

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

© Авторы, 2011

**А.В. Малов** – ст. инженер-программист, ООО «Электронные офисные системы (Софт)»  
E-mail: malov.anton@gmail.com

**А.С. Шалумов** – Генеральный директор ООО «CALS-технологии», д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой информационных технологий, Владимирский филиал  
Российской академии государственной службы при Президенте Российской Федерации  
E-mail: ALS140965@mail.ru

**Бу Ван Куи** – аспирант, Социалистическая республика Вьетнам

Описан метод автоматизированного синтеза конструкций РЭС на виброизоляторах. Описана автоматизированная подсистема, реализующая данный метод. Рассмотрена ее структура, возможности и принципы построения. Показана интеграция подсистемы в состав САПР АСОНИКА.

**Ключевые слова:** параметрическая, структурная оптимизация, математическая модель, радиоэлектронное средство, синтез, моделирование, виброизолятор, идентификация, программное обеспечение.

The method of automated synthesis of radio-electronic equipment on vibration isolators is described. Automated subsystem that implements this method is described. Examined its structure, features and design principles. Integration of subsystem to "ASONIKA" CAD system is shown.

**Keywords:** parametric, structural optimization, mathematical model, radio electronic equipment, synthesis, simulation, shock absorber, identification, software.

### Метод автоматизированного синтеза конструкции РЭС на виброизоляторах, стойкой к механическим воздействиям

Основу данного метода составляет электронная модель (ЭМ) радиоэлектронного средства (РЭС), хранящая в PDM-системе АСОНИКА-УМ, входящей в состав системы АСОНИКА. Электронная модель представляет собой единое пространство параметров и переменных модельного ряда, отражающего конструкторско-технологическую реализацию отдельных частей или РЭС в целом, полученную в результате проектирования и комплексных исследований характеристик РЭС средствами математического моделирования, осуществляемого, в свою очередь, в рамках информационного («электронного») взаимодействия разработчиков на любом этапе жизненного цикла РЭС с использованием CALS-идеологии. Важной составляющей метода является справочная база данных, хранящая характеристики типовых виброизоляторов и материалов элементов конструкции. Метод автоматизированного синтеза представлен на рис. 1.

Блок 1. На основе трехмерной модели РЭС происходит построение модели конструкции РЭС в подсистеме АСОНИКА-В.

Блок 2. Ввод экспериментальной характеристики, полученной в результате исследования РЭС с использованием автоматизированного вибростенда.

Блок 3. Идентификация неизвестных параметров виброизоляторов на основе полученной экспериментальной характеристики конструкции.

Блок 4. Ввод параметров виброизоляторов. На данном этапе происходит автоматический импорт параметров, полученных в результате идентификации, либо выбор типовых виброизоляторов из справочной базы данных. На данном этапе возможна корректировка зависимых от температуры параметров по результатам теплового расчета в подсистеме АСОНИКА-Т.

Блок 5. Этап оптимизации конструкции. На данном этапе происходит автоматизированный синтез конструкции для выполнения требований, указанных в НТД.

Блок 6. Параметрическая оптимизация. На данном этапе, на основе используемых методов оптимизации происходит автоматизированный выбор механических характеристик виброизоляторов, необходимых для удовлетворения требований НТД.

Блок 7. Структурный синтез конструкции. На данном этапе происходит автоматизированное варьирование числа виброизоляторов и координат их расположения с целью обеспечения требований НТД.

Блок 8. Многоуровневая виброизоляция применяется в случае невозможности обеспечения требований НТД в результате использования вышеописанных способов поиска наилучшего варианта конструкции. На данном этапе в интерактивном режиме вносятся изменения в конструкцию РЭС.

Блок 9. Проведение анализа полученной конструкции и получение результатов расчетов в виде графических зависимостей амплитуд виброускорений и перемещений от частоты или времени воздействия. На данном этапе возможен экспорт результатов расчетов для передачи в подсистему АСОНИКА-М.

Блок 10. Производится анализ результатов и принятие решений. Если полученные характеристики конструкции РЭС не удовлетворяют требованиям нормативно-технической документации, то производится внесение изменений в ЭМ, после чего процесс анализа и синтеза конструкции повторяется.

Таким образом, разработанный метод позволяет осуществлять автоматизированный синтез и анализ конструкций РЭС на виброизоляторах с целью обеспечения их стойкости к механическим воздействиям.

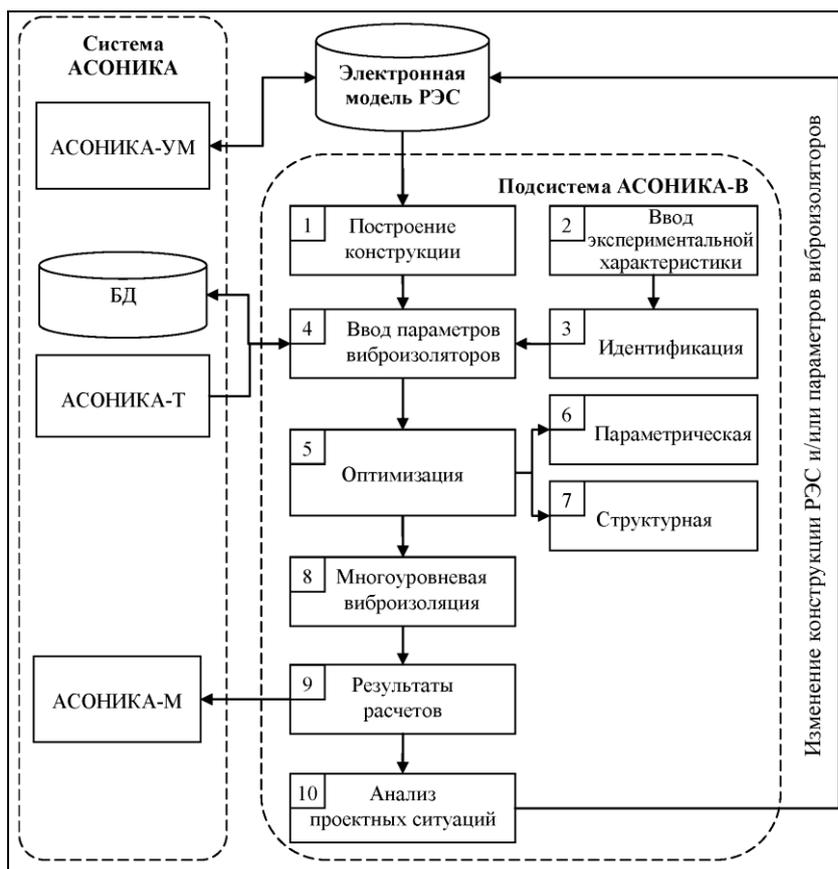


Рис. 1. Автоматизированный синтез конструкций РЭС на виброизоляторах

## Организация и структура автоматизированной подсистемы АСОНИКА-В

На основе вышеописанного метода синтеза конструкций РЭС разработана автоматизированная подсистема АСОНИКА-В. Данная подсистема предназначена для анализа механических характеристик и синтеза конструкций шкафов, стоек и блоков радиоэлектронных средств, установленных на виброизоляторах, при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударных нагрузок, линейного ускорения, при воздействии акустических шумов, а также при сложных механических воздействиях и для принятия решения на основе полученных механических характеристик с целью обеспечения стойкости радиоэлектронных средств (РЭС) к механическим воздействиям. В конструкцию может входить множество элементов в виде прямоугольных параллелепипедов с различными габаритами, а также может быть применена многоуровневая виброизоляция. По результатам расчета на ЭВМ пользователем системы может быть получена выходная информация об ускорениях и перемещениях элементов конструкции РЭС на виброизоляторах [1–3].

Программно реализованы задачи параметрического и структурного синтеза – это: 1) возможность оптимального выбора коэффициентов механических потерь и жесткости виброизоляторов по всем осям координат; 2) возможность оптимального выбора координат расположения виброизоляторов и их числа. Главным условием является не превышение допустимых ускорений в конструкциях (как правило, речь о допустимых ускорениях электрорадиоэлементов по техническим условиям (ТУ) при различных механических воздействиях). Реализована задача идентификации неизвестных механических характеристик виброизоляторов с применением компьютерного измерительного вибростенда.

Моделирование на ЭВМ механических процессов в конструкциях РЭС на виброизоляторах необходимо для:

---

проверки выполнения требований по стойкости к конструкциям РЭС на виброизоляторах при заданных механических воздействиях;

определения возможности снижения массы и габаритных размеров конструкции РЭС на виброизоляторах;

повышения стойкости конструкции РЭС к механическим воздействиям путем выбора параметров виброизоляторов их числа и координат расположения;

создания программы лабораторных и приемо-сдаточных испытаний РЭС на виброизоляторах и проверки того, пройдет ли РЭС эти испытания.

Автоматизированную подсистему наиболее целесообразно использовать при разработке РЭС, работающих при воздействии вибраций, ударов и акустических шумов в широких диапазонах частот.

Анализ опыта создания и эксплуатации автоматизированных систем конструкторского проектирования позволяет сформулировать некоторые общие принципы их построения:

1. Совместимость ручного, автоматизированного и автоматического режимов проектирования;
2. Оперативность взаимодействия подсистемы с внешней средой на всех уровнях проектирования;
3. Иерархичность построения программных средств;
4. Единство системы для группы родственных по характеру деятельности объектов;
5. Открытость системы.

Работоспособность подсистемы во многом зависит и от выполнения ряда других требований, предъявляемых к ее организации. С точки зрения разработчика – это разумное сочетание алгоритмической и объектно-ориентированной декомпозиции, обеспечивающее возможность модификации подсистемы и ее развитие; использование высокоэффективного языка программирования, обеспечивающего высокую скорость разработки и высокое быстродействие.

С точки зрения пользователя-конструктора можно отметить следующие требования:

1. Простота и доступность входного языка; конструктор должен иметь возможность составления задания на проектирование и описание входных данных в доступных ему терминах и обозначениях;

2. Прямой доступ пользователя к системе; здесь следует отметить простоту общения с системой (ввод новых данных, получение результатов расчета), исключение для пользователя из технологического цикла проектирования ряда рутинных операций (контроль ошибок входной информации, автоматическое формирование модели, диагностика состояния модели и т.д.);

3. Многофункциональность системы, т.е. возможность решать задачи проектирования для широкого круга конструкций;

Программное и информационное обеспечение системы должно включать в себя следующие основные компоненты:

модули ввода и контроля входных данных: геометрической модели конструкции, параметров ее элементов, характеристик входных воздействий;

модуль формирования моделей объектов проектирования;

расчетное ядро для осуществления моделирования, анализа разброса параметров, оптимизации, идентификации;

модули визуализации выходных данных, анализа результатов, преобразования моделей и т.п.;

базу данных (справочные данные, решенные проектные задачи, библиотеки типовых моделей и т.п.).

Сценарии диалога и систем меню, реализованные в этих программных компонентах, используют терминологию той предметной области, в которой проводятся исследования с помощью подсистемы. Результаты расчетов оформляются в виде графиков и таблиц.

Структура автоматизированной подсистемы представлена на рис. 2. Центральным компонентом подсистемы является управляющая программа (монитор), обеспечивающая связь между остальными модулями. Монитор дает возможность пользователю осуществить выбор задач, обеспечить программу входной информацией, организовать процесс управления программным обеспечением подсистемы в соответствии с принятой методикой проектирования РЭС.

Модули подсистемы позволяют осуществлять графический ввод исходных данных конструкции РЭС на виброизоляторах (см. рис. 1), графический ввод механических воздействий и экспериментальных характеристик. Препроцессор предназначен для автоматического формирования математических моделей механических процессов на основе исходных данных.

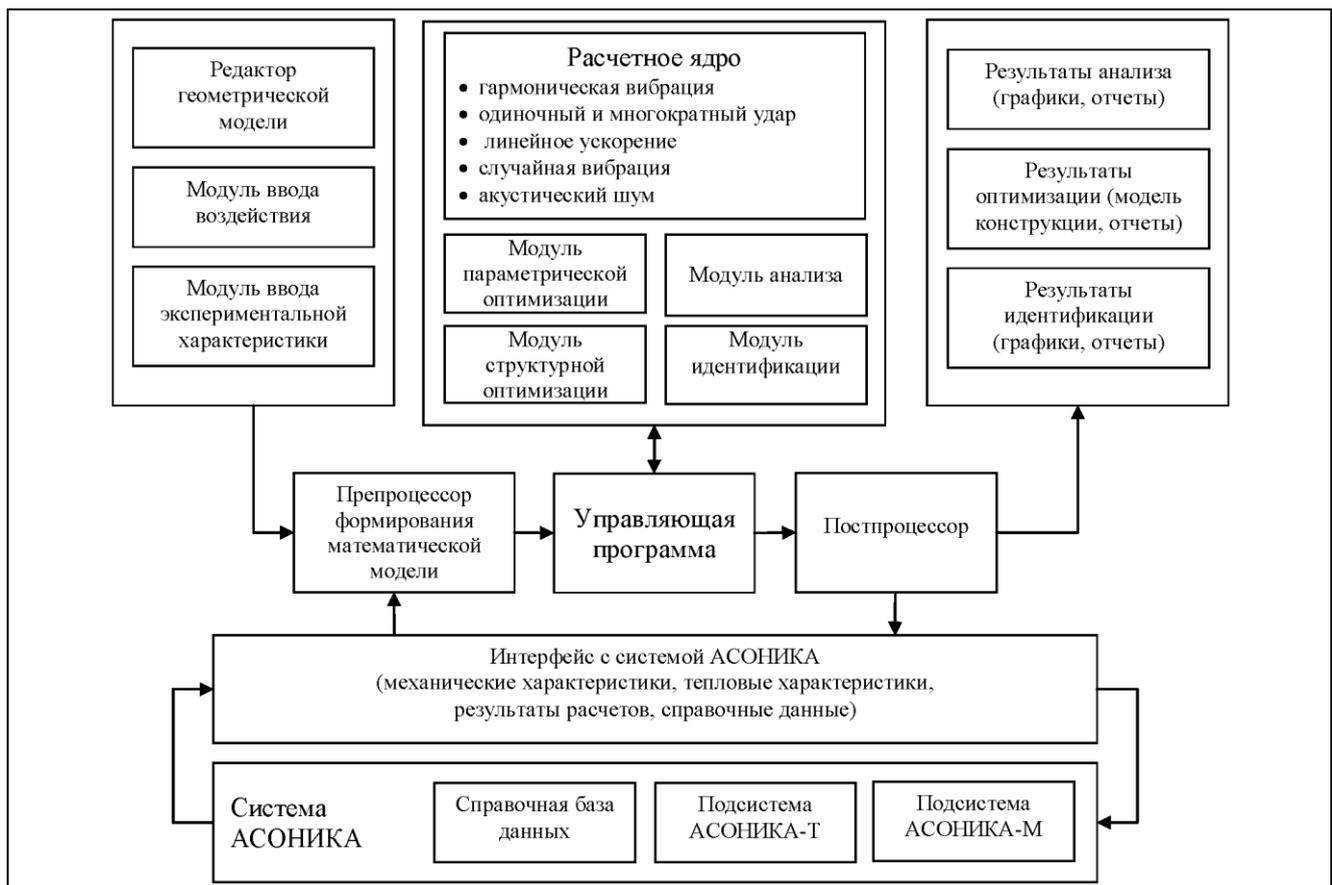


Рис. 2. Структура подсистемы АСОНИКА-В

Расчетное ядро предназначено для вычисления механических характеристик конструкции на виброизоляторах, на основе моделей механических процессов, сформированных препроцессором, и характеристики входного воздействия.

Расчетное ядро используется, соответственно, модулями анализа, оптимизации механических и геометрических параметров конструкции, а также идентификации физико-механических параметров виброизоляторов в конструкциях РЭС [6]. Особенностью модуля анализа является возможность расчета характеристик конструкций с многоуровневой виброизоляцией.

Постпроцессор позволяет представить результаты анализа в виде графических зависимостей и таблиц, для отображения которых предназначены модули визуализации.

Интерфейс связи подсистем АСОНИКА-В и АСОНИКА-Т позволяет решать следующие задачи:

1. Корректировать параметры виброизоляторов для модели АСОНИКА-В по результатам теплового расчета в подсистеме АСОНИКА-Т;
2. Корректировать параметры кондуктивных ветвей модели АСОНИКА-Т на основании параметров виброизоляторов в модели АСОНИКА-В.

Интерфейс связи с подсистемой АСОНИКА-М позволяет экспортировать результаты анализа конструкции в формате, подходящем для последующего импорта в подсистему АСОНИКА-М, где эти данные используются в качестве входных для последующего анализа механических процессов.

Интерфейс доступа к БД позволяет использовать объединенную справочную базу данных системы АСОНИКА для получения характеристик материалов конструкции и типовых моделей виброизоляторов. Характеристики виброизоляторов, полученные в результате идентификации, также могут быть сохранены в справочной БД.

Программа способна решать широкий круг задач:

создавать геометрические модели конструкций РЭС посредством трехмерного графического редактора (рис. 3);

осуществлять ввод механических воздействий в виде графических зависимостей;

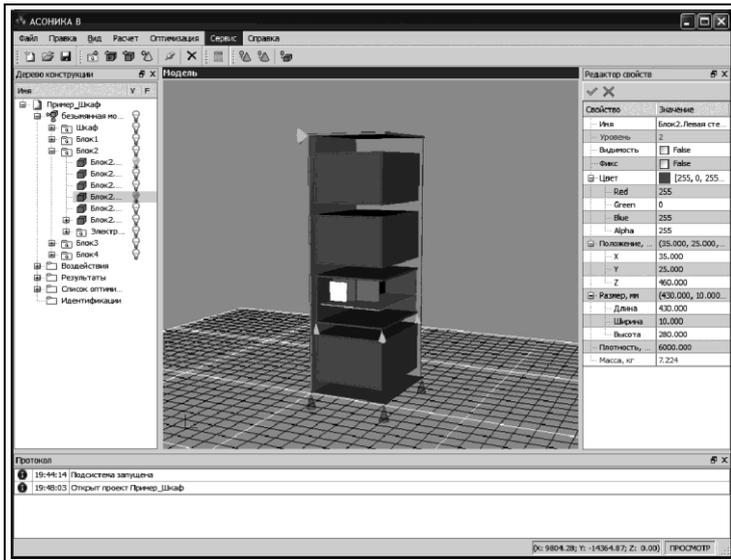


Рис. 3. Интерфейс трехмерного редактора модели конструкции

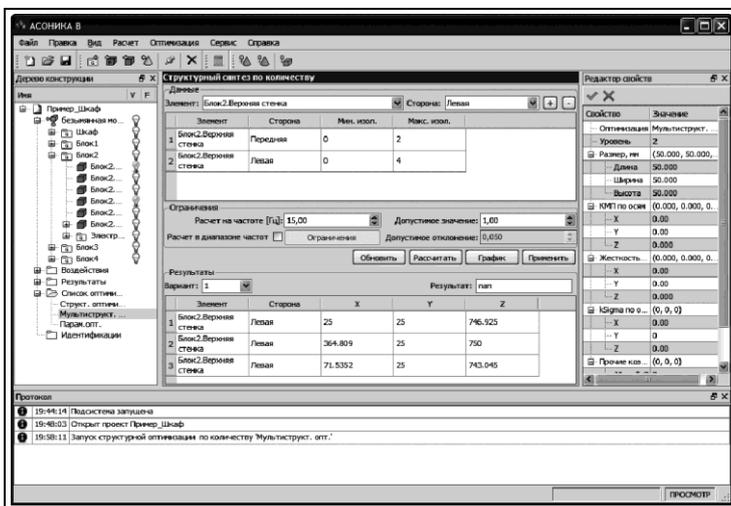


Рис. 4. Интерфейс ввода ограничений структурной оптимизации по числу виброизоляторов

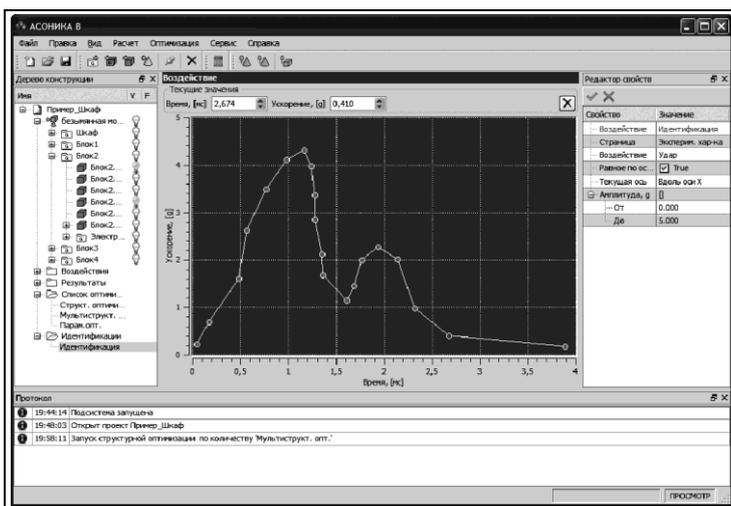


Рис. 5. Интерфейс ввода экспериментальной характеристики для идентификации

получать выходные характеристики модели при различных видах механического воздействия и представлять их в удобном для восприятия графическом виде;

рассчитывать выходные характеристики моделей с многоуровневой виброизоляцией; осуществлять поиск оптимальных значений параметров виброизоляторов на фиксированной частоте или в диапазоне частот; осуществлять структурную оптимизацию конструкций, обеспечивая стойкость к вибрации путем выбора наилучшего варианта расположения и числа виброизоляторов на фиксированной частоте или в диапазоне частот (рис. 4);

идентифицировать неизвестные параметры виброизоляторов по экспериментальной характеристике конструкции (рис. 5);

выбирать параметры типовых виброизоляторов из БД или сохранять в БД идентифицированные параметры виброизоляторов; обмениваться данными с другими подсистемами САПР АСОНИКА;

распечатывать или сохранять в виде графических или текстовых файлов любую выходную информацию.

При работе с подсистемой рекомендуется пользоваться графическим редактором для создания модели, однако есть возможность создать модель не визуальную, а путем ввода всех параметров вручную

В качестве основного средства разработки использовалась интегрированная среда Microsoft Visual Studio, язык программирования C++, графический интерфейс подсистемы реализован с помощью библиотеки Qt.

Таким образом, была разработана структура автоматизированной подсистемы анализа и синтеза конструкций РЭС на виброизоляторах при механических воздействиях АСОНИКА-В, отличающаяся наличием специализированного интерфейса ввода-вывода информации, модулей идентификации и оптимизации, базы данных с упругими и демпфирующими характеристиками виброизоляторов, интегрированная в систему АСОНИКА.

- Разработан метод автоматизированного синтеза конструкций РЭС на виброизоляторах, позволяющий проводить параметрическую и структурную оптимизацию конструкций и применять многоуровневую виброизоляцию.

---

Разработана структура автоматизированной подсистемы анализа и синтеза конструкций РЭС на виброизоляторах, при механических воздействиях АСОНИКА-В, отличающаяся наличием специализированного интерфейса ввода-вывода информации, модулей идентификации и оптимизации, базы данных с упругими и демпфирующими характеристиками виброизоляторов и интеграции с другими подсистемами САПР АСОНИКА.

Программно реализованы задачи параметрического и структурного синтеза:

существует возможность оптимального выбора коэффициентов механических потерь и жесткости виброизоляторов по всем осям координат;

существует возможность оптимального выбора координат расположения виброизоляторов и их числа.

Решена задача идентификации неизвестных параметров виброизоляторов конструкций РЭС;

Разработан алгоритм расчета выходных характеристик моделей с многоуровневой виброизоляцией.

## 📖 Литература

1. Кренкель Т.Э., Коган А.Г., Тараторкин А.М. Персональные ЭВМ в инженерной практике. М.: Радио и связь. 1989. 337 с.
2. Мосин В.Н., Трайнев В.А. Управление процессом проектирования. М.: Московский рабочий. 1980. 128 с.
3. Карберри П.Р. Персональные компьютеры в автоматизированном проектировании: Пер. с англ. М.: Машиностроение. 1989. 144 с.
4. Шалумов А.С., Шалумова Н.А. Разработка алгоритмов и программ автоматического построения моделей механических процессов конструкций РЭС // «Высокие технологии в региональной информатике»: Тез. докл. / Всероссийское совещание-семинар. Ч. 2. Воронеж. 1998. С. 160.
5. Рвачев В.А., Слесаренко А.П. Алгебра логики и интегральные преобразования в краевых задачах. Киев: Наукова думка. 1976. 287 с.
6. Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Гладышев Н.И. Идентификация параметров материалов несущих конструкций радиоэлектронных средств с применением компьютерного измерительного стенда // Измерительная техника. 1996. № 12. С. 52–55.

Поступила 31 августа 2011 г.

## SUBSYSTEM FOR RESISTANCE CONTROL OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT BASED ON SHOCK ABSORBERS INTEGRATED TO ASONIKA SYSTEM

© Authors, 2011

A.V. Malov, A.S. Shalumov, Vu Van Quy

Developed an automated subsystem ASONIKA-V is designed to analyze the mechanical characteristics of structures of boxes, racks and blocks of radio electronic equipment installed on shock absorbers, under the influence of harmonic vibration, random vibration, shock loads, linear acceleration, under the influence of acoustic noise, as well as complex mechanical influences. Construction design may include many elements in the form of rectangular parallelepipeds with different dimensions and can also be applied to multi-level vibration isolation. According to the results of calculation, user of the system can obtain output information about the accelerations and displacements of the structure.

The subsystem includes the following modules:

input modules of the design information (geometric models, effects, experimental features);  
visualization modules (for creating reports and graphs);  
preprocessor forming a mathematical model;  
postprocessor for results formatting;  
calculation kernel (consist of analysis, optimization and identification modules);  
interface with ASONIKA system.

The software is able to solve a wide range of tasks:

create geometric models of structures of radio electronic equipment using three-dimensional graphical user interface;  
provide input mechanical effects in the form of graphic dependences;  
receive a performance characteristics for different types of mechanical action;  
calculate the output characteristics of the models and present them in a readable graphic form;  
search for the optimal parameters of shock absorbers at a fixed frequency or frequency range;  
provide structural synthesis of designs, providing resistance to vibration shock absorbers to optimize the geometric parameters at a fixed frequency or frequency range;  
identify parameters of shock absorbers using experimental characteristics of the design;  
printing or saving any output to graphics or text files.

The subsystem is part of the CAD ASONIKA. This integration allows the use of unified reference database system, to obtain the characteristics of construction materials, standard models of shock absorbers and storage characteristics of the shock absorbers resulting identification. Communication interface of subsystems ASONIKA-V and ASONIKA-T enables mutual adjustment of parameters in a model on shock absorbers in ASONIKA-V and the parameters of conductive branches in ASONIKA-T.

The use of the subsystem allows the analysis of the mechanical characteristics of the radio electronic equipment on shock absorbers, the identification of missing characteristics of shock absorbers, as well as perform optimal design of structures of radio electronic equipment, by parametric and structural synthesis.