

---

УДК 629.7.052

Асютин А.Д., Бреславский Д.В., Резник С.А., Телеусов В.Н., Успенский В.Б., Фролов И.В.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NAVICAD ДЛЯ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Введение.** В настоящее время благодаря спутниковым радионавигационным системам (СРНС) GPS, ГЛОНАСС высокоточная навигационная информация стала доступной широкому кругу потребителей. Одной из областей применения GPS/ГЛОНАСС являются системы управления движением (СУД) различных транспортных средств. В основе таких СУД лежит интегрированная инерциально-спутниковая навигационная система (ИИСНС), построенная на комплексировании информации от инерциальных датчиков и СРНС [1]. Благодаря такому комплексированию в подобных системах для грубого измерения ускорения и угловой скорости возможно использование широко доступных микроэлектромеханических систем (МЭМС) [2]. В этих условиях одним из наиболее сложных элементов создания подобных ИИСНС становится разработка и отладка встроенного программно-математического обеспечения, поскольку она требует высоких трудозатрат, а также специальной подготовки и навыков решения задач в области инерциальной навигации и теории фильтрации.

В различных областях деятельности широкое применение находят современные средства автоматизации проектирования. Известны как универсальные (MathCad, MathLab), так и специализированные пакеты, решающие задачи проектирования в разных областях современной техники (Vissim, Solid Works, Cosmos, ArxiCad, AutoCad, KIDYM и многие другие), однако специальных программных средств для разработки и отладки встроенного программно-математического обеспечения для современных навигационных систем до настоящего времени не создано.

**Описание проекта.** На кафедре систем и процессов управления НТУ «ХПИ» коллективом авторов развернута работа по созданию специализированного программного средства, позволяющего широкому кругу потенциальных пользователей, не имеющих специальной компьютерной и математической подготовки, выполнить весь цикл проектирования навигационной системы: от разработки и уточнения требований к системе и выбора будущей ее конфигурации до генерирования кода прошивки вычислителя для ИИСНС, а также проведения исследований эффективности его работы с учетом основных планируемых характеристик системы.

Целью проекта является разработка программного комплекса для автоматизации проектирования математического обеспечения (МО) навигационных систем (НС) различной конфигурации и приборного состава.

Проектируемое целевое математическое обеспечение НС включает в себя:

- алгоритмы бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), построенных на базе не менее чем трех гироскопов и трех акселерометров, в том числе алгоритмы выставки и докалибровки;
- алгоритмы коррекции БИНС по измерениям дополнительных датчиков, определяемых пользователем (высотомер, одометр, магнитный курсоуказатель и др.);
- алгоритмы комплексирования инерциальной информации и информации от СРНС;
- алгоритмы обработки «сырых данных» от навигационных спутников, аналогичные алгоритмам вторичной обработки информации в приемной аппаратуре сигналов СРНС;
- алгоритмы прогноза текущего состояния радиовидимого созвездия спутников СРНС (GPS/ГЛОНАСС) по маршруту движения объекта (функция PRAIM).

В каждом из перечисленных пунктов, за исключением двух последних, предполагается вариативность исполнения, позволяющая пользователю выбрать оптимальный вариант МО с учетом потенциальной загрузки целевого вычислителя при достаточной точности инерциального счисления, определяемой выбранным типом гироскопов и акселерометров.

Область использования комплекса: проектирование аппаратной составляющей и МО навигационных систем невысокой стоимости (для беспилотных летательных аппаратов, наземных и водных транспортных средств), создание исходных данных для отладки собственного МО НС пользователя. Комплекс может использоваться также в учебном процессе по дисциплине «Навигация и навигационные системы», в курсовом и дипломном проектировании политехнических и авиационных университетов. Программный комплекс ориентирован на широкий круг потребителей, как специалистов, так и неспециалистов в области навигации.

Основные функции комплекса:

1. Имитационное моделирование.

В этом режиме генерируются измерения датчиков и параметры движения объекта, необходимые для тестирования математического обеспечения НС. К ним относятся:

угловая скорость вращения и линейное ускорение носителя в проекциях на связанные оси, эталонные значения координат и скоростей, другие вспомогательные параметры (длина пути, баровысота, воздушная скорость и пр.). Будут реализованы функции проверки противоречивости исходных данных, вводимых пользователем, и «подсказок» по их корректному заданию.

Опции режима:

- Тип подвижного объекта (летательный аппарат, наземный/водный транспорт);
- Характер движения (выбирается из списка, либо проектируется пользователем с помощью графических средств пакета)
- Состав и конфигурация датчиков;
- Частота обновления измерений;
- Характеристики погрешностей датчиков;
- Состав эталонных значений параметров движения;
- Форма представления генерируемых данных.

2. Проектирование МО верхнего уровня навигационной системы (бесплатформенная инерциальная НС или интегрированная инерциально-спутниковая НС);

В этом режиме генерируется навигационное МО верхнего уровня в виде исходного кода.

Опции режима:

- Тип проектируемой навигационной системы (бесплатформенная инерциальная НС или интегрированная инерциально-спутниковая НС);
- Состав и характеристики датчиков (основных и дополнительных);
- Характеристика входных сигналов;
- Выбор конкретного алгоритма из предлагаемых типовых блоков МО (задача ориентации, навигации, комплексирования данных, коррекция измерений, фильтрация выходных параметров движения и др.);
- Состав вырабатываемых НС параметров движения;
- Условия тестирования.

3. Обучающая функция. Предполагается реализовать раздел «теоретического описания» по основным элементам БИНС и ИИСНС (статьи «Обзор датчиков», «Элементы теории фильтрация», «Методы интегрирования» и т.п. с указанием источников и актуальных сетевых ресурсов).

**Описание программной реализации.** Архитектура программного комплекса основывается на технологии MVC (модель-представление-контроллер). Данная архитектура позволяет выделить фрагменты кода, отвечающие за взаимодействие с пользователем и отделить их от тех частей программы, которые предназначены для выполнения сложных расчетов или реализации бизнес логики [3].

Архитектура MVC определяет три роли, в которых выступают различные компоненты системы. Модель описывает проблемную область – т.е. задачи, для решения которых и создано приложение. Представление – это программные средства, которые предоставляют информацию пользователю. Контроллер выступает связующим звеном между моделью и представлением, которые не имеют возможности непосредственно взаимодействовать друг с другом[4]. Графический интерфейс программного комплекса приведен на рис. 1.

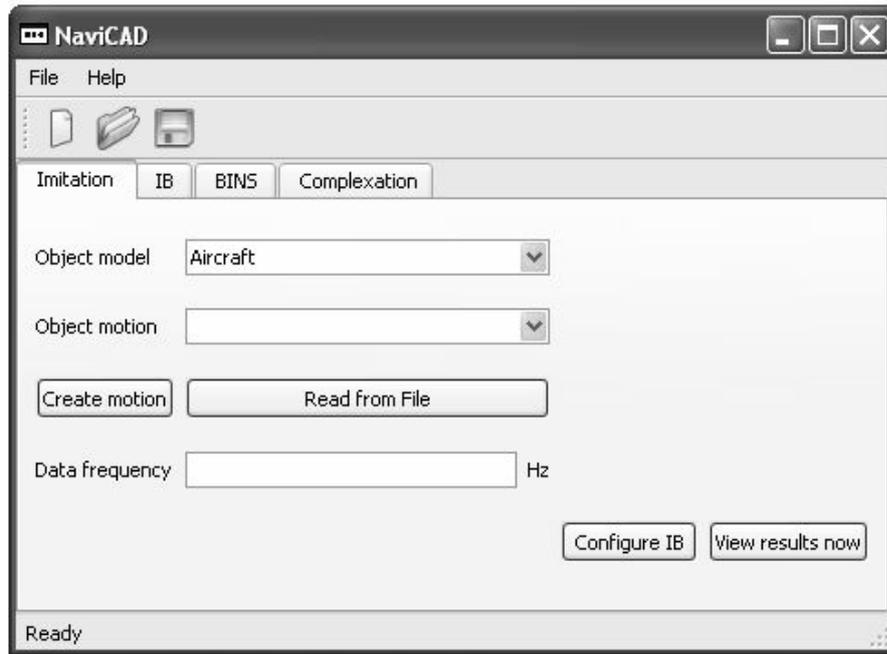


Рисунок 1 – Графический интерфейс комплекса NaviCad

После задания всех необходимых параметров пользователь может протестировать построенную им навигационную систему, посмотреть точностные характеристики и сгенерировать требуемое МО НС. Структурная схема программы представлена на рис. 2:

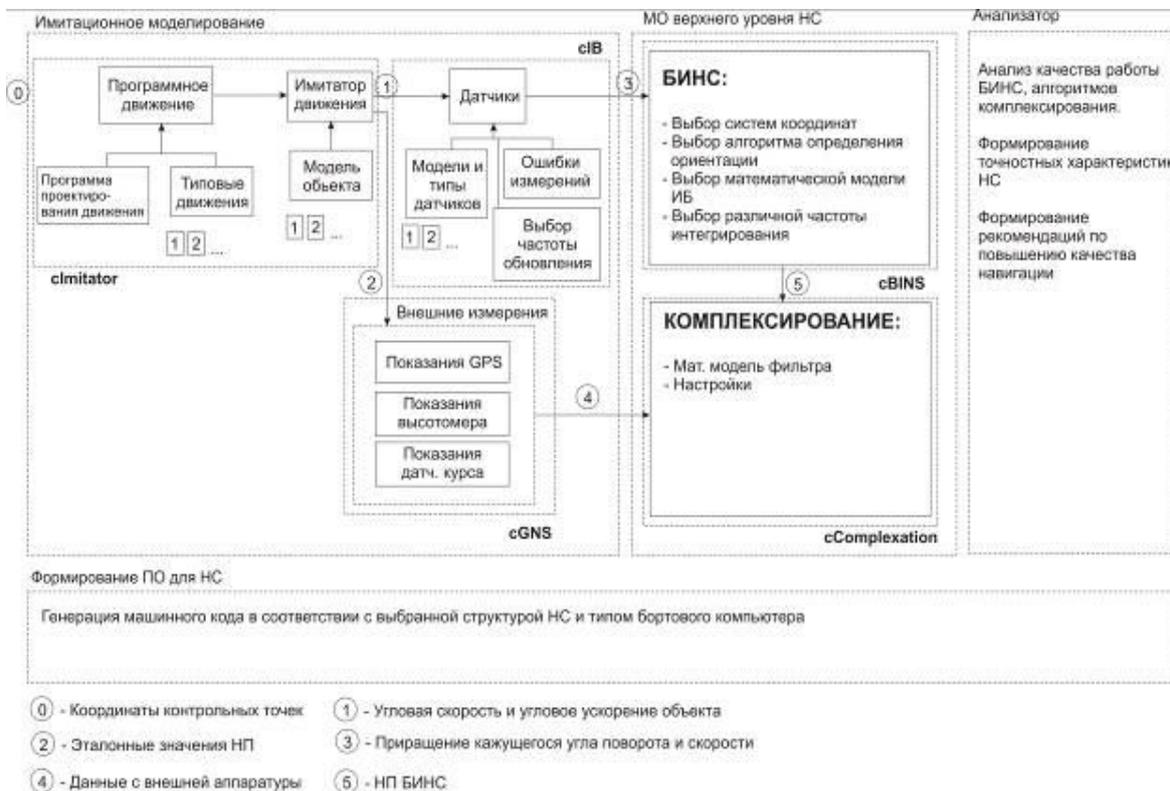


Рисунок 2 – Структурная схема программы

Как видно из схемы, программа состоит из 4-х частей:

1. Имитационное моделирование. Данный модуль генерирует эталонные значения навигационных параметров, а также данные об угловой скорости и ускорения объекта. В качестве входных параметров модуля задается тип подвижного объекта, требуемое движение, информация о составе и типе датчиков.

2. МО верхнего уровня НС. Данный модуль генерирует показания НС. В качестве входных параметров модуля задается набор алгоритмов функционирования МО, а также информация из модуля имитационного моделирования.

3. Анализатор. Данный модуль производит анализ работы НС, формирует его точностные характеристики, по запросу пользователя формирует рекомендации по повышению качества навигации.

4. Формирование ПО для НС. Данный модуль на основе выбранных параметров и настроек НС формирует прошивку МО НС для определенного пользователем типа микросхемы. Предполагается, что будет предусмотрена генерация прошивки с учетом производительности микросхем.

Одной из важных проблем, решаемых при создании программного комплекса NaviCad, является разработка адекватных моделей движения рассматриваемых транспортных средств. Прикладное математическое обеспечение разрабатывается на основе решения прямых и обратных задач динамики [5] с использованием динамической и кинематической модели управляемого движения воздушных летательных аппаратов [6], имитационных моделей движения водного и наземного транспорта.

В настоящее время версия программного комплекса содержит имитатор движения малого воздушного летательного аппарата; имитатор функционирования блока инерциальных датчиков; базовые алгоритмы БИНС и алгоритмы комплексирования инерциальной и спутниковой информации.

На рис 3. приведен экран редактирования, в котором задается траектория движения беспилотного летательного аппарата (БЛА) для последующей генерации инерциальных измерений. Предварительно, до построения траектории, пользователь в интерактивном режиме задает минимальный для описания динамики БЛА набор конструктивных и эксплуатационных параметров: массу аппарата, площадь и размах крыльев, площадь обтекаемой поверхности, минимальное и максимальное значения силы тяги двигателя, максимально допустимые углы атаки и крена, характерную скорость движения в установившемся режиме [7].

Система осуществляет контроль их непротиворечивости и, в случае отрицательного результата, вырабатывает «рекомендуемые значения». После согласования указанных параметров пользователь задает реперные точки горизонтального маршрута и вертикальный профиль полета (рис.3). С учетом установленных ограничений на управляющие функции (угол атаки, угол крена, сила тяги двигателя) по методу «преследования ведущей точки» [8] формируется реализуемая траектория движения, проходящая через назначенные точки маршрута, и одновременно, с высокой частотой обновления, генерируется угловая скорость и перегрузки в проекциях на связанные оси, соответствующие управляемому движению аппарата.

Указанные динамические характеристики в качестве входных данных поступают затем в блок имитации работы инерциального блока.

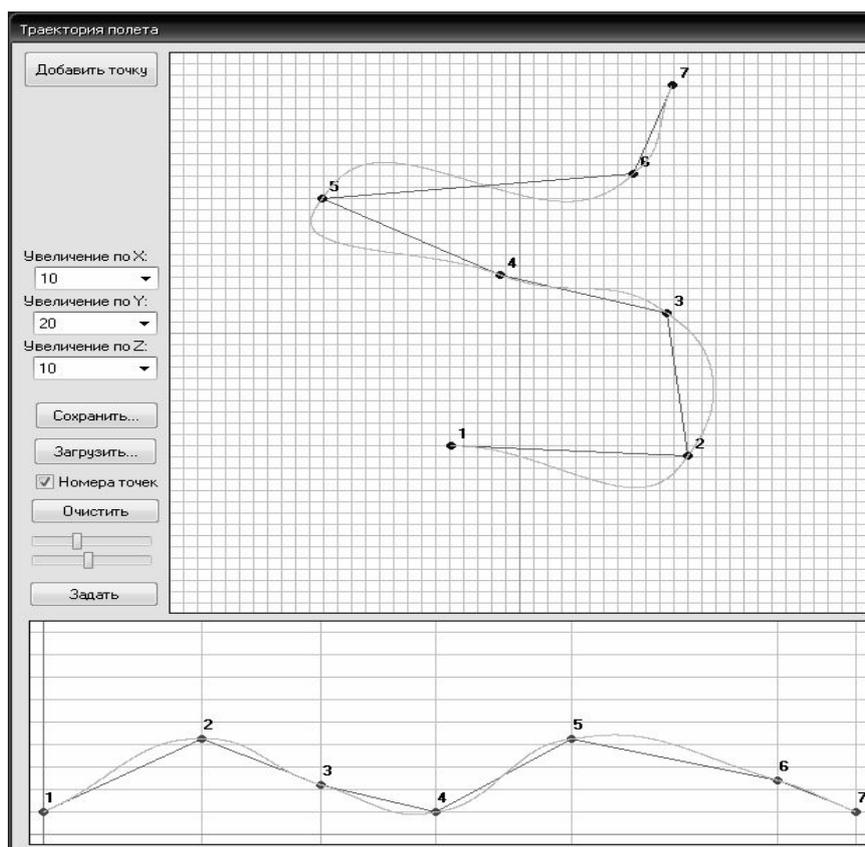


Рисунок 3 - Экран редактирования для задания маршрута и вертикального профиля полета

**Заключение.** Таким образом, программный продукт, предназначенный для проектирования и верификации математического обеспечения навигационных систем, благодаря выбранной архитектуре будет обладать достаточной степенью гибкости, что позволит в будущем расширять его функциональность. Интуитивно понятный интерфейс требует от пользователей минимальной теоретической базы в области навигационных систем и позволит сэкономить время и затраты на формирование МО НС.

Разработанный программный комплекс NaviCad позволит значительно упростить и ускорить процессы проектирования современных навигационных систем, обеспечивая при этом надежность и функциональность получаемого программного кода.

Литература: 1. Степанов О.А. Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации // Сб. статей и докладов. – С.-Петербург: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». - 2001. 2. Картунов В.И., Дыбская И.Ю., Проскура Г.А., Кравчук А.С. Использование интегрированной мини-БИНС на основе МЭМС-датчиков для управления беспилотным летательным аппаратом. В кн. Юбилейная XV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сборник материалов. – 2008. С.277-280. 3. Дейв Крейн, Эрик Паскарелло. Аjax в действии. М: Вильямс. – 2008 – 639с. 4. Гамма Э., Хелм Р. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. С.-Петербург Ж Питер. – 2009 – 368с. 5. Успенский В.Б. Имитационная модель движения летательного аппарата // Вісник інженерної академії України.-2001.- №3 (Частина 2). – Київ. - С.59-62. 6. Тарасенков А.М., Брага В.Г., Тараненко В.Т. Динамика полета и боевого маневрирования летательных аппаратов. - Изд. ВВИА им. Жуковского. – 1984. – 512 с. 7. Артамонова Л.Г., Кузнецов А.В.,

Песецкая Н.Н. Поверочный расчет аэродинамических характеристик самолета. Учебное пособие. - М: МАИ. – 2007 - 112с. 8. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука. – 1987. – 304 с.

Асютин О.Д., Бреславський Д.В., Резнік С.А., Телеусов В.М., Успенський В.Б., Фролов І.В.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ NAVICAD ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В статті надано короткий огляд програмного пакету NaviCAD, що розробляється, та який призначено для вирішення різноманітних навігаційних задач. Проект орієнтований на широке коло користувачів. Описується постановка задачі, концепція проекту, загальні підходи та архітектура рішення.

Asyutin A.D., Breslavsky D.V., Reznik S.A., Teleusov V.N., Uspensky V.B., Frolov I.V.

NAVICAD PROGRAM DEVELOPMENT FOR DESIGN AND VERIFICATION OF MATHEMATICAL SOFTWARE OF NAVIGATION SYSTEMS

A shortly review of the program package NaviCAD is presented in the paper. This software, which is being under development now, is designed for solving a wide range of navigation tasks. The project is addressed on a wide range of users. The Problem, Project Concept, common approaches and solutions architecture are described.

---