

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Т.А.Лучкиной «Алгоритмы автономной информационно-измерительной системы определения угловой ориентации, построенной на грубых датчиках», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – информационно-измерительные и управляющие системы (в приборостроении)

Расширение области применения беспилотных подвижных объектов и, в частности, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является характерной чертой настоящего времени. Для малогабаритных БПЛА принципиальным вопросом является достижение характеристик, необходимых для выполнения целевой задачи, при малом весе, габаритах и энергопотреблении системы ориентации (СО), являющейся неотъемлемой частью системы управления БПЛА. Перечисленными свойствами обладают только грубые (низкоточные) измерители, прежде всего микромеханические, что выдвигает на первый план задачу обеспечения требуемой точности определения углов ориентации при использовании грубых датчиков. При доступности средств коррекции, прежде всего информации СНС, данная задача принципиальных сложностей не представляет, хотя разные подходы к ее решению широко обсуждаются. Однако в ряде приложений рассчитывать на наличие устойчивых корректирующих сигналов не приходится, что делает важной задачу повышения точности автономной системы ориентации за счет привлечения информации измерителей, которые входят (или без труда могут быть включены) в состав системы управления, и совершенствования алгоритмов СО. Отдельные аспекты решения данной задачи исследуются в известных публикациях, однако отсутствуют работы, в которых задача повышения точности СО рассматривалась бы комплексно и включала алгоритмы подготовки СО к работе, ее функционирования и уточнения инструментальных погрешностей датчиков в полете. Именно этим вопросам посвящена диссертация Т.А.Лучкиной, что определяет ее **актуальность**.

При разработке СО на грубых датчиках угловых скоростей (ДУС) и акселерометрах возникает дилемма – реализовывать инвариантную к движению основания схему бесплатформенного гирогоризонткомпаса (ГГК), базирующуюся на алгоритмах БИНС, либо определять углы ориентации непосредственно по информации инерциальных измерителей с привлечением информации магнитометров и измерителей путевой скорости. Автор без колебаний выбрала второй вариант, эффективность которого определяющим образом зависит от эффективности решения следующих задач:

- компенсации переносной угловой скорости и абсолютного ускорения при выработке по показаниям инерциальных датчиков углов ориентации с привлечением информации магнитометров и датчиков путевой скорости;

- комплексирования ДУС, с одной стороны, с акселерометрами и магнитометрами - с другой, при выработке, соответственно, углов качки и курса;
- стендовой калибровки всех задействованных датчиков и возможности уточнения их основных пусковых погрешностей в полете.

(Заметим, что до последнего времени во многих публикациях, посвященных построению систем навигации и ориентации на грубых датчиках задача безальтернативно решалась в рамках схемы беспилотного ГГК. Лишь в последние годы появились работы, убедительно доказывающие преимущество навигационного счисления над инерциальным при использовании грубых датчиков, и, соответственно, второго - "неинерциального" - способа выработки углов ориентации).

Перечисленные выше задачи не являются новыми. Однако, даже незначительное повышение точности решения каждой из них может дать ощутимый совокупный эффект. Достичь этого не удалось бы без получения новых результатов, имеющих **научную значимость**. К числу таковых, представленных в диссертационной работе Т.А.Лучкиной, относятся:

1. Алгоритмы расчета составляющих переносной угловой скорости и абсолютного линейного ускорения БПЛА по показаниям датчиков воздушных сигналов (скорости и высоты полета) и триады магнитометров с информационной поддержкой от триады акселерометров, необходимые для выработки углов ориентации по показаниям инерциальных измерителей.

2. Алгоритмы стендовой калибровки магнитометров и акселерометров, основанные на определении оптимальных значений параметров эллипсоида, характеризующих искомые аддитивные и мультипликативные составляющие погрешностей датчиков, и использующие «настраиваемый» алгоритм метода наименьших квадратов.

3. Алгоритм неинвариантного оценивания в полете систематической погрешности ДУС на фоне комбинации «белошумной» и «цветной» составляющих случайной погрешности датчиков с использованием метода временного различия измерений.

4. Алгоритм уточнения в полете аддитивной составляющей погрешности магнитометров по невязке расчетных и измеренных значений модуля вектора геомагнитной напряженности с использованием модели показаний датчиков, учитывающей мультипликативные компоненты.

5. Построенные на базе стационарных фильтров алгоритмы комплексирования информации ДУС с данными магнитометров и акселерометров, парирующие сбои в выходных сигналах последних и перестраиваемые на время смены режима полета, которые обеспечивают компенсацию остаточного дрейфа вырабатываемых углов ориентации и ослабление в них случайных составляющих.

Использование подтвержденных на практике моделей инструментальных и методических погрешностей датчиков, а также применение апробированных

в схожих по постановке задачах алгоритмов инвариантного и неинвариантного оценивания позволяют с уверенностью говорить об **обоснованности и достоверности** полученных результатов и выводов. Об этом же свидетельствуют результаты сравнительного имитационного моделирования предлагаемых и известных алгоритмов, исходные данные для которого корректно отражают уровень инструментальных погрешностей грубых датчиков и характерные профили полета БПЛА.

Как следует из результатов анализа и моделирования, использование разработанных Т.А.Лучкиной алгоритмов позволит заметно повысить точность определения угловой ориентации БПЛА в полете, приблизив ее к точности, достижимой по показаниям акселерометров и магнитометров на стенде. Это определяет несомненную **практическую значимость** результатов диссертационной работы.

Особо следует отметить чрезвычайно широкий охват автором современных публикаций как по теме диссертации, так и по фундаментальным аспектам задачи обработки информации в широком спектре приложений. Успешное применение при решении задач калибровки датчиков неиспользуемых ранее для этих целей алгоритмов наверняка введёт их в широкий обиход и сделает достоянием экспертного сообщества в данной предметной области.

Представляется, что полученные Т.А.Лучкиной результаты имеют более широкое применение, нежели для систем управления БПЛА - без существенной доработки они могут быть использованы при решении задач навигации БПЛА, реализующей режим навигационного счисления.

Работа производит цельное впечатление. Основные результаты достаточно полно представлены в общедоступных публикациях, содержание автореферата точно отражает основные идеи и выводы диссертации. Тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.11.16 – информационно-измерительные и управляющие системы (в приборостроении).

К сожалению, диссертация не свободна от недостатков:

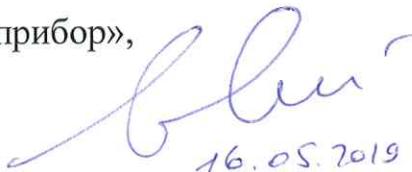
1. Выбор в качестве базового алгоритма определения ориентации объекта относительно географической СК (т.е. «алгоритма идеальной работы системы ориентации на ДУС») кинематических уравнений, которые определяют ориентацию объекта относительно инерциальной СК, с методической точки зрения представляется некорректным. В качестве базового алгоритма следовало бы взять общеизвестные кинематические уравнения, учитывающие переносную угловую скорость, тогда определение последней было бы условием реализации такого алгоритма, а не компенсацией методической погрешности (как это трактуется в диссертации).
2. Из текста диссертации не ясно, задавалось ли при оценке эффективности алгоритма калибровки температурного дрейфа ДУС по результатам

- моделирования рассогласование моделей дрейфа, использованных при имитации показаний ДУС и в алгоритме оценивания.
3. Отсутствуют пояснения, как производился расчет действующих на объект моментов, используемых в алгоритме калибровки ДУС в движении.
 4. В тексте нет сведений о классе точности датчиков, которые использовались в сравниваемых системах, между тем сравнение характеристик систем ориентации может служить подтверждением эффективности предлагаемых алгоритмов, если в них использованы датчики одного класса точности.
 5. Имеются досадные опечатки в некоторых формулах, а именно:
 - на Рис.6 на стр. 38 ошибочно указана матрица $C_{T\bar{d}}$, раскрытая ниже в (2.2) – под знаком интеграла должна быть матрица, обратная матрице $C_{T\bar{d}}$;
 - в формуле для $\dot{\phi}$ на стр. 42 второй член пренебрежимо мал по абсолютной величине (не превышает 3"), что делает нецелесообразным его учет в системах на грубых датчиках. Кроме того он записан с ошибкой («потерялся» множитель \dot{H}).

Приведенные замечания не являются принципиальными и потому не снижают общего положительного впечатления о работе, в которой решена важная задача, имеющая существенное значение для повышения точности автономных систем ориентации на грубых датчиках беспилотных летательных аппаратов. С учетом сказанного, диссертация Т.А.Лучкиной соответствует требованиям Положения ВАК, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присвоения искомой степени.

Начальник отдела 074

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,
д.т.н.



16.05.2019

Ю.А.Литманович

Подпись Ю.А. Литмановича заверяю:

Зам. ген. директора
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»



О.Г.Дряпак