

# Инструментарий проектирования информационно-измерительных устройств командных гироскопических приборов

Р. И. Сольницев<sup>1</sup>, Я. Л. Шамрай<sup>2</sup>

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>1</sup>ssccte.leti@gmail.com, <sup>2</sup>yago1987@yandex.ru

**Аннотация.** В докладе рассматриваются средства САПР «сквозного» проектирования информационно-измерительных устройств командных гироскопических приборов. Описывается типовая декомпозиция таких устройств на блоки и связанные с ней сложности на основных этапах проектирования. Раскрываются проблемы взаимодействия существующих узкоспециальных инструментов САПР отдельных блоков устройства. Предлагается новый инструментарий проектировщика рассматриваемых устройств, призванный учесть их системные свойства, облегчить процесс проектирования, а также обеспечить повышение точности при одновременном снижении массогабаритных характеристик. Рассматриваются основные составляющие математического и программного обеспечения предлагаемого инструментария.

**Ключевые слова:** информационно-измерительные устройства; системы автоматизированного проектирования; командные гироскопические приборы; моделирование; погрешность; вероятностные характеристики

## I. ВВЕДЕНИЕ

Информационно-измерительные устройства (ИИУ) находят повсеместное применение в современной технике, в частности – в автоматизированных системах управления различными объектами. К разрабатываемым ИИУ предъявляются все более высокие требования по точности, быстродействию, надежности, массе, габаритам, стоимости. Общей тенденцией является усложнение структуры ИИУ и объема выполняемых ими функций. Указанные обстоятельства значительно усложняют процесс проектирования ИИУ, что требует разработки специализированных САПР.

Существующие САПР предназначены для универсального применения и, по умолчанию, не предоставляют достаточных средств для учета специфики ИИУ командных гироскопических приборов.

Командные приборы – особый класс навигационных приборов, предназначенных для навигации и управления аэрокосмическими объектами. Одними из основных элементов командных приборов являются цифровые преобразователи угла (ЦПУ), представляющие собой ИИУ, решающее задачу измерения углового положения [1].

Далее в настоящем докладе будем обозначать такие устройства как ИИУ КП.

Поскольку ИИУ КП представляют собой частный случай средства измерения, при их проектировании справедливо могут быть использованы подходы, имеющие место для информационно-измерительных систем (ИИС).

ИИС – совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки в целях предоставления потребителю в требуемом виде либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации [2].

ИИС, содержащая в своем составе программно-управляемые цифровые вычислительные средства (микропроцессоры, ЭВМ), должны рассматриваться как измерительно-вычислительная система (ИВС) для учета влияния вычислительной компоненты на свойства устройства в целом.

Необходимо отметить, что такие устройства как ИИУ КП являются гетерогенными и включают электро-механическую и электронную части. Таким образом, в процессе проектирования должны учитываться соответствующие взаимосвязи, необходима соответствующая организация проектных процедур.

Принципы разработки подсистем САПР ИИУ КП, удовлетворяющих всей совокупности требований к такому инструментарию, рассматриваются в настоящем докладе.

## II. МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИИУ КП

В настоящее время процесс проектирования ИИУ КП на алгоритмическом и функциональном уровне реализуется с применением метода сравнительного анализа, суть которого сводится к сопоставлению характеристик ряда эвристически выбранных вариантов устройства [3]. Основные этапы реализации указанного метода для ИИУ КП представлены на рис. 1.

Для выполнения автоматизированного проектирования необходимо наличие математических моделей и программных средств на их основе, обеспечивающих

применение ЭВМ как при формировании вариантов, так и при определении характеристик этих вариантов, заданных в техническом задании (ТЗ).

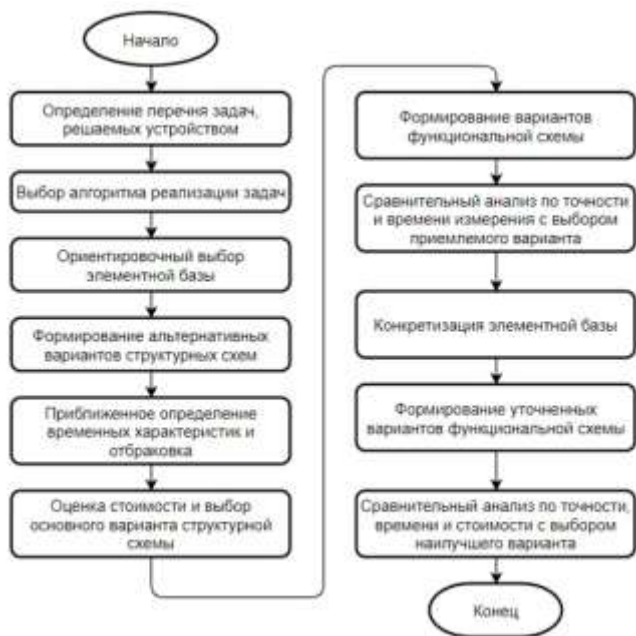


Рис. 1. Этапы реализации метода сравнительного анализа при проектировании ИИУ КП

В силу сложной организации ИИУ КП процесс проектирования включает отдельную проработку отдельных узлов устройства, а также проектные процедуры для устройства в целом.

### III. НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Большая часть существующих средств САПР предназначены именно для проектирования отдельных узлов ИИУ КП. Следует также отметить, что эти средства отвечают в основном более поздним стадиям проектирования – конструкторской и технологической проработке. Этап системотехнического проектирования зачастую автоматизируется не специализированными средствами, а универсальными системами математического моделирования типа Matlab, Simulink, Maple. Данное обстоятельство требует значительно более высокой квалификации проектировщика. Кроме того, общеизвестной проблемой является организация интерфейсов между программными продуктами разных производителей при переходе от одной проектной процедуры к другой, автоматизируемых разными средствами.

К недостаткам существующих средств автоматизации также можно отнести следующие:

- не учитывается специфика ИИУ КП как измерительного устройства (отсутствие инструментов для метрологического анализа на этапе проектирования);

- недостаточная степень автоматизации в части анализа альтернативных вариантов на стадии технического предложения, когда элементная база определена лишь приближенно;
- моделирование производится в основном для отдельных узлов без учета системных связей в рамках ИИУ КП;
- построение модели системы в целом оказывается сложным процессом, поскольку в качестве «строительных блоков» выступают средства общего назначения, а не проблемно-ориентированные;
- проблемно-ориентированные решения имеют фрагментарный характер, зачастую не подлежат расширению и модернизации;
- часть проблемно-ориентированных САПР имеет устаревшую на уровне программного обеспечения (ПО) реализацию.

Разрешение указанных проблем требует разработки средств для автоматизации метрологического анализа на этапе проектирования, средств моделирования ИИУ КП с учетом приближенного выбора элементной базы и распределения функций между аппаратурой и ПО. Необходима реализация алгоритмов и методик моделирования ИИУ КП как системы на основе проблемно-ориентированных средств [4]. ПО должно обладать модульной архитектурой на базе ядра, инвариантного относительно моделей элементов ИИУ КП.

### IV. ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИИУ КП И ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В обобщенном виде ИИУ КП может быть представлено как набор взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, каждый из которых моделирует элементарное измерительное преобразование. Базовая модель измерительного канала представлена на рис. 2.



Рис. 2. Базовая модель измерительного канала

На рис. 2 приняты следующие обозначения: ПИП – первичный измерительный преобразователь; НП – нормирующий преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦП – цифровой процессор.

Предлагаемая подсистема САПР предоставляет проблемно-ориентированные библиотеки по типам элементов: ПИП, аналоговые элементы, АЦП и т. д. (рис. 3). Модели элементов создаются разработчиком САПР.

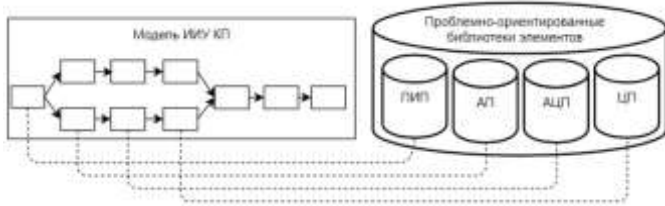


Рис. 3. Проблемно-ориентированные библиотеки элементов как основа построения модели ИИУ КП

Задача учета специфики проектируемого ИИУ КП разделяется между САПР и проектировщиком. САПР обеспечивает модели элементов, а проектировщик описывает модель системы в целом путем выбора требуемых элементов и установления связей между ними.

Это дает инженеру определенную свободу, не ограничивая его конкретным типом моделируемого ИИУ КП. Например, если рассматривается ИИУ КП на базе синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (СКВТ), разработчик устройства может построить модель любого из двух типов таких преобразователей – фазового ЦПУ или амплитудного ЦПУ, исходя при этом из своего опыта и положений ТЗ.

Основное назначение моделей элементов – обеспечить возможность определения вероятностно-статистических характеристик погрешностей измерительных преобразований по результатам моделирования ИИУ КП.

#### V. БАЗЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В предлагаемой подсистеме САПР в рассмотрение введены два типа моделей элементов и соответствующие им виды вычислительного эксперимента.

Основным подходом, применяемым для моделирования измерительных преобразований в цифровой части устройства, является имитационное моделирование в силу того, что другим способом определить вероятностно-статистические характеристики погрешностей результатов вычислений затруднительно. Исходя из этого, элементам, представляющим цифровую часть ИИУ КП, отвечают имитационные модели.

Разработка имитационных моделей для аналоговой части не всегда оправдана, поскольку достижение высокой степени адекватности моделируемых и реальных передаточных функций затрудняется характером причин неидеальной реализации измерительных преобразований аналоговыми элементами. Поэтому в качестве математической модели аналоговых элементов может быть использована аналитическая зависимость между входным воздействием, влияющими факторами, параметрами выполняемого преобразования и погрешностью результата.

В качестве весьма перспективного можно обозначить следующий подход к моделированию аналоговой части. Процесс измерений сводится к оценке входного сигнала  $X$  по выходному сигналу  $Y$ , что может быть выражено операторным уравнением:

$$Y = L(X). \quad (1)$$

В уравнении (1)  $L$  есть оператор, например, в классе обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Исходя из вида базовой модели, представленной на рис. 2, этот оператор, прежде всего, включает описания ПИП и НП.

«Алгебраизация» оператора  $L$  может быть сведена к связи разложений  $Y(t)$  и  $X(t)$  во временные ряды с неизвестными коэффициентами, например, – в ряды Фурье:

$$\left. \begin{aligned} Y(t) &= \sum_{i=0}^n \varphi_i a_i \\ X(t) &= \sum_{i=0}^n \varphi_i b_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Подставляя ряды, заданные соотношениями (2) в заранее составленные уравнения типа (1) можно свести основную задачу моделирования к решению системы алгебраических уравнений.

Процесс проектирования ИИУ КП сопровождается при этом вероятностными оценками качества, в частности – точности устройства, на основе ОДУ по отношению к плотности вероятности распределения ошибок измерения.

#### VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем докладе рассмотрен подход к построению инструментария проектировщика информационно-измерительных устройств командных гироскопических приборов. Приведенный анализ недостатков существующих средств и базовые рекомендации по разработке моделей элементов ИИУ КП и устройства в целом представляют перспективной основой создания специализированных САПР в этой области.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Александров Ю.С., Арефьев В.П., Артемьев О.А., Виноградов М.А., Зелинский В.А., Костырев В.М., Кучерков С.Г., Смирнов А.М., Сорокин А.В. Прецизионной комплекс командных приборов инерциальной системы управления разгонным блоком «Бриз-М» на базе гироскопов с газостатическим подвесом // Гироскопия и навигация. 2000. №4. С. 5-10.
- [2] Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. М.: Энергоатомиздат. 1985. 439 с.
- [3] Автоматизация проектирования аналого-цифровых устройств / Под ред. Э.И. Гитиса. М.: Энергоатомиздат. 1987. 184 с.
- [4] Построение САПР интеллектуальных преобразователей угла / Р.И. Сольников, Я.Л. Шамрай // XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2016). Сборник докладов в 2-х томах. Санкт-Петербург. 25-27 мая 2016 г. Т.2. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб. 2016. С. 145-147.