

## ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДУЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ \*

А.В. Чернодаров<sup>1</sup>, А.П. Патрикеев<sup>2</sup>

ООО «Экспериментальная мастерская «НаукаСофт», 125167, Москва, Россия  
4-я улица 8 Марта, 6А, Тел/Факс: +7 499 5580049, e-mail: chernod@mail.ru

Ю.Н. Коркишко<sup>3</sup>, В.А. Федоров<sup>4</sup>

ООО НПК «ОПТОЛИНК», 124489, Москва, Зеленоград, Сосновая аллея, д. 6А, стр.2,  
Тел: +7 495 6631760, Факс: +7 495 6631761, e-mail: [opto@optolink.ru](mailto:opto@optolink.ru)

### Аннотация

**Ключевые слова:** интегрированные навигационные системы, модульная авионика, объектно-ориентированная технология.

*В работе обобщается опыт применения объектно-ориентированной модульной технологии при создании интегрированных навигационных систем. Рассматриваются типовые схемы аппаратного и программно-математического обеспечения платформенных инерциально-спутниковых навигационных систем модульной архитектуры. Анализируются результаты натурных испытаний.*

Развитие авиационного оборудования (АО) характеризуется разработкой и внедрением интегрированной модульной авионики (ИМА) [1]. Основная идея ИМА предполагает построение АО на базе унифицированных аппаратных и программных модулей. Целесообразность применения ИМА связана с ужесточением требований к надежности АО, а также с необходимостью улучшения его массо-габаритных, эксплуатационных и ремонтных характеристик. Реализация этой технологии позволяет создавать заказные системы под требования конкретного объекта.

**Цель работы:** обоснование и практическая реализация принципов ИМА в интегрированных навигационных системах (НС).

Объектами исследований являются платформенные инерциально-спутниковые навигационные системы (БИСНС) на базе квантово-оптических и полусферических резонаторных гироскопов (ПРГ). Особенности построения БИСНС позволяют эффективно отображать их программно-аппаратные средства на архитектуру ИМА и на этой основе повышать их информационную надежность.

В рассматриваемых проектах принципы ИМА были реализованы на основе объектно-ориентированной модульной технологии построения аппаратного и программно-математического обеспечения. Основными элементами такой технологии являются: унификация и стандартизация процессорных и программно-математических модулей; адаптация интерфейсных модулей под объект; буферизация потоков данных и распараллеливание вычислений; синхронизация процедур обработки данных в модулях; многоуровневая RISC-организация вычислительного процесса; обмен данными между модулями по системной шине; повышение однородности вычислительного процесса на основе минимизации количества проверок и условий; согласование процедур первичной и вторичной обработки сигналов с возможностями вычислительного ядра; структуризация алгоритмов с целью их отображения на унифицированные программно-математические модули; открытая архитектура, позволяющая расширять вычислительные ресурсы, модернизировать и реконфигурировать интегрированные НС под объект.

Объектно-ориентированная модульная технология была апробирована сотрудниками Экспериментальной мастерской «НаукаСофт», в процессе разработки и испытаний ряда БИСНС, в том числе:

- БИСНС-500 [2]; БИСНС-501 и БИСНС-1000 [3] (совместно с НПК «ОПТОЛИНК», Зеленоград) на базе волоконно-оптических гироскопов (ВОГ);
- БИСНС-05-104 (совместно с ОАО «Концерн «Авионика», Москва) на базе трехкомпонентного лазерного моноблока [4];
- распределенная система микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой (совместно с НИИ Радиоэлектронных комплексов, Санкт Петербург) на базе ВОГ [5];
- БИСНС-ПРГ (совместно с НПП «Медикон», Миасс) на базе ПРГ.

В обобщенном виде аппаратное обеспечение БИСНС в модульном исполнении может быть представлено схемой, показанной на рис. 1, где  $\varphi$ ,  $\lambda$  – соответственно географическая широта и долгота летательного аппарата (ЛА);  $V_E$ ;  $V_N$ ;  $V_H$  – проекции вектора траекторной скорости ЛА на оси географического сопро-

<sup>1</sup> Доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник.

<sup>2</sup> Кандидат технических наук, начальник отдела.

<sup>3</sup> Доктор физико-математических наук, профессор, генеральный директор.

<sup>4</sup> Доктор физико-математических наук, профессор, исполнительный директор.

вождающего трехгранника; ИИМ - инерциальный измерительный модуль;  $\Delta\Theta_x, \Delta\Theta_y, \Delta\Theta_z$  - приращения углов поворота ИИМ на базе кольцевых лазерных гироскопов (КЛГ) в инерциальном пространстве.

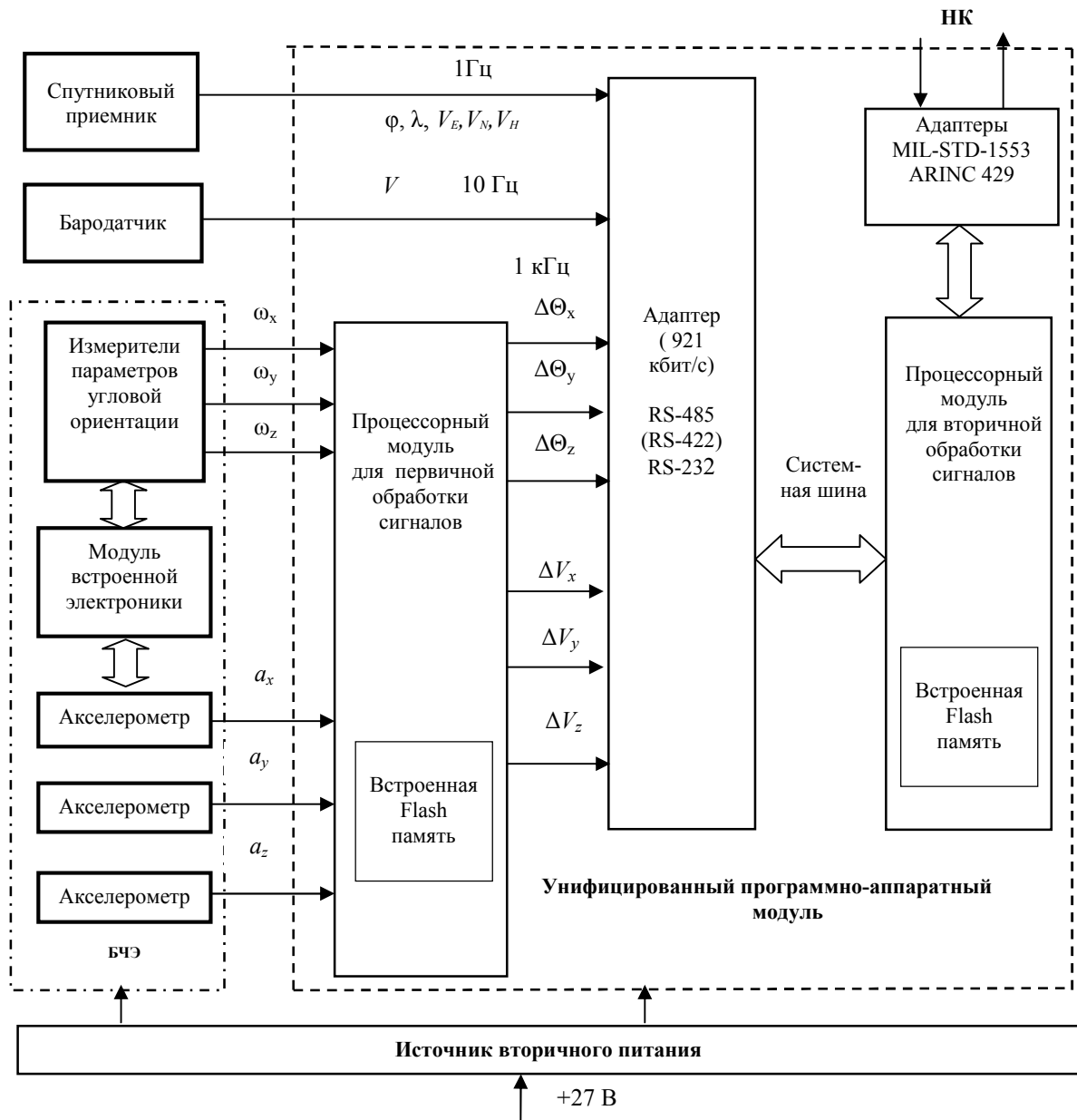


Рис. 1. Типовая схема аппаратного обеспечения БИСНС в модульном исполнении

При построении ИИМ на базе ВОГ выходными сигналами являются проекции вектора абсолютной угловой скорости вращения ЛА на оси ИИМ;  $\Delta V_x, \Delta V_y, \Delta V_z$  - приращения проекций вектора кажущейся скорости на оси ИИМ;  $V$  - истинная воздушная скорость; НК - навигационный комплекс. При использовании аналоговых акселерометров выходными сигналами ИИМ являются проекции вектора кажущегося ускорения на оси ИИМ. Толстыми линиями выделены нестандартные элементы, а тонкими - элементы, имеющие стандартные типоразмеры. ИИМ рассматривается как отказоустойчивый измерительно-вычислительный модуль с заданным количеством чувствительных элементов (ЧЭ) в структуре реконфигурируемой БИСНС.

На рис. 2 представлена типовая схема программно-математического обеспечения (ПМО) БИСНС в модульном исполнении, где показаны: ПНПП - пилотажно-навигационные параметры полета; БИНС - бесплатформенная инерциальная НС; ДВИ - датчики внешней по отношению к БИНС информации; АРФ - адаптивно-робастный оценивающий фильтр; модули, выделенные толстыми линиями, разрабатываются под конкретные измерители БИСНС; унифицированные модули, составляющие ядро ПМО, выделены тонкими линиями. ПМО поддерживается модульной операционной системой реального времени Linux

и может быть адаптировано к БИНС на базе ЧЭ различного принципа действия. В ПМО предусмотрено включение цифровой карты местности.

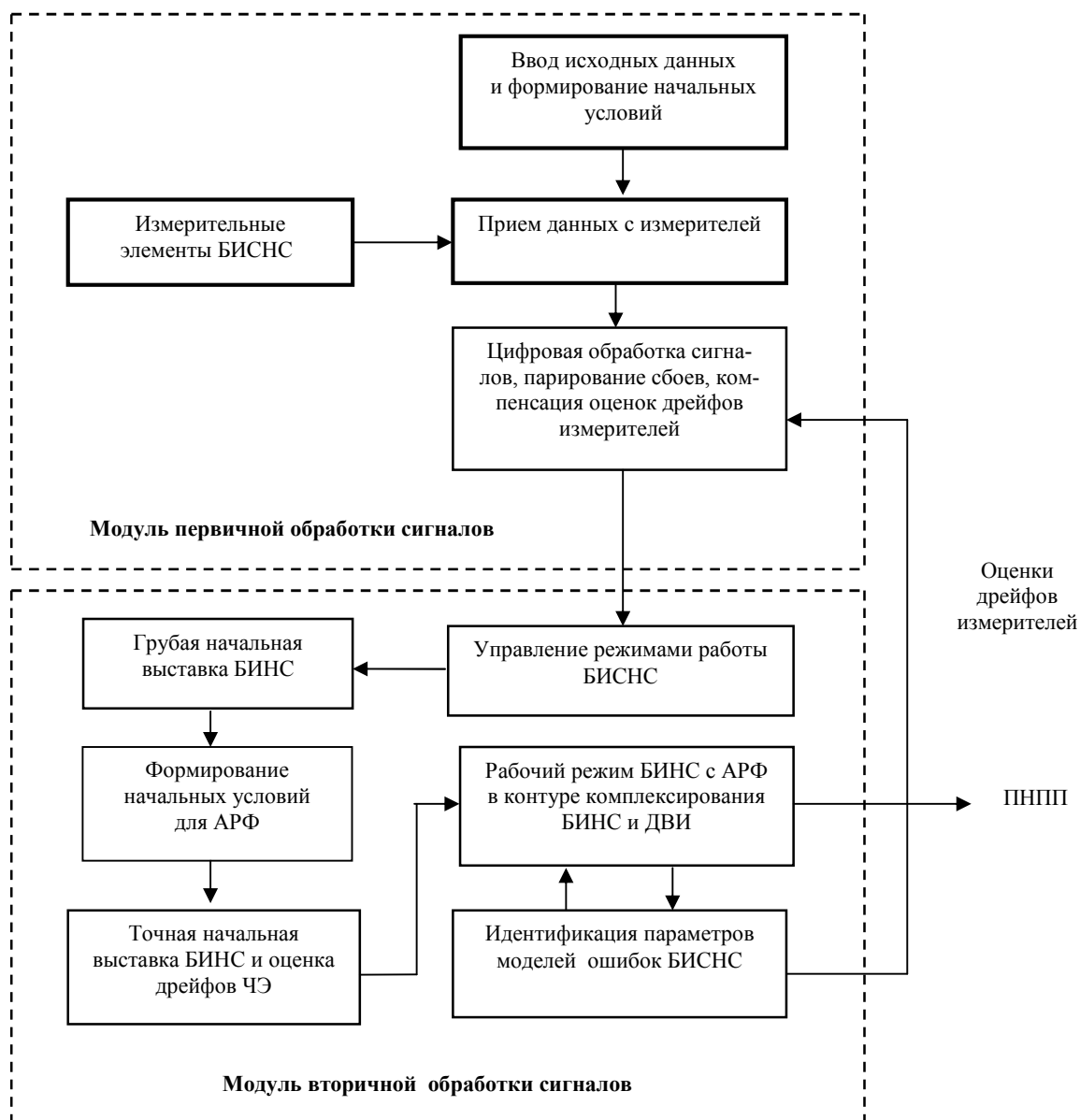


Рис. 2. Типовая схема ПМО БИНС в модульном исполнении

Применение объектно-ориентированной технологии проектирования позволило выполнить сквозную отработку подсистем БИНС: от алгоритмического до программно-аппаратного обеспечения, от математического моделирования до натурального эксперимента.

Реализованные в БИНС подходы к унифицированной обработке сигналов были направлены на решение следующих задач: на этапе первичной обработки сигналов ЧЭ: цифровая фильтрация; локализация и парирование случайных сбоев по комбинированному критерию согласия  $\chi^2 / \vartheta^2$  [6]; на этапе вторичной обработки сигналов: распределенное интегрирование кинематических уравнений БИНС, оценивание и компенсация дрейфов ЧЭ по внешним по отношению к БИНС наблюдениям, идентификация параметров моделей ошибок ЧЭ и параметров [6]. Применение объектно-ориентированной модульной технологии позволило: унифицировать аппаратное и программно-математическое обеспечение БИНС, построенных на базе ЧЭ различного принципа действия; сократить сроки создания и поэтапной модернизации БИНС; поднять частоту обновления первичной навигационной информации с 200 Гц до 1кГц; увеличить порядок модели ошибок БИНС с 9 до 24 параметров и на этой основе сократить время начальной выставки БИНС в 2 раза, повысить точностные характеристики БИНС в автономном режиме не менее чем в 4 раза. Это подтверждают результаты испытаний системы БИНС-1000 на ВОГ. На рис. 3 пока-

зана горизонтальная траектория движения испытательной лаборатории, счисленная по данным БИНС. При возвращении в точку начальной выставки круговая позиционная ошибка БИНС с учетом компенсации оценок остаточных дрейфов ЧЭ не превысила 500 м (рис. 4).

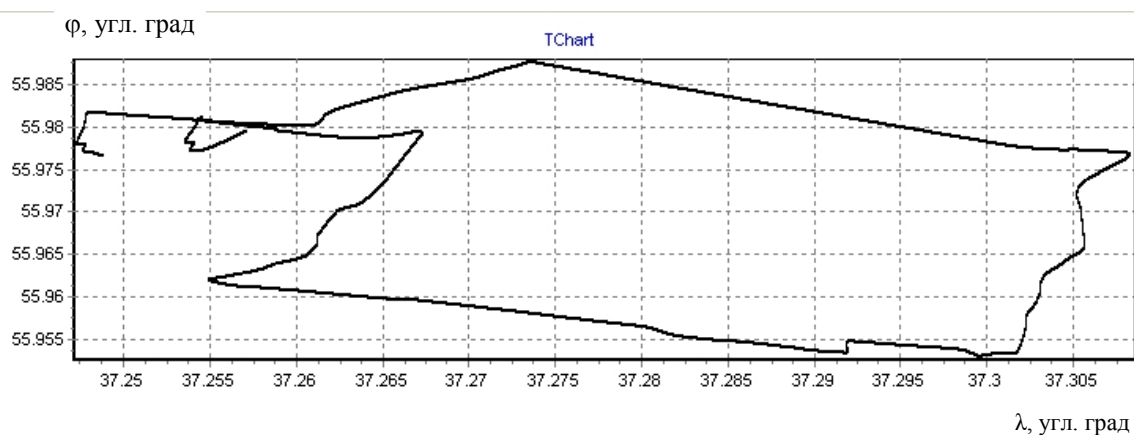


Рис. 3. Горизонтальная траектория движения испытательной лаборатории

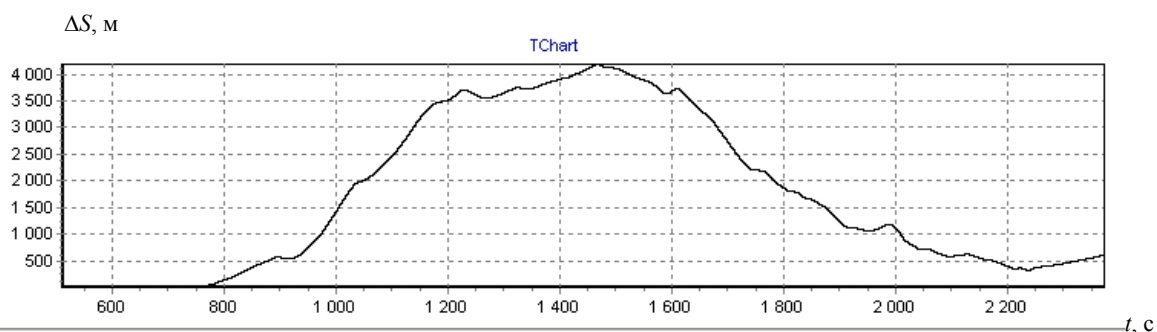


Рис. 4. Круговое отклонение системы БИНС-1000 от точки начальной выставки

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-08-0117-а.*

## Литература

1. **Федосов, Е.А.** Перспективные комплексы бортового оборудования воздушных судов на базе интегрированной модульной авионики второго поколения. // Всероссийская научно-техническая конференция «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами». – М.: Научтехлитиздат, 2012. – С. 14 -17.
2. **Чернодаров, А.В.** Полунатурная отработка программно-математического обеспечения инерциально-спутниковой навигационной системы БИНС-500 на волоконно-оптических гироскопах / А.В. Чернодаров, А.П. Патрикеев, Ю.Н. Коркишко, В.А.Федоров, С.Е. Переляев // Гироскопия и навигация. – 2010. - № 4. - С. - 19–31.
3. **Коркишко, Ю.Н.** Объектно-ориентированная технология интеграции навигационных измерителей и ее реализация в бесплатформенной инерциальной системе БИНС-1000 на волоконно-оптических гироскопах / Ю.Н. Коркишко, В.А.Федоров, А.П. Патрикеев, А.В. Чернодаров, В.А. Матюшин, С.Е. Переляев // XVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2008. - С. 21 - 30.
4. **Чернодаров, А.В.** Разработка программно-математического обеспечения инерциально-спутниковой навигационной системы на базе трехкомпонентного лазерного моноблока / А.В. Чернодаров, А.П. Патрикеев // XX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2013. - С. 173 - 176.
5. **Билик, В.В.** Пространственно-распределенная система микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой / В.В. Билик, В.Н. Коврегин, А.В. Чернодаров, А.П. Патрикеев, // XVIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2011. - С. 93 - 96.
6. **Колодежный, Л.П.** Надежность и техническая диагностика / Л.П. Колодежный, А.В. Чернодаров. – М.: Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010. – 452 с.