

УДК 629.7.054.07

**И.М. Кузнецов, А.Н. Пронькин, К.К. Веремеенко**

**МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ  
МОДУЛИ: АЛГОРИТМЫ И ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ**

*В данной работе представлен универсальный подход по созданию моделей и алгоритмов для использования в различных наземных и воздушных транспортных системах. Представлены общая структура комплекса и алгоритмы комплексной обработки. Приводятся результаты имитационного моделирования, выполненные для нескольких типов подвижных объектов, и подтверждающие работоспособность разработанного программного обеспечения.*

*Инерциальная навигация; спутниковые навигационные системы; комплексная обработка информации; оптимальный фильтр.*

**I.M. Kuznetsov, A.N. Pronkin, K.K. Veremeenko**

*Compact integrated navigation modules: algorithms and features of structure.*

*This paper presents a universal approach to create models and algorithms for using in various land and air transportation systems. The common structure of the system and integrated algorithms are presented. The results of simulation performed for several types of moving objects, confirming efficiency of the software.*

*Inertial navigation, satellite navigation systems; complex information processing; the optimal filter.*

**Введение.** Решение задач навигации и ориентации является одной из ключевых проблем при управлении подвижными объектами различного назначения. Системы, способные решать такие задачи на борту современных аппаратов, объединяются в единую информационно-управляющую систему, ядром которой является комплекс ориентации и навигации (КОН). Общее направление в развитии КОН подвижных объектов за последние десятилетия – повышение точности и надежности определения параметров движения, что гарантирует безопасность и эффективность их эксплуатации. Достижение необходимого результата реализуется за счет обеспечения избыточности информации, оптимальных методов ее обработки, оптимизации управляющей части КОН.

**Постановка задачи.** Целью работы является создание малогабаритного интегрированного навигационного модуля, предназначенного для определения на борту подвижного объекта различных параметров объекта.

За основу при разработке двух вариантов КОН возьмем некоторый универсальный навигационный модуль, потенциально пригодный для использования как на борту БПЛА, так и в автомобильных приложениях. В дальнейшем при реализации конкретных образцов будем учитывать специфические особенности каждого из объектов и соответствующим образом видоизменять состав и структуру образца.

Как показывает исследование аналогов, в состав разрабатываемых образцов должны входить инерциальная навигационная система на микромеханических датчиках и группа систем-корректоров, к числу которых, прежде всего, относятся [1]:

- ◆ спутниковая навигационная система ГЛОНАСС/GPS (СНС);
- ◆ радио - и баровысотомеры (БВ, РВ);
- ◆ система воздушных сигналов или группа аэрометрических датчиков (СВС);
- ◆ магнитометры;
- ◆ одометры.

Помимо этого в составе модуля должны быть средства обеспечения дифференциального режима СНС (приемник дифференциальных поправок и других дан-

ных от контрольно-корректирующих станций или псевдоспутников) и средства связи для приема-передачи информации.

**Структура комплекса.** Поскольку источники информации согласно предложенной схеме построения навигационной системы расположены на борту, все измерения от них на первом этапе обработки должны пройти процедуру фильтрации, чтобы снизить влияние неблагоприятных и не несущих полезной информации шумов (из-за вибраций мест крепления датчика, случайных ускорений, колебаний основания и пр.). Затем измерения дополнительно усредняются с целью улучшения динамических характеристик сигнала и передаются в блок пересчета и компенсации. Здесь они приводятся к требуемому виду с использованием паспортных коэффициентов датчиков, а также в них компенсируются постоянные составляющие погрешностей с использованием оценок погрешностей, выработанных с учетом алгоритмов комплексной обработки информации (КОИ). Отличительной особенностью всех предлагаемых структур является использование сигналов псевдоспутников (ПС).

Представленная структура имеет единую архитектуру построения навигационного модуля, отличия состоят лишь в составе датчиков первичной информации, каждый из которых выполняет функцию получения измерений исходя из условий применения.

На рис. 1 представлена структурная схема КОИ наземного объекта, предназначенного для использования в закрытых помещениях или полостях (для т.н. «in-door» приложений). Отличительными особенностями этого варианта является наличие одометра и локатора-дальномера, а также встроенной карты местности. Этот вариант может быть использован для перемещения объектов в пространстве и задании в различных производственных процессах, например, в качестве промышленных роботов. Структурная схема КОИ наземного объекта, предназначенного для использования на открытом пространстве (для т.н. «out-door» приложений) также используется одометр, но отличительной особенностью является наличие датчика магнитного курса или магнитометра.

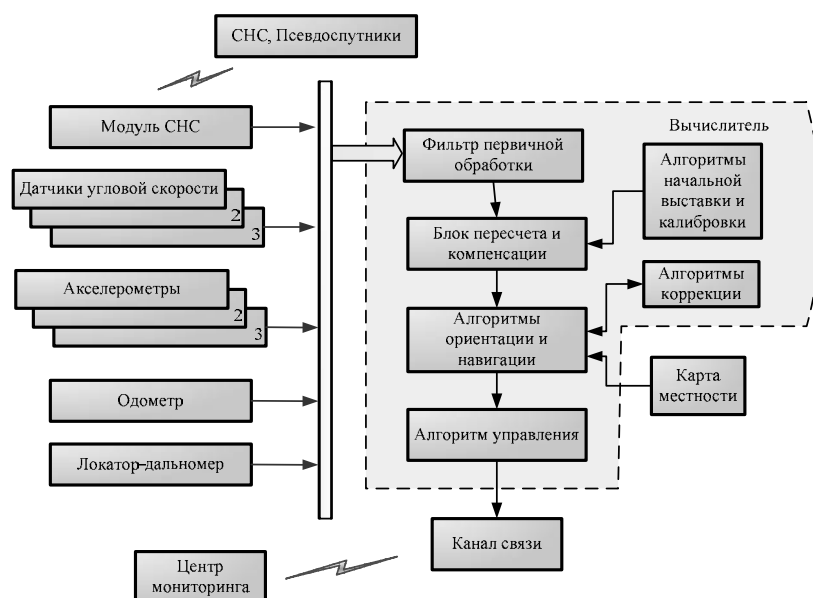


Рис. 1. Структурная схема КОИ наземного объекта «in-door» исполнения

Этот вариант может быть использован в таких приложениях, как интеллектуальные транспортные системы.

На рис. 2 представлена структурная схема КОН БПЛА. Его отличительной особенностью является использование СВС, БВ, РВ. В качестве дополнения в системе посадки используются ПС. Этот вариант может быть использован в таких приложениях, как мониторинг, разведка, аэрофотосъемка, доставка малогабаритных грузов.

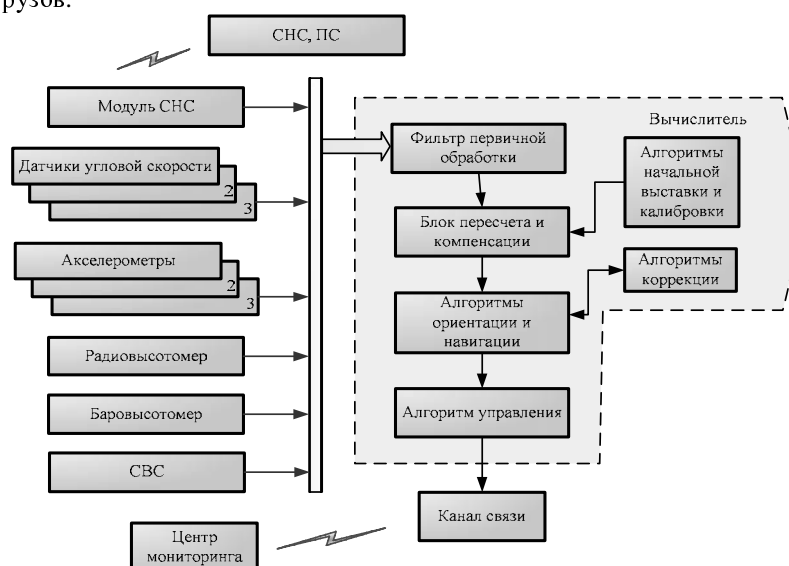


Рис. 2. Структурная схема КОН БПЛА

Алгоритмы КОИ, используя избыточную информацию системы измерителей, решают задачи фильтрации, экстраполяции и интерполяции информации. Эти задачи лежат в основе повышения точности и достоверности информационного обеспечения КНС и позволяют вычислить дополнительные навигационные параметры, не получаемые непосредственно от измерителей, обеспечивают восстановление информации при кратковременных сбоях или перерывах выдачи информации при работе измерителей в режиме памяти (например, СНС). [2]

**Логические алгоритмы работы комплекса.** В качестве основного алгоритма комплексирования навигационных систем предлагается фильтрация, реализованная на базе оптимального фильтра Калмана. Выбор данного метода фильтрации обусловлен, в основном, простотой реализации дискретной формы ОФК в вычислителе и наилучшей теоретической сходимостью ОФК в классе линейных оптимальных фильтров.

Метод ОФК позволяет обрабатывать данные измерений и сохранять основную расчетную схему по мере получения новой информации. Вместе с тем обработка уравнения ОФК трудоемка для вычислителя, поскольку приходится выполнять обращение и умножение матриц большой размерности.

Поэтому предлагается выбирать размерность вектора состояния и размерности матриц адекватными требуемой точности оценок. Ядром комплексного канала автонавигационного модуля является БИНС [3, 4], точность которой повышается за счет корректировки от спутниковой навигационной системы, магнитного компаса и алгоритма счисления пути на основе измерений от одометра. В качестве интегратора двух различных навигационных систем используется фильтрация на базе оптимального фильтра Калмана.

Предлагается использовать слабосвязанную схему построения алгоритмов комплексной обработки информации, подразумевающую выработку независимых решений от БИНС и СНС, однако с присутствием связующего блока, в котором так называемый интегральный фильтр Калмана на основании данных СНС-приемника формирует оценку вектора состояния и производит коррекцию данных, полученных от БИНС.

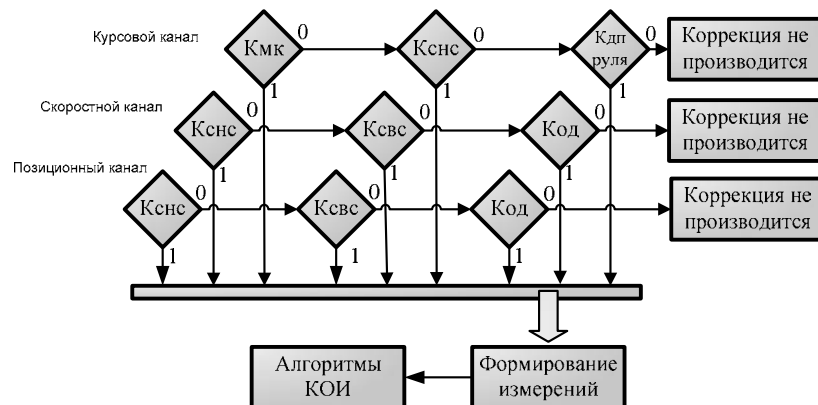


Рис. 3. Слабосвязанная схема

Алгоритм выбора корректора представлен на рис. 3. Выбор производится отдельно для трех видов: позиционная, скоростная и курсовая коррекции. На основании анализа критериального признака корректирующей системы в качестве основного корректора выбирается измеритель, обладающий наиболее высокими точностными характеристиками.

**Моделирование.** В ходе выполнения данной работы был разработан прикладное программное обеспечение и проведено имитационное моделирование с целью проверки работоспособности алгоритмов [5,6].

Моделирование проводилось на интервале 20 минут. В качестве начальных условий были выбраны следующие параметры: начальное СКО ошибок определения координат – 10 метров; начальное СКО ошибок определения скорости 1 м/с; постоянный дрейф гироскопов – 30 град/час; случайный дрейф гироскопов – 5 град/час; постоянная погрешность акселерометров – 0,02\*g; случайная ошибка акселерометров – 0,01\*g; начальная ошибка ориентации измерительного трехгранника – 5 град.

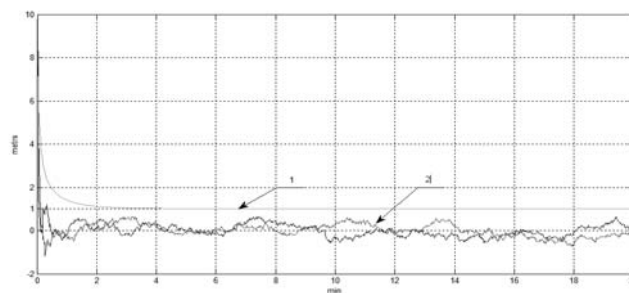


Рис. 4. График СКО ошибок оценивания и ошибок оценок местоположения по долготе и широте: 1 – СКО ошибок оценивания; 2 – ошибка оценивания долготы и широты

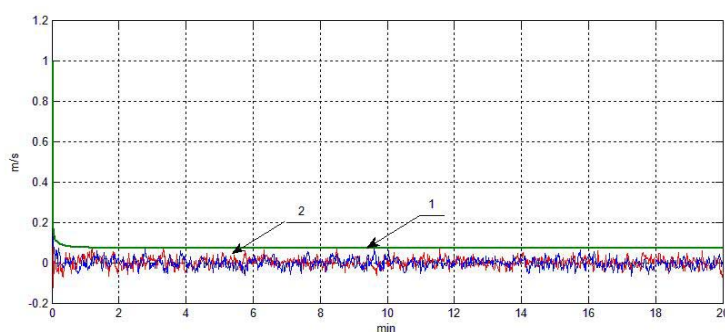


Рис. 5. График СКО ошибок оценивания и ошибок оценок по северной и восточной составляющей путевой скорости: 1 – СКО ошибок оценивания; 2 – ошибка оценивания проекций путевой скорости

Из рис.4 видно, что процесс оценивание проходит стабильно на всем интервале моделирования с значения 10 метров до уровня 1 интервале. Рис. 5 наглядно показывает, что активное оценивание заканчивается в течение первой минуты, это объясняется наличием точных значений по скорости от СНС. Ошибка оценивания снижается с 1 до 0,1 м/с.

**Заключение.** Таким образом, в докладе была представлена структура общего алгоритма модуля, которая включает в себя алгоритмы первичной обработки и координатных преобразований информации, комплексной обработки информации, алгоритмы БИНС, структуры обмена и выдачи информации. Представлены результаты имитационного моделирования, которые показывали работоспособность созданного программного обеспечения и достаточную точность.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Помыкаев И.И., Селезнев В.П., Дмитроченко Л.А.* Навигационные приборы и системы, – М.: Машиностроение, 1983.
2. *Соловьев Ю.А.* Системы спутниковой навигации и ее приложения. – М.: Эко-Трендз, 2003.
3. *Дмитроченко Л.А., Гора В.П., Савинов Г.Ф.* Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: учебное пособие. – М.: МАИ, 1984.
4. *Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А., Трубников С.А.* Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. Стандартный режим. – М.: МГУ, 2001.
5. *Липкин И.А.* Спутниковые навигационные системы. – М.: Вузовская школа, 2001.
6. *Дмитроченко Л.А.* Анализ точности автономных навигационных систем: Учебное пособие. – М.: МАИ, 1979.

**Кузнецов Иван Михайлович**

Московский авиационный институт (государственный технический университет).  
E-mail: im.kyznetsov@gmail.com.  
125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.  
Тел.: 89265739104.

**Пронькин Андрей Николаевич**

E-mail: an.pronkin@gmail.com.  
Тел.: 89162151184.

**Веремеенко Константин Константинович**

E-mail: konstver@rambler.ru.

**Kuznetsov Ivan Mixajlovich**

Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies).

E-mail: im.kyznetsov@gmail.com.

4, Volokolamskoe hlg, Moscow, 125993, Russia.

Phone: 89265739104.

**Pron'kin Andrey Nikolaevich**

E-mail: an.pronkin@gmail.com.

Phone: 89162151184.

**Veremenko Konstantin Konstantinovich**

E-mail: konstver@rambler.ru.

УДК 681.513

**А.А. Мазалов****АДАПТИВНАЯ ВЕТРОУСТАНОВКА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА  
С АСИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ**

*В данной статье рассматривается адаптивная система управления ветроэнергетической установкой, обеспечивающая решение задач стабилизации напряжения и частоты на выходе генератора ВЭУ. Целью исследования является разработка системы управления ветроэнергетической установкой с асинхронным генератором. В качестве регуляторов по каналам амплитуды и частоты применяются ПИ-регуляторы с переменным коэффициентом интегральной составляющей. Разработана компьютерная модель для исследования системы управления, приведены результаты моделирования.*

*Ветроэнергетическая установка; адаптивная система управления.*

**A.A. Mazalov****ADAPTIVE WIND POWER PLANT OF ALTERNATING CURRENT  
WITH INDUCTOR MOTOR**

*At this article adaptive control system of wind power plant is considered. The problem of stabilizing the output voltage amplitude as well as frequency is solved. To stabilize inductor motor in the generator mode a new adaptive proportional and integral controller is designed. In addition a computer model to study control-executive system is developed.*

*Wind power plant; adaptive control system.*

**Введение.** В России на альтернативную энергетику приходится всего около 1 % энергетических мощностей, несмотря на то, что наша страна имеет колоссальный потенциал возобновляемых источников энергии. Технический потенциал ветровой энергии России оценивается свыше 50 000 млрд кВт·ч/год. Экономический потенциал составляет примерно 260 млрд кВт·ч/год, т.е. около 30 % производства электроэнергии всеми электростанциями России.

Слабое развитие отрасли связано с комплексом внешних факторов – экономических, технических, законодательных, психологических и информационно-организационных. Одновременно с каждым годом растет понимание необходимости развития альтернативной энергетики, особенно в тех регионах, которые по комплексу причин не имеют и не будут иметь централизованного энергоснабжения. Итак, отметим основные причины слабого развития ветроэнергетики в России:

1. Обжитая часть России бедна ветровыми ресурсами. Средняя скорость ветра в 4 – 5 метров в секунду характерна для большинства промышленных районов. Малая скорость ветра означает малую мощность ветрового