписан заведующим кафедрой робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, д.т.н., профессором И.В. Меркурьевым, заверен заместителем начальника управления по работе с персоналом Л.И. Полевой.

Замечания по автореферату следующие:

1. В тексте автореферата недостаточно полно представлен сравнительный анализ различных подходов к построению алгоритмов начальной выставки.

2. Недостаточно подробно описан метод статистической оптимизации.

3. По тексту имеются редакционные замечания.

**8) Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации**, отзыв на автореферат.

**Отзыв положительный**, подписан доцентом кафедры баллистики, систем управления и подготовки данных, к.т.н. С.В. Сеницыным, начальником кафедры баллистики, систем управления и подготовки данных, к.т.н. А.В. Таныгиным. Отзыв утвержден заместителем начальника Военной академии РВСН имени Петра Великого по учебной и научной работе, генерал-майором М. Рябченко.



Отмечая достоинства работы, хотелось бы указать на ряд недостатков:

1. В автореферате не указано, что перенастройка коэффициентов усиления каналов в контуре стабилизации платформы может привести к неустойчивости системы, однако условия, при которых это произойдет, не указаны.

2. Из текста автореферата не вполне ясно, в каком ключе автор использует термин «вариативность» по отношению к процедуре выставки.

3. В автореферате приведены результаты моделирования и сравнения предложенных автором однокаскадного и двухкаскадного алгоритмов выставки ИНС с ГСП и БИНС с вращающимся БЧЭ, при этом отсутствуют сравнительные оценки предложенных результатов с ранее известными.

4. В формулировке одного из положений, выносимых на защиту, автор указывает, что алгоритмы предлагаются для начальной выставки, одноосных, двухосных и трехосных платформ, но далее по тексту автореферата все выкладки касаются только трехосной ГСП.

**9) Московское опытно-конструкторское бюро «Марс» – филиал федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», отзыв на автореферат.**

**Отзыв положительный,** подписан начальником отдела 9242, к.т.н. И.В. Соловьевым, заверен научным руководителем МОКБ «Марс», д.т.н. В.Н. Соколовым.

К недостаткам автореферата можно отнести следующее:

1. Не приведены особенности и ограничения применения разработанных алгоритмов и методов в условиях внешних возмущающих факторов (вибрация, изменение температуры посадочных поверхностей датчиков).

2. Не представлены характеристики инерциальных датчиков, используемых в полунатурном и математическом моделировании.

3. Не совсем понятен смысл термина «вариативность» алгоритма.

4. Имеются погрешности в оформлении текста автореферата, грамматические и стилистические ошибки.

**10) Акционерное общество «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова», отзыв на автореферат.**

**Отзыв положительный,** подписан главным специалистом Е.А. Кокшаровым, генеральным конструктором А.В. Зорихиным. Отзыв утвержден исполняющим обязанности генерального директора АО «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова» В.В. Моревым.

В качестве недостатков автореферата диссертации необходимо отметить следующее:

1. Не представлены результаты анализа состояния разработки темы выставки и калибровки ИНС с ГСП к началу работы над ней (2022 г.) автора и оценки уровня



разработок других предприятий, причем в схемах, не предполагающих решение дифференциальных уравнений (НПЦ АП, МОКБ «Марс» + НИИКП, НПОА + НПОЭ).

2. Не соответствует реальности положения о точном знании ориентации БЧЭ в РКН на СП. Точное знание возможно только на стендах предприятий – разработчиков БЧЭ.

3. Не отражены результаты изменения характеристик точности алгоритмов выставки при работе системы в условиях эксплуатации, в частности, колебаний изделия из-за ветровых возмущений, нестабильности инструментальных ошибок на участке выставки.

4. Не приведены оценки влияния на точность «докалибровок» БИНС из-за ошибки привязки к ЧЭ нуля датчика команд на оси вращения БЧЭ, а также погрешностей ориентации этой оси в трехграннике ЧЭ.

5. Не правомерно включать в число оцениваемых параметров азимутальный угол, поскольку скалярный критерий является инвариантным по отношению к этому углу. Как результат, наблюдается неустойчивость оценок по алгоритмам ВМНК и ЛВМ.

6. Не обоснован выбор весовых коэффициентов в смешанном критерии «вариативного выбора» того или иного из предложенных алгоритмов начальной выставки. В реальных технических системах предстартовая выставка производится по единственному алгоритму. Применение иных алгоритмов возможно только на технической позиции проверки изделия или на предприятии – изготовителе прибора, о чем, собственно, и свидетельствует акт НИИПМ о внедрении на стенде.

7. Оценка точности выведения ограничена рассмотрением только координат. Ошибки по скоростям остались без внимания. Оценку точности формирования круговой орбиты необходимо проводить через оценки апогея, перигея и наклона орбиты.

**11) Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики», отзыв на автореферат.**

**Отзыв положительный**, подписан главным научным сотрудником, д.т.н., профессором Н.А. Зайцевой, заверен ученым секретарем диссертационного совета, к.т.н., с.н.с. О.Б. Кербером.

В качестве замечаний следует отметить:

1. Из автореферата не понятно, почему выбран метод градиентного спуска в качестве построения алгоритма выставки.

2. Почему роль фильтрации шумов измерений выпадает на фильтр нижних частот, а не на фильтр Калмана?



**12) Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики», отзыв на автореферат.**

**Отзыв положительный**, подписан начальником отдела АО «ЦНИИАГ», к.т.н. С.В. Смирновым. Отзыв утвержден генеральным директором и главным конструктором АО «ЦНИИАГ» А.Б. Шаповаловым.

Вместе с тем, к автореферату имеются следующие замечания:

1. Не представлен математический аппарат алгоритма выставки, с которым производится сравнение алгоритма, синтезированного в результате выполнения работы.

2. В подразделе «Цель работы» на странице 4 указано: «...автономной начальной выставки углов ориентации». Терминология использована некорректно. Начальные значения углов ориентации подлежат определению, а не выставке, а объектом начальной выставки является ИНС.

3. Отсутствует обоснование целесообразности применения именно алгоритма Левенберга-Марквардта, его сравнение со взвешенным методом наименьших квадратов, а также обоснование необходимости применения итерационных алгоритмов.

4. Не представлен анализ функционирования синтезированного алгоритма начальной выставки в условиях подвижности основания: не рассмотрены вопросы о ее учете, алгоритмической компенсации и оценке влияния на ошибки начальной выставки.

5. Не указано, каким образом была определена важность каждого частного критерия при сравнительном анализе алгоритмов начальной выставки в Главе 5.

**13) Акционерное общество «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина», отзыв на автореферат.**

**Отзыв положительный**, подписан начальником отдела, д.т.н., доцентом В.Д. Дишелем, заверен ученым секретарем НТС предприятия, д.т.н., профессором В.С. Гавриловым. Отзыв утвержден Первым заместителем генерального конструктора АО «НПЦАП» А.И. Сапожниковым.

Вместе с тем необходимо высказать замечания, которые возникли при изучении автореферата:

1. Предложенные алгоритмы начальной выставки БИНС и калибровки ее чувствительных элементов работоспособны лишь при абсолютно неподвижном положении корпуса БИНС, а точнее ее приборной системы координат относительно Земли. Нарушение этого положения допускается лишь в отношении поворота корпуса БИНС, обусловленного предусмотренным конструкцией принудительным ее вращением вокруг оси вращения. Вместе с тем на практике во время предстартовой подготовки рассматриваемые операции в подавляющем большинстве выполняются при действии сложных плохо предсказуемых



возмущений, обусловленных ветровыми порывами на объект управления, всевозможными технологическими воздействиями на него. В результате ориентация БИНС постоянно меняется.

2. Приведенные результаты по точности выполнения рассматриваемых операций, включая результаты полунатурного моделирования, даны по отношению к  $\sigma$ -му уровню возмущающих факторов. Если их перевести к общепринятому для рассматриваемых в работе применений  $3\sigma$  уровню, то станет очевидно, что уровень достигнутой точности ниже того, который требуется в таких случаях (см. например, «Система управления разгонным блоком», Москва, МАИ-ПРИНТ, 2010 г.).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом проектирования и практического использования систем инерциальной навигации на различных подвижных объектах, в том числе, в области соответствующей паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки) и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Акционерное общество «Инерциальные технологии «Технокомплекса» является одной из ведущих организаций в авиационной и ракетно-космической промышленности по разработке и производству гироскопов, акселерометров, микроэлектроники специального назначения, инерциальных навигационных систем на их основе, включая разработку алгоритмов и программного обеспечения для инерциальных навигационных систем, а также технологического и испытательного оборудования для их настройки и испытаний. Проводит фундаментальные научные исследования в области инерциальной навигации. Компания выполняет полный цикл работ от проектирования до технического сопровождения продукции. Заключение по диссертационной работе обсуждено и подписано учеными, которые непосредственно занимаются вопросами, связанными с разработкой и эксплуатацией систем инерциальной навигации. В частности, И.Х. Шаймарданов, автор более 30 научных работ в области построения алгоритмов начальной выставки и калибровки инерциальных навигационных систем. А.В. Некрасов, автор более 60 научных работ в области разработки инерциальных датчиков, инерциальных навигационных систем, алгоритмов и методик их начальной выставки и калибровки, имеет патенты на изобретения.

Фоминов Иван Вячеславович – автор более 60 работ. Под руководством И.В. Фомина проводятся исследования в области анализа и синтеза систем навигации и управления движением космических аппаратов, алгоритмов функционирования инерциальных навигационных систем, совершенствования чувствительных элементов, выполняются передовые разработки в области



динамики движения космических аппаратов и средств выведения космических аппаратов, разрабатываются алгоритмы и методики терминального управления космических аппаратов.

Николаев Михаил Викторович – автор более 20 работ. Отдел под руководством М.В. Николаева занимается перспективными исследованиями в области разработки и эксплуатации гироскопических приборов и систем для изделий ракетно-космической техники, разрабатываются требования к гироскопическим приборам и системам для различных изделий, решаются фундаментальные проблемы в области инерциальной навигации, связанные с применением инерциальных датчиков и систем в ракетно-космической отрасли.

**В дискуссии приняли участие:**

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
Красильщиков Михаил Наумович	д.т.н., проф., 2.3.1
Желтов Сергей Юрьевич	д.т.н., акад. РАН, 2.3.1
Петухов Вячеслав Георгиевич	д.т.н., чл.-корр РАН, 2.5.16
Занин Кирилл Анатольевич	д.т.н., 1.2.2
Соловьев Алексей Владимирович	к.т.н., главный конструктор гироскопических приборов и систем – начальник центра филиала АО «ЦЭНКИ»-«НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова»

Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, соответствует паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки), а **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Разработаны новые итерационные циклограммы, алгоритмы и математические модели автономной начальной выставки инерциальных навигационных систем (ИНС) на базе гиростабилизированных платформ (ГСП), реализующие решение задач горизонтирования и гирокомпасирования как задачи поиска экстремума показаний инерциальных датчиков, повышающие быстродействие и точность предстартовой подготовки ракеты-носителя (РН) к полету.

2. Разработаны алгоритмы и математические модели калибровки инерциальных навигационных систем на базе гиростабилизированных платформ в процессе решения задачи начальной выставки на основе методов взвешенных наименьших квадратов и Левенберга-Марквардта, что уменьшает время готовности РН к полету и повышает точность ее навигации.



3. Предложена перспективная схема построения инерциального прибора, блок чувствительных элементов (БЧЭ) которого расположен на вращающемся основании, ось вращения которого лежит на диагонали куба, построенного на осях приборной системы координат, сочетающего в себе достоинства как ИНС с ГСП, так и бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), и оптимизирующего состав бортового оборудования навигационного комплекса РН.

4. Разработаны алгоритмы начальной выставки и калибровки в процессе начальной выставки БИНС с вращающимся БЧЭ на основе методов взвешенных наименьших квадратов и Левенберга-Марквардта для предстартовой подготовки РН к полету.

5. Проведена апробация разработанных циклограмм и алгоритмов с использованием методов математического и полунатурного моделирования с использованием материальной части Филиала АО «ЦЭНКИ» - «НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова», подтвердившая правильность разработанных циклограмм и алгоритмов и показавшая возможность их практического применения.

Проведенные исследования являются **новыми**, выносимые автором на защиту результаты исследований, получены впервые, а их **новизна** заключается в том, что разработанные циклограммы, алгоритмы и математические модели автономной начальной выставки рассматриваются с точки зрения задачи поиска экстремума показаний инерциальных датчиков, что ранее для решения такой задачи не предлагалось. Разработанные алгоритмы калибровки проводятся в процессе начальной выставки, в то время как, в настоящее время, циклограммы предстартовой подготовки предполагают проведения калибровок перед этапом начальной выставки. Разработанные в совокупности алгоритмы начальной выставки и калибровки позволяют повысить точность выставки и уменьшить время готовности РН к полету, что особенно важно для объектов с сокращенным временем предстартовой подготовки, а предлагаемая перспективная структура БИНС с вращающимся БЧЭ позволяет расширить классификацию типов инерциальных систем гибридным типом, объединяющим достоинства как ИНС с ГСП за возможность калибровки не борту объекта, так и классических БИНС за счет малых массы и габаритов относительно ГСП.

**Теоретическая значимость** заключается в расширении теории инерциальной навигации в части алгоритмов начальной выставки и калибровки инерциальных приборов на базе гиростабилизированных платформ, а также в части расширении классификации инерциальных приборов за счет предложения перспективной схемы БИНС с вращающимся БЧЭ, сочетающим в себе достоинства как ИНС с ГСП, так и БИНС.

**Практическая значимость** полученных в диссертационной работе результатов состоит в разработке и апробации методами математического и полунатурного моделирования новых итерационных алгоритмов автономной



начальной выставки одноосных, двухосных, трехосных ИНС с ГСП и алгоритмов калибровки датчиков в процессе проведения выставки. Кроме того, предложенная структура БИНС с вращающимся БЧЭ позволяет снизить габаритно-массовые показатели навигационного комплекса по сравнению с ГСП, а также проводить калибровку ИНС непосредственно на борту объекта.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается актом о внедрении результатов диссертации в деятельность филиала АО «ЦЭНКИ» - «НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова» при выполнении работ по теме «Модуль инерциальный дефектоскопов трубопроводов» и в опытно-конструкторской работе СЧ ОКР «ИИП» для перспективного транспортного корабля «Орел». Акт подписан начальником отдела 105 Д.Г. Пикунным, начальником отделения 10 (Инерциальных приборов и датчиков) В.Ю. Успенским, утвержден главным конструктором гироскопических приборов и систем – начальником центра, к.т.н. А.В. Соловьёвым.

**Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию** в организациях, осуществляющих разработку приборов инерциальной навигации и систем управления атмосферных и космических летательных аппаратов, таких как АО «ЦНИИмаш», ПАО «РКК Энергия им. С.П. Королёва», МОКБ «Марс», АО «НПЦАП им. академика Н.А. Пилюгина», АО «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова», АО «ВПК «НПО машиностроения», АО «РПКБ», ПАО «ПНППК», а также при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при создании комплексов командно-измерительных приборов и систем управления для перспективных средств выведения, космических аппаратов и атмосферных летательных аппаратов.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что основные положения диссертации опираются на современный математический аппарат по теории инерциальной навигации и согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Соискателем разработаны и используются корректные математические модели и алгоритмы начальной выставки и калибровки инерциальных навигационных систем. В рамках исследования автором грамотно применены общие и специальные методы разработки и совершенствования математических моделей и методов навигации, баллистико-навигационного обеспечения полета РН, сопровождаемых шумами измерений, оптимального планирования проведения динамических операций систем и комплексов РН, разработки алгоритмов управления ГСП и вращающимися БЧЭ ИНС из состава системы управления РН, повышающих точность управления и обеспечивающих улучшение лётно-технических характеристик средствами автоматизации.

**В диссертации научно обоснованы новые технические решения, имеющие существенное значение для развития космической отрасли страны в части** снижения времени предстартовой подготовки ракеты-носителя к полету,



повышению точности предстартовой подготовки и оптимизации бортового состава навигационного комплекса, а именно:

1. Новые циклограммы и математические модели автономной начальной выставки по итерационной циклограмме для одноосных, двухосных и трехосных платформ, рассматриваемые как задачи поиска экстремума показаний инерциальных датчиков.

2. Циклограммы и математические модели калибровки показаний инерциальных датчиков в ходе проведения начальной выставки по новой итерационной циклограмме.

3 Перспективная схема построения инерциального прибора – БИНС с вращающимся БЧЭ, сочетающая в себе достоинства как ИНС с ГСП, так и БИНС.

4. Алгоритмы автономной начальной выставки и калибровки БИНС с вращающимся БЧЭ по новым итерационным циклограммам.

5. Методика проверки разработанных циклограмм и алгоритмов при помощи бесплатформенного инерциального блока и трехосного имитатора движения, а также ее результаты, подтверждающие эффективность разработанных циклограмм и алгоритмов.

**В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:**

1. На сегодняшний день наибольшая точность и быстродействие решения задачи начальной выставки и калибровки инерциальных систем на объекте управления проводится при помощи спутниковых навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС), но их применение в работе не учитывается.

2. В основе предлагаемых алгоритмов лежит идея векторного согласования, то есть осуществления измерений векторов ускорения свободного падения и угловой скорости вращения Земли, однако не понятно, в рамках чего возникает задача фильтрации помех, возмущений и какими процессами описываются эти помехи.

Соискатель Наумченко В.П. ответил на задаваемые вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Специфика объекта управления, для которого предлагается применение разработанного автономного алгоритма начальной выставки и калибровки, предусматривает его расположение на неподвижном основании при условии отсутствия возможности получения информации от других корректирующих систем навигационного комплекса.


2. В связи с тем, что начальная выставка проводится в автономном режиме на основе показаний инерциальных датчиков, то основные возмущающие факторы проявляются в виде шумов датчиков, характеристики которых определяются в ходе их изготовления и во многом зависят от типа датчиков. В рамках разрабатываемых алгоритмов за основу брались высокоточные вибрационно-струнные акселерометры и волоконно-оптические гироскопы, шумы которых преимущественно высокочастотные и их фильтрация проводится при помощи фильтров нижних частот или комплементарных фильтров для повышения точности



**В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник. Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.





The image shows a blue circular official stamp of the Federal Scientific Center of Physical Education and Sport (VSES). The outer ring contains the text "ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ И СПОРТА". Inside the ring, there is a central emblem featuring two eagles holding a shield, topped by a crown. Above the emblem, it says "НАЦИОНАЛЬНО-ОЛИМПИЙСКИЙ КОМПЛЕКС СОВЕТСКОГО СПОРТА". Below the emblem, it says "ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ И СПОРТА". At the bottom of the circle, it reads "МОСКВА • 127086". A large, stylized blue ink signature is written across the stamp.

17