

УДК 629.7.054.847

А.Б. Бовсуновский, А.А. Ящук, А.А. Хвалько

## БАЗА ДАННЫХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА БОРТОВОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ<sup>1</sup>

Рассмотрена архитектура базы данных расширяемого автоматизированного программного комплекса для проведения механического анализа бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов. Описаны нестандартные приемы организации и расширения спектра хранимых данных. Описан состав и назначение служебных и рабочих таблиц реляционной базы данных, а также структура файлового архива дополнительных материалов. Выделены особенности структурирования базы данных, обусловленные технологией проектирования и производства бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов. Созданная база данных опробована в составе прототипа интегрированной системы, получены удовлетворительные результаты.

**Ключевые слова:** база данных; механический анализ; интегрированная система; аэрокосмическая отрасль.

Для автоматизации проведения механического анализа бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов создается аппаратно-программный комплекс, интегрирующий различные системы проектирования и инженерного анализа. Комплекс имеет модульную архитектуру, где функционал подготовки расчетной модели, непосредственного расчета и обработки результатов разнесен по отдельным программным библиотекам (DLL-модулям). Неотъемлемой частью данного комплекса является база данных (БД), обеспечивающая хранение исходных сведений для проведения расчетов (в том числе геометрические модели), данные самих расчетов и результаты их обработки. БД программного комплекса сочетает в себе реляционную базу данных табличного типа и файловую библиотеку дополнительных материалов. Доступ к БД организован через набор программных интерфейсов, реализованных в виде специального субмодуля.

Содержимое файловой библиотеки можно разделить на три категории: архив моделей (геометрические модели и шаблоны конечно-элементных моделей), архив вариантов расчета (подготовленные «программы» для исполнения встроенным или внешним САЕ-решателем и полученные результаты расчетов), временные файлы (файлы, не имеющие практической ценности за рамками текущей сессии работы с программным комплексом).

При проектировании реляционной БД было применено несколько нестандартных решений. Одно из них – создание ряда служебных таблиц. Эти таблицы используются для унификации встраивания элементов редактирования БД в графическую оболочку комплекса, а также для описания нестандартных межтабличных связей и типов данных.

<sup>1</sup> Работа выполняется в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ от 09.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», и договора № 13.G25.31.0017 от 07.09.2010 между ОАО «ИСС» им. акад. М. Ф. Решетнева» и Минобрнауки РФ.

Служебные таблицы БД представлены в следующем составе:

- TABLES – описание (список) таблиц БД;
- FIELDS – описание полей каждой таблицы;
- ENUMS – описание предустановленных наборов значений (сопоставленные пары имени и значения);
- TYPES – описание типов элементов, на которые организованы перекрестные ссылки в рабочих и служебных таблицах;
- SETTINGS – описание настроек суб-модулей программного комплекса.

Несмотря на то, что большинство современных систем управления базами данных (СУБД) предоставляют возможности получения списка таблиц и их структуры, наличие (создание) в произвольной базе таблиц TABLES и FIELDS позволяет получить ряд дополнительных возможностей представления и обработки данных. Кроме того, унификация алгоритмов работы с БД обеспечивает перспективу дальнейшего развития комплекса в части интеграции с базами различной структуры и назначения, а также базовую совместимость последующих версий комплекса.

Некоторые рабочие параметры комплекса удобно представлять в виде варианта из предустановленного набора значений или так называемого перечисления (например, «Да» – «Нет» или «Линейная нагрузка» – «Вибрационная нагрузка» – «Ударная нагрузка»). Для хранения подобных наборов значений предназначена таблица ENUMS. При дальнейшем развитии функционала становится возможным добавлять новые варианты значений в уже имеющиеся наборы, сохраняя совместимость расчетных данных и настроек от предыдущих версий комплекса.

Большинство рабочих (неслужебных) таблиц БД организовано так, что для записей предусмотрено внутреннее структурирование (группировка). То есть некоторые из табличных записей являются служебными и не содержат иной полезной информации, кроме индекса и имени подгруппы (заголовки подгрупп). Все записи в такой таблице содержат ссылку на определенную «родительскую» подгруппу в той же таблице. Подобная организация структурирования данных лишь в незначительной степени увеличивает пространство, требуемое для хранения таблицы (за счет отказа от полезного использования большинства полей в записи подгруппы). Однако, при этом отпадает необходимость в ведении дополнительной таблицы описания подгрупп и реализации соответствующих процедур поддержки целостности данных. Кроме того, значительно облегчается и сам процесс структурирования записей, поскольку он ограничивается работой только с одной (текущей) таблицей. Структурирование данных необходимо исключительно для удобства работы пользователя. Оно находит применение, в частности, при выборе нужного материала или электрорадиоизделия из соответствующей таблицы. Названия подгрупп в этом случае могут быть заданы самим пользователем, исходя из удобной ему классификации материалов и радиоэлементов.

Еще одним нестандартным решением для реляционной БД является введение таблицы компоновочного типа. Таблица компоновочного типа служит, в частности, для описания компоновки конструктивных элементов изделия, где для элементов различных типов (электрорадиоизделия, платы, несущие рамки, крепления и пр.) необходимо задать иерархическую структуру взаимного расположения и подчиненности. Необходимость введения таблицы подобного рода обусловлена технологией проектирования радиоэлектронной аппаратуры, в которой документация на разработку печатной платы, её монтаж в блоке и монтаж блока в приборе, как правило, ведется в различных системах координат. То есть

электрорадиоизделия располагаются относительно платы, плата – относительно блока, блок – относительно «нулевой» точки прибора.

Иерархия элементов в таблице компоновочного типа обеспечивается поддерживаемой группировкой элементов, как в структурированных таблицах. То есть таблица компоновочного типа является развитием структурированной таблицы. Здесь роль подгрупп могут играть как служебные, так и рабочие записи, а ссылка на типовой элемент конструкции организуется не одним полем (индекс элемента в сторонней таблице), а двумя (индекс элемента и индекс типа элемента). Естественно, при такой организации ссылок решение задачи поддержки целостности данных целиком перекладывается с СУБД на суб-модуль комплекса по работе с БД.

Состав и наполнение рабочих таблиц БД во многом определяется технологией производства бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов, а также методами моделирования механических нагрузок [1,2]. В проектируемом комплексе используются следующие таблицы:

- CCS – описание компоновочной схемы;
- CHASSIS – описание вспомогательных элементов конструкции;
- FRAMES – описание несущих рамок;
- PCBS – описание монтажных плат;
- PIES – описание слоистых структур;
- ERIS – описание электрорадиоизделий;
- FORMS – описание вспомогательных стандартных форм (плоских и пространственных);

Для обеспечения проведения механического анализа состав БД дополнен следующими таблицами:

- FEMMODELS – описание шаблонов конечно-элементных моделей;
- MATERIALS – описание материалов и критериев их разрушения;
- CONFIGURATIONS – описание расчетных конфигураций;
- VARIANTS – варианты значений табличных полей для каждой конфигурации.

Таблица CHASSIS предназначена для описания элементов конструкции, которые выполнены из однородного материала. Это могут быть, например, крепежные элементы, рамы, кронштейны, панели корпуса прибора. Кроме того, в данную таблицу можно заносить макро-сборки и блоки, данные о детализации которых отсутствуют. Таким образом, можно проводить оценочные расчеты изделия даже не имея детальной информации обо всех его блоках.

Технология изготовления унифицированных электронных модулей бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов предполагает создание печатных плат заданной формы в виде многослойной структуры из металлизированного стеклотекстолита, клея и диэлектрических пленок с последующим закреплением на теплоотводящей металлической пластине несущей рамки. И плата, и рамка имеют стандартный прототип формы, в которой могут быть сделаны индивидуальные вырезы. Для хранения всего комплекса информации о платах и несущих рамках предназначены таблицы PCBS, FRAMES, PIES и FORMS.

Описание радиоэлементов в таблице ERIS имеет ряд существенных особенностей. При проектировании бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов соблюдаются определенные правила, по которым, например, радиодетали определенного типа помещаются только на плату, а другие – только на корпус блока. То есть для удобства ручной компоновки изделия полезно предусмотреть иерархию совместимых типов элементов. Наконец, для облегчения пользовательской классификации удобно иметь возможность не только структурировать, но и типизиро-

вать записи таблицы ERIS (например, различать резисторы, конденсаторы и т.д.). Для реализации этой возможности в таблице TYPES кроме индекса и описания типа элемента (включая иерархию совместимости) также хранится индекс таблицы, в которой расположены элементы данного типа. Таким образом, ссылка на тип конструктивного элемента присутствует как в компоновочной таблице CCS, так и в простой структурированной таблице ERIS. Кроме того, на этапе задания конечно-элементной модели для электрорадиоизделия важно указать материалы корпуса и выводов, способ крепления и критерии разрушения.

Центральное место в БД комплекса занимает таблица CCS. Она является отправной точкой для формирования расчетного задания для выделенного прибора, блока или группы элементов. Несмотря на то, что информация о компоновке изделия уже имеется в БД ОАО «ИСС» в стандартном табличном виде, эти сведения импортируются в БД комплекса и преобразуются в необходимую иерархическую структуру «дерева» компоновки.

При проектировании прототипа автоматизированного комплекса возникла необходимость расширения типового набора форматов данных, хранимых в БД. Так, возникла необходимость на базе целочисленного формата различать обычное число, набор битовых флагов или код цветности, а на базе строкового формата – обычный текст, IP-адрес, пароль доступа, путь к файлу или структуру данных в кодировке Base-64. При этом ставилась цель максимально снизить зависимость оболочки комплекса от структуры подключаемой БД и унифицировать соответствующие алгоритмы обработки данных. В результате необходимые характеристики (типы и признаки) табличных полей были описаны в таблице FIELDS и SETTINGS, а в оболочку программного комплекса встроены необходимые элементы отображения и редактирования данных.

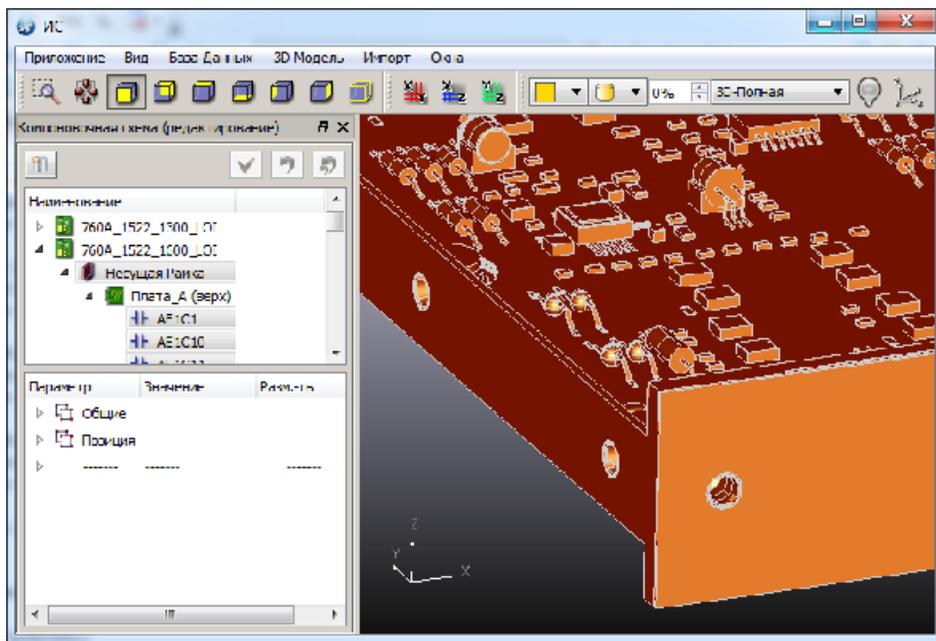


Рис. 1. Прототип графической оболочки расчетного комплекса со встроенными суб-модулями доступа к БД, импорта, отображения пространственных моделей

Созданная база данных была опробована в составе прототипа расчетного комплекса (рис. 1). Предварительное тестирование показало удовлетворительную работоспособность полного спектра средств доступа и редактирования БД, а также успешное взаимодействие с субмодулями импорта данных из БД ОАО «ИСС» и отображения пространственных моделей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Stephen A. McKeown*. Mechanical analyses of electronic packaging systems. N.Y.: Marcel Dekker Inc, 1999. P. 13–21.
2. *Автоматизированное* моделирование конструкций радиоэлектронных средств (РЭС) при комплексных воздействиях // Информационные технологии в проектировании, производстве и образовании: сб. трудов Российской научно-технической конференции, посвящ. 50-летию КГТУ и 10-летию кафедры «Прикладная математика и САПР», Ковров, июнь, 2002. Ковров: Изд-во Ковров. гос. технол. акад., 2002. С. 124–126.

Статья поступила 19.09.2011 г.

*Bovsunovskii A.B., Yashchuk A.A., Khval'ko A.A.* DATABASE OF THE INTEGRATED SYSTEM FOR THE MECHANICAL ANALYSES OF THE SPACECRAFT ON-BOARD ELECTRONIC EQUIPMENT. Database architecture of the expandable automated program complex for mechanical analysis of the spacecraft on-board electronic equipment is discussed. Nonstandard methods of data organization and expanding the stored data spectrum are described. The list and purpose of working and auxiliary tables, the structure of file library of additional data are mentioned. The peculiarities of the database structure which are related to the technology of design and manufacturing of spacecraft on-board electronic equipment are emphasized. Satisfactory results are obtained while testing the database as a part of a prototype of the integrated system.

Keywords: database; mechanical analysis; integrated system; aerospace industry.

*BOVSUNOVSKIY Aleksandr Borisovich* (Tomsk State University)

E-mail: Alexander.Bovsunovsky@niipmm.tsu.ru

*YASHCHUK Aleksey Aleksandrovich* (Tomsk State University)

E-mail: rainbow@niipmm.tsu.ru

*HVALKO Aleksandr Aleksandrovich*

(The JSC “Academician M.F. Reshetnev “Information Satellite Systems“)

E-mail: hvalko@iss-reshetnev.ru