

2. Методы календарного планирования производства. – (Электронный ресурс:<http://www.economic-s.ru/index.php/theory/operativnoe-planirovanie-opp/metodyi-kalendarnogo-planirovaniya-pr>). Дата обращения 15.02.2017).
3. Ахунова Е.В., Коблов Н.Н. Диспетчеризация процессов на приборостроительном предприятии // Инженерия для освоения космоса: сб. науч. тр. IV Всерос. форума с междунар. участием. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2016. – С. 172–175.

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Баглаева Е.А.<sup>1</sup>, Цапко С.Г.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Цапко С.Г., профессор, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: eab14@tpu.ru

## **PDM SYSTEM FOR SPACECRAFT ON-BOARD SOFTWARE**

Baglaeva E.A.<sup>1</sup>, Tsapko S.G.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., PhD, Tsapko S.G.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: eab14@tpu.ru

*В данной статье рассматриваются ключевые вопросы, касающиеся необходимости внедрения и использования PDM-системы в контексте управления жизненным циклом космических аппаратов. Проанализированы характерные особенности проектирования бортового программного обеспечения и их влияние на функциональные и нефункциональные требования к PDM-системе. В результате исследования приводятся характеристики PDM-системы САПР БПО, разработанной с учетом заявленных в статье вопросов.*

*This article discusses the key issues related to the need of implementing and using the PDM-system in the context of spacecraft life cycle management. We analyzed the characteristics of the onboard software design and its impact on the functional and non-functional requirements for the PDM-system. The study summarizes with the characteristics of the PDM-system, named SAPR BPO, which was developed to meet the issues stated in this paper.*

Современные методики проектирования бортового программного обеспечения (БПО) космических аппаратов (КА) нуждаются в автоматизированной поддержке, позволяющей преодолеть наиболее распространенные трудности, с которыми сталкивается проектант на всех этапах жизненного цикла программного обеспечения.

Среди наиболее актуальных возникающих проблем при проектировании БПО можно выделить: непонимание между специалистами по бортовым системам, проектантами, программистами; большой объем программной документации, требующий актуализации; противоречивость требований к программному обеспечению.

Для задач проектирования БПО характерны следующие особенности: большое число программных компонент, многоверсионность однотипных изделий, долгий срок эксплуатации, штучное производство изделий, сложная сборка изделий.

Большое число программных компонент обусловлено тем, что бортовой комплекс управления космическим аппаратом (БКУ КА) в общих чертах содержит следующие типы систем: бортовая вычислительная система, система управления движением и навигацией, система управления бортовой аппаратурой, бортовая аппаратура служебного канала управления, система бортовых измерений,

программное обеспечение бортового комплекса управления [1]. Каждая из перечисленных систем состоит из программных компонентов, их слаженное взаимодействие которых гарантирует надежность и длительный срок бесперебойной эксплуатации космического аппарата.

Поскольку срок проектирования бортовых приборов и систем может занимать до 3–5 лет, причем в первые годы эксплуатации КА нередко возникают доработки и вносятся изменения, возникает проблема отслеживания новых версий одного изделия. Использование единого хранилища технологической и конструкторской информации позволит управлять историей изменения версий однотипных изделий.

В течение всего длительного срока эксплуатации КА (порядка 10 лет) существует необходимость хранить достоверную информацию о выпущенном изделии с учётом того, что за время опытной эксплуатации изделия будут созданы новые версии данного изделия, что подразумевает значительный рост объемов хранимой информации, к которому должна быть подготовлена PDM-система.

Штучное производство изделий обусловлено тем, что космические аппараты проектируются и изготавливаются по индивидуальным проектам – это приводит к низкой связанности экземпляров изделий между собой, за исключением разных версий одного изделия.

Сложная сборка и большое число составных элементов изделия (как программных систем, так и физических модулей) требуют чёткого и структурированного подхода к хранению, внесению изменений и их отслеживанию, приспособленного под нужды проектанта.

Система автоматизированного проектирования бортового программного обеспечения (САПР БПО) реализована согласно концепциям PDM-систем и обеспечивает функционал управления конструкторской и технологической информацией об изделии, управления документами для автоматизации построения актуальной, точной и полной программной документации [2].

Для реализации САПР БПО была выбрана трёхзвенная архитектура, согласно которой в системе выделяются три следующих компонента: клиентское приложение, сервер приложений и сервер базы данных, к которому за информацией обо всех объектах системы обращается сервер приложений. Клиентское приложение разработано на платформе .NET и использованием технологии WPF для графического интерфейса. Сервер приложений представляет собой набор WCF сервисов платформы .NET и реализует основную часть бизнес-логики. Сервер базы данных отвечает за хранение данных (в том числе их изменение и возможное восстановление) и представляет собой реляционную СУБД Microsoft SQL Server 2014.



*Рис. 1. Архитектура компонентов САПР БПО*

Для данного типа архитектуры существуют следующие преимущества и ограничения в данной ситуации: масштабируемость (управление числом подключённых пользователей); конфигурируемость (изолированность компонентов друг от друга, упрощающая развертывание системы); безопасность (исключён прямой доступ пользователя к базе данных, действия пользователя координируются с сервером приложений, что позволяет избежать возникновения по вине пользователя ошибок целостности данных);

отказоустойчивость (возможно отдельное резервирование как базы данных, так и состояния сервера базы данных); невысокие требования к производительности клиентских машин; невозможность работы клиентского приложения без наличия соединения с сервером приложений.

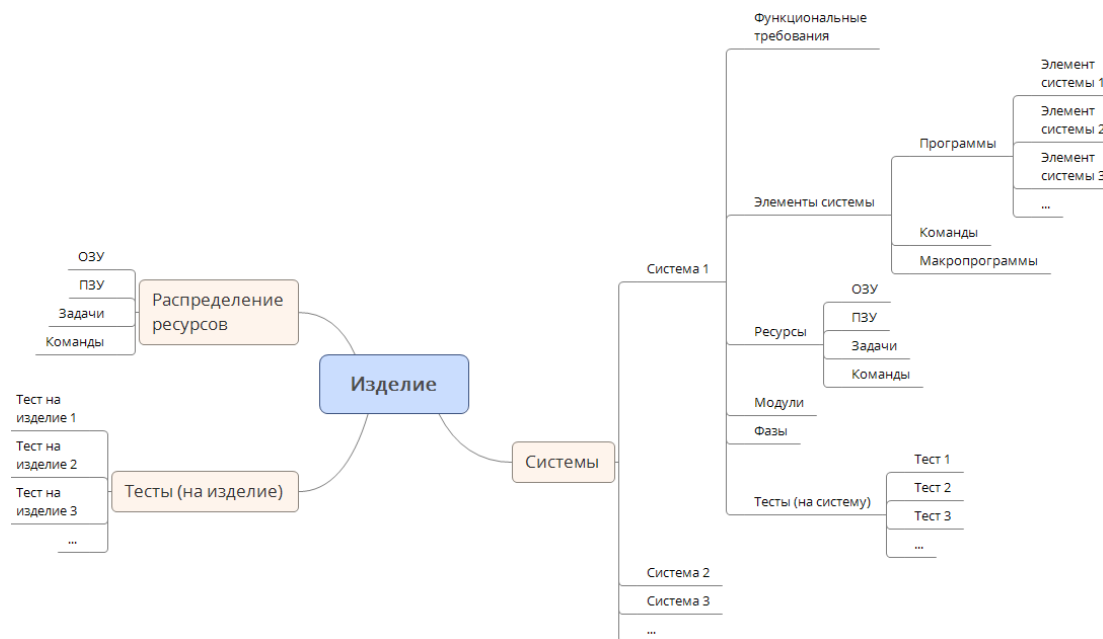


Рис. 2. Иерархия объектов в САПР БПО

Функционал САПР БПО как PDM-системы затрагивает вопросы управления технологической информацией об изделиях, формирования документации и решения задач, возникающих в ходе проектирования и многоэтапной доработки бортового программного обеспечения, без привязки к планированию потоков работ и процессов.

Основные возможности САПР БПО в контексте управление информацией об изделиях содержат: управление информацией о системах (включая функциональные требования, программы, ресурсы, модули, фазы и тесты на изделие), мониторинг распределения ресурсов (включая ОЗУ, ПЗУ, задачи и команды), управление тестами на изделие, автоматизированная генерация документации об изделии.

Дополнительные возможности САПР БПО включают в себя управление функциональными требованиям и управление тестами, с помощью которых достигается формализация тестирования и верификации бортового программного обеспечения с обеспечением требуемой полноты покрытия.

Областью применения САПР БПО является отрасль проектирования космических аппаратов, управления их жизненным циклом. Данные, накопленные внутри САПР БПО, могут применяться во внешних системах, к примеру, для расчёта показателей надёжности и для помощи в выявлении возможных видов отказов элементов аппаратуры, причин, механизмов, условий возникновения и развития [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микрин Е.А. и др. Принципы построения бортовых комплексов управления автоматических космических аппаратов // Проблемы управления. – 2004. – № 3. – С. 62–66.

2. Беспалов В., Клишин В., Краюшкин В. Развитие систем PDM: вчера, сегодня, завтра... Что такое система PDM сегодня: состав и функциональность. // САПР и графика – (Электронный ресурс: <http://sapr.ru/article/8257>). Дата обращения 09.03.2017.
3. Ларин В.П., Шелест Д.К. Формирование информационного обеспечения надежности бортовой аппаратуры на стадии проектирования // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 4 (59). – С. 93–97.

## **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАССИВНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Дамдинов Б.О.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: damdinov.94@mail.ru

## **CONSTRUCTION AND WORKING PRINCIPLE OF THE PASSIVE GRAVITY-GRADIENT STABILIZATION FOR SMALL SPACECRAFT**

Damdinov B.O.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Kostyuchenko T.G.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: damdinov.94@mail.ru

*Рассматриваются пассивные системы ориентации, требующие точного предварительного анализа динамики. В качестве самой оптимальной пассивной системой ориентации взята гравитационная система ориентации. Описан принцип действия такой системы ориентации и предварительная компоновка спутника с этой системой.*

*The passive navigation systems considered demanding the exact preliminary analysis of dynamics. As the most optimum passive navigation system the gravitational navigation system is taken. The principle of orientation of this navigation system and preliminary configuration of the satellite with this system is described.*

В Томском политехническом университете на кафедре точного приборостроения проектируется малый спутник, относящийся к классу микроспутников (массой менее 100 кг).

Одной из главных задач, в которой необходимо находить решение в течение всего использования в космосе искусственных космических аппаратов, является обеспечение их определенного заданного углового движения. Космическому аппарату задается определенное угловое движение относительно заданных ориентиров поворотом вокруг центра масс. В качестве таких ориентиров используют видимые небесные и наземные объекты (такие как звёзды, Солнце, линия горизонта) или направления в пространстве (такие как вектор напряжённости геомагнитного поля, вектор скорости набегающего потока воздуха), которые возможно измерить приборами. При этом космический аппарат, к примеру, нижней частью корпуса, на котором закреплены антенна направленного действия и видеочасть, в течение всего использования должен быть направлен на центр Земли.

Проектируемый микроспутник имеет характеристики, указанные в табл. 1.