

12. Gauci S. Generating Large-Scale Neural Networks Through Discovering Geometric Regularities. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2007)*, New York, ACM Publ., 2007, pp. 997–1004.
13. Gruau F. *Neural network synthesis using cellular encoding and the genetic algorithm*, France, Ecole Normale Supérieure de Lyon Publ. House, 1994. 183 p.
14. Karkavitsas G., Tsihrintzis G. *Automatic Music Genre Classification Using Hybrid Genetic Algorithms*, Springer, Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services Publ. House, 2011, pp. 323–335.
15. Liles W., Wiegand P., Mason G. *Introduction to Schema Theory: a survey lecture of pessimistic & exact schema theory*, University EC lab Activities Publ. House, 2002. 114 p.
16. Moriarty D. E., Miikkulainen R. Forming neural networks through efficient and adaptive coevolution. *Evolutionary Computation*, 1997, no. 5, pp. 373–399.
17. Pasemann F., Dieckmann U. *Balancing rotators with evolved neurocontroller*, Leipzig, Max-Planck-Institute for Mathematics in Sciences Publ. House, 2007. 36 p.
18. Rempis C. *Evolving Complex Neuro-Controllers with Interactively Constrained Neuro-Evolution*, Osnabrück University Publ. House, 2012. 240 p.
19. Salam A. *Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development*, 2013. 192 p.
20. Sher G. *Handbook of Neuroevolution Through Erlang*, Springer Verlag, 2012. 92 p.
21. Siebel N., Sommer G. Evolutionary reinforcement learning of artificial neural networks. *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, 2007, no. 4 (3), pp. 171–183.

УДК 004.652

**АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ  
АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА  
ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
РАЗНОРОДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ<sup>1</sup>**

*Статья поступила в редакцию 20.08.2015, в окончательном варианте 14.09.2015.*

**Аminev Дмитрий Андреевич**, кандидат технических наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: aminev.d.a@yandex.ru

**Кокин Николай Николаевич**, аспирант, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: nikolay.kokin@mail.ru

**Увайсов Сайгид Увайсович**, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: uvaysov@yandex.ru

**Тихменев Александр Николаевич**, кандидат технических наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: alectikhmenev@gmail.com

Рассмотрены принципы диагностического моделирования физических процессов в электронных схемах; основные причины преждевременных отказов электронных средств (ЭС); их неудовлетворительной надежности. Выявлена необходимость создания информационно-логической модели для исследований вариантов организации потоков данных при диагностическом моделировании разнородных физических процессов в ЭС. Предложена архитектура информационной системы диагностического моделирования ЭС. Ее особенностью является комплексный подход к моделированию

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00414 «Информационная система диагностического моделирования физических процессов в электронных схемах»).

различных видов неисправностей в ЭС с учетом влияния разнородных физических процессов. Система моделирования позволяет учесть не только механические, тепловые, электромагнитные и аэродинамические воздействия, но их взаимное влияние, в том числе такие эффекты: изменение механических свойств материалов под воздействием температурных полей; разогрев проводников под воздействием электромагнитных полей и т.д. Разработан алгоритм формирования данных при диагностическом моделировании. Он опирается на создание базы измерительной информации, формирующейся в процессе экспериментальных исследований с одновременной поддержкой моделирования разнородных физических процессов. Рассмотрен пример диагностического моделирования печатного узла в рамках разработанной системы.

**Ключевые слова:** электронные схемы, печатные узлы, надежность, физические процессы, диагностическое моделирование, алгоритмы, температурные поля, механические свойства материалов, разогрев проводников, информационная система

**ANALYSIS OF CONSTRUCTION PRINCIPLES  
OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX  
FOR DIAGNOSTIC SIMULATION  
HETEROGENEOUS PHYSICAL PROCESSES  
IN ELECTRONICS**

*Aminev Dmitriy A.*, Ph.D. (Engineering), National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: aminev.d.a@yandex.ru  
*Kokin Nikolay N.*, post-graduate student, National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: nikolay.kokin@mail.ru  
*Uvaysov Saygid U.*, D.Sc. (Engineering), Professor, National Research University Higher School of Economics, 101000, Russian Federation, Moscow, 20 Myasnitskaya St., e-mail: uvaysov@yandex.ru  
*Tikhmenev Aleksandr N.*, Ph.D. (Engineering), National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: alextikhmenev@gmail.com

The principles of diagnostic modeling of physical processes in the electronic circuits and the main causes of premature failures and poor reliability of electronic equipment are reviewed. The necessity of creation of information and logical model for investigations of options to manage the flow of data in the diagnostic modeling of heterogeneous physical processes. The architecture of the information system diagnostic modeling feature is the integrated approach to the modeling of different types of fault in an electronic medium with the influence of diverse physical processes. The modeling system includes not only the mechanical, thermal, electromagnetic and aerodynamic effects, but their mutual influence, including the change of mechanical properties of materials under the influence of temperature fields; heating the conductors under the influence of electromagnetic fields, etc. An algorithm for the formation of diagnostic data modeling, which is based on the creation of the database measurement information emerging in the course of experimental studies with simultaneous support of heterogeneous modeling of physical processes. An algorithm for the formation of diagnostic data modeling is developed. It relies on the creation of the database measurement information emerging in the course of experimental studies with simultaneous support of heterogeneous modeling of physical processes. An example of a diagnostic fashion-PCA-regulation within the developed system is reviewed.

**Keywords:** electronic circuits, printed circuit assemblies, reliability, physical processes, diagnostical modeling, algorithms, temperature field, mechanical properties of materials, heating conductors, information system

**Введение.** Информатизация различных процессов в современном обществе делает все более актуальной проблему обеспечения надежности аппаратных и программных средств. Основной причиной преждевременных отказов и неудовлетворительной надежности электронных средств (ЭС) считается наличие в них скрытых дефектов [12, 18]. Выявление и идентификацию неисправностей в ЭС целесообразно осуществлять на основе результатов диагностического моделирования (ДМ). Оно может выполняться, в частности, для печатного

узла с рядом внесенных «виртуальных» или реальных неисправностей и имитацией воздействия окружающей среды (вибрации, повышенная температура, влажность и т.д.). Однако вопросы управления потоками данных при ДМ рассмотрены недостаточно полно в существующих публикациях. Поэтому целью данной работы является создание информационно-логической модели (ИЛМ) для проведения исследований вариантов организации потоков данных при ДМ ЭС при наличии в них разнородных физических процессов [1, 13].

**Общая характеристика содержания разработки.** Для выявления и идентификации неисправностей на основе ДМ физических процессов, протекающих в ЭС, в рамках гранта 14-07-00414 РФФИ разрабатывается автоматизированная информационная система (АИС). В ней математическое моделирование электрических процессов в ЭС производится с учетом рабочих температур комплектующих элементов. Это обеспечивает высокую достоверность результатов автоматизированного диагностирования [9]. Моделирование может осуществляться в статическом режиме; в частотной и временной областях – для контроля состояния параметров не только активных и пассивных, но и реактивных элементов. В процессе проектирования ЭС в рамках реализации CALS-технологии моделирующая система позволяет обеспечить контролепригодность устройства с заданной глубиной и требуемой полнотой диагностирования [10]. Заметим, что разработанная система позволяет смоделировать «отказ» работоспособности компонента без учета его «пограничных» состояний – т.е. когда элемент еще работает, но его характеристики значительно изменились по сравнению с первоначальными (паспортными).

Система объединяет на единой информационной платформе различные подсистемы автоматизированного моделирования физических процессов, а комплексный характер анализа получаемых данных повышает эффективность диагностирования [8]. Обмен данными между подсистемами АИС осуществляется с помощью информационных потоков, причем данные предварительно конвертируются в необходимые форматы [2, 3]. При ДМ работы ЭС возможен учет результатов математического моделирования статических и других режимов электрических схем, тепловых и механических процессов, происходящих в ЭС; взаимовлияния этих процессов. Информация, полученная по результатам ДМ, позволяет определить изменения в функционировании ЭС, связанные с наличием моделируемых дефектов; выявить возможные цепочки (сочетания) неисправностей; оптимизировать расположение контрольных точек для проведения измерений физических параметров.

**Характеристика экспериментальной установки.** Основное назначение стендового оборудования заключается в воспроизведении условий функционирования печатного узла и имитации воздействий на исследуемый образец совокупности разнородных физических полей.

Примером такой экспериментальной установки может являться стендовый комплекс TV51110 компании Zetlab. Он позволяет делать следующее: воспроизводить гармоническую и случайную вибрационную нагрузку; осуществлять контроль виброускорений в режиме реального времени для компонентов печатного узла; производить бесконтактные измерения температуры объектов, размещенных на печатном узле; формировать гармоническую вибрацию от 2 до 7000 Гц с ускорением до 45 g. В стендах компании Zetlab используются бесконтактные средства измерения – тепловизоры или пирометры. Информационный интерфейс стенда с внешней средой обеспечивается применением аналогово-цифровых преобразователей – с возможностью считывания быстропротекающих процессов, организацией многоканальной записи данных и результатов их математического анализа.

Для проведения теплового контроля можно применять бюджетный тепловизор TESTO 875-2i со следующими характеристиками: разрешение матрицы 160 × 120 пикселей; чувствительность 50 мК при +30 °С; переключаемые диапазоны измерений от –30 до +100 °С и от 0 до +350 °С с точностью ±2 °С или ±2 % от измеренного значения. Такой тепловизор позволяет на коротком расстоянии оценивать температурный режим компонентов исследуемого печатного узла.

Экспериментальная установка на основе описанных вибростенда и тепловизора полноценно обеспечит диагностическое моделирование в области механического и температурного анализа печатных узлов.

**Информационно-логическая модель системы ДМ.** Для рассматриваемой системы ДМ ИЛИМ показывает логические взаимосвязи и отображает информационные потоки между экспериментальной установкой имитационного моделирования (рис. 1б) и программным комплексом математического моделирования разнородных физических процессов (рис. 1а) [7].

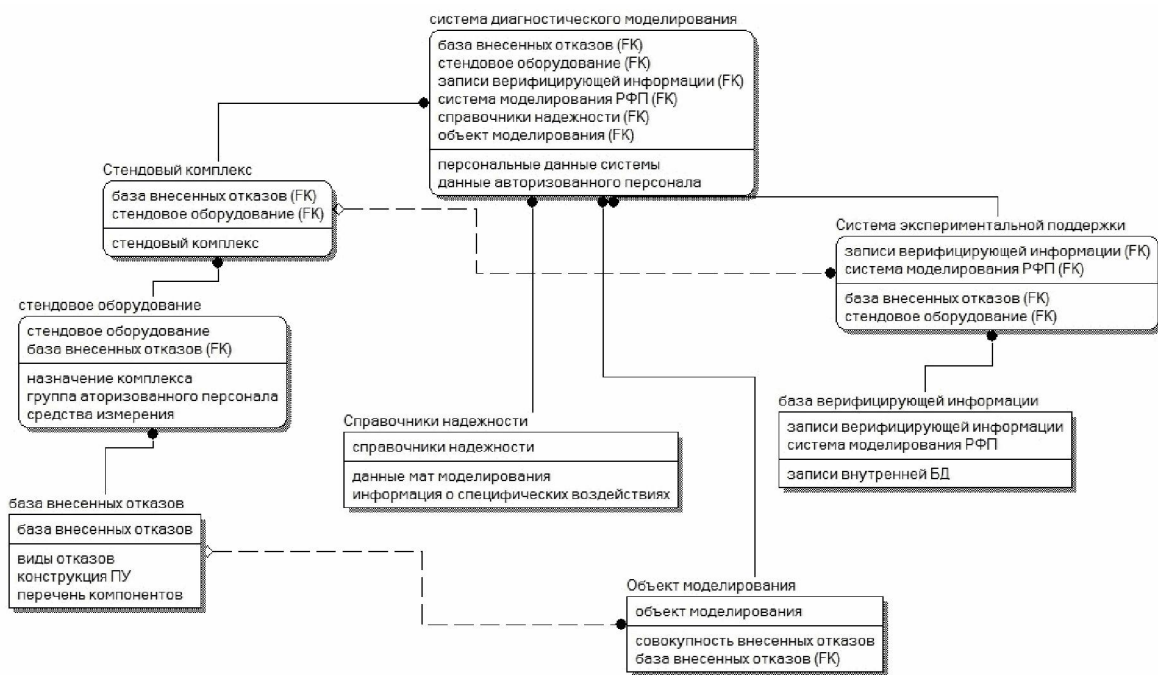
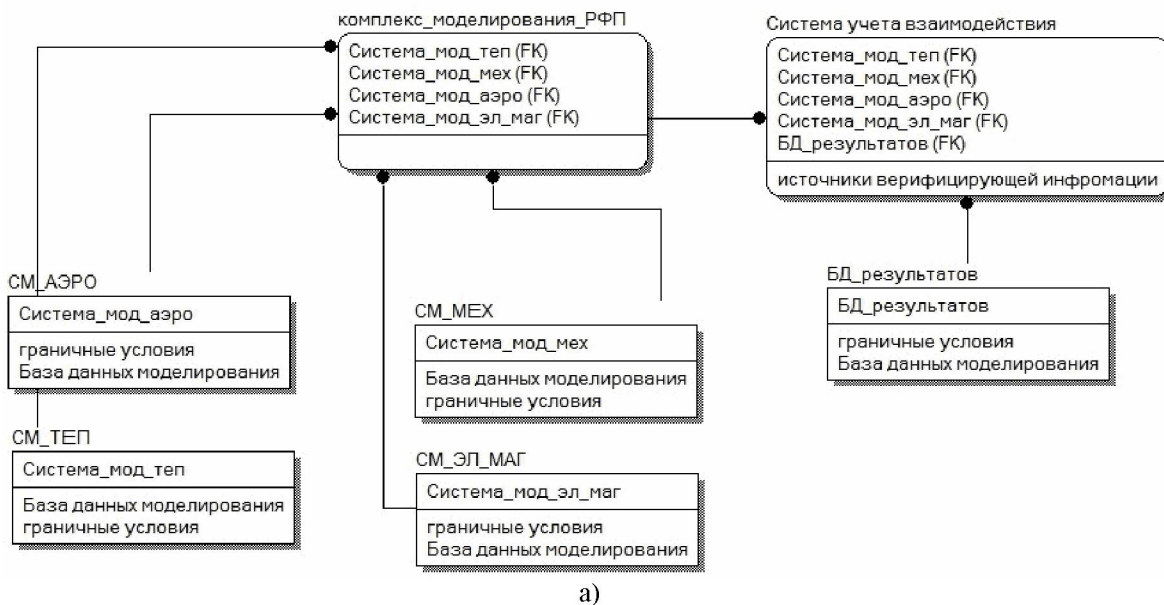


Рис. 1. Информационно-логическая модель системы ДМ

Состав объектов инфологической модели [4] на глобальном уровне определяется характером взаимодействия между информацией, получаемой в ходе эксперимента, имитирующего воздействие условий окружающей среды на диагностируемый печатный узел и информации, полученной на основе математического моделирования. Проводится сбор экспериментальной информации о воздействии разнородных физических полей на исследуемый объект. Затем уточняются созданные на первом этапе математические модели с учетом полученной при эксперименте информации [5].

Информационные потоки [11], возникающие при взаимодействии составляющих частей ИЛМ, в первую очередь предназначены для сравнения различных компонентов измерительной информации (массива измерений и контролируемых параметров окружающей среды и характеристики воздействий различной природы). Точность информации, представленной в потоках, исходящих из части экспериментальной установки, завязана на точность средств измерения и наличие случайных погрешностей в системе. Объем получаемой информации связан, в первую очередь, с количеством датчиков и частотой отсчетов контролируемых параметров. Система моделирования разнородных физических процессов и описанный выше стендовый комплекс ДМ предназначены в основном для оценки характеристик установившихся (стационарных) состояний исследуемых объектов. Поэтому количество информации, контролируемой в единицу времени, невелико. Однако в случае моделирования быстропротекающих динамических воздействий объем информации будет значительно большим.

**Технологии проведения диагностического моделирования.** Система ДМ опирается на использование стендовых комплексов и измерительную аппаратуру, с которой данные передаются в базу измерительной информации. База пополняется в процессе проведения эксперимента (рис. 2) [6]. Среди блоков общей инфологической модели [14] стендового комплекса следует особо выделить следующие группы данных: состав испытательного и измерительного оборудования, входящего в конкретный стендовый комплекс; авторизованный персонал с допуском к проведению исследований; функциональное назначение комплекса по диагностированию воздействия физических полей определенной природы. Информация о результатах испытаний передается в базу данных, хранимую на стендовой персональной ЭВМ. На основе этой информации производится количественная оценка параметров надежности исследуемых узлов.

При этом к комплексу ДМ подключены справочники надёжности. Они могут дополняться информацией об условиях функционирования отдельных компонентов исследуемого печатного узла из системы моделирования разнородных физических процессов или данными, связанными со специфическими условиями функционирования радиоэлектронной аппаратуры (например, информацией о присутствии радиационного излучения, его интенсивности и пр.). Сам эксперимент строится на основе базы данных о внесенных в систему отказах для проведения ДМ.

Часть ИЛМ, соответствующая реализации методов математического моделирования разнородных физических процессов, является источником информации о предполагаемых физических параметрах, с определенной долей точности описывающих состояние диагностируемого узла – с учетом внесенных «виртуальных» неисправностей и отказов ЭС. В ИЛМ реализован вызов (ввод) информационных потоков от программ моделирования тепловых, механических, электромагнитных и аэродинамических процессов, связанных с функционированием ЭС. При этом представленная структура ИЛМ предполагает гибкость системы в плане добавления новых источников информации и проведения моделирования взаимодействия разнородных физических процессов. В ИЛМ реализуется ввод полученной путем математического моделирования информации в единую базу данных с возможностью её использования на различных этапах: анализа экспериментальной информации; верификации моделей физических процессов в исследуемых объектах; учета взаимодействия разнородных физических процессов. В дальнейшем полученный «комплекс информации» используется для оценки свойств тестируемых печатных узлов и проведения ДМ с учетом внедренных (внесенных) в ЭС отказов [17, 20].

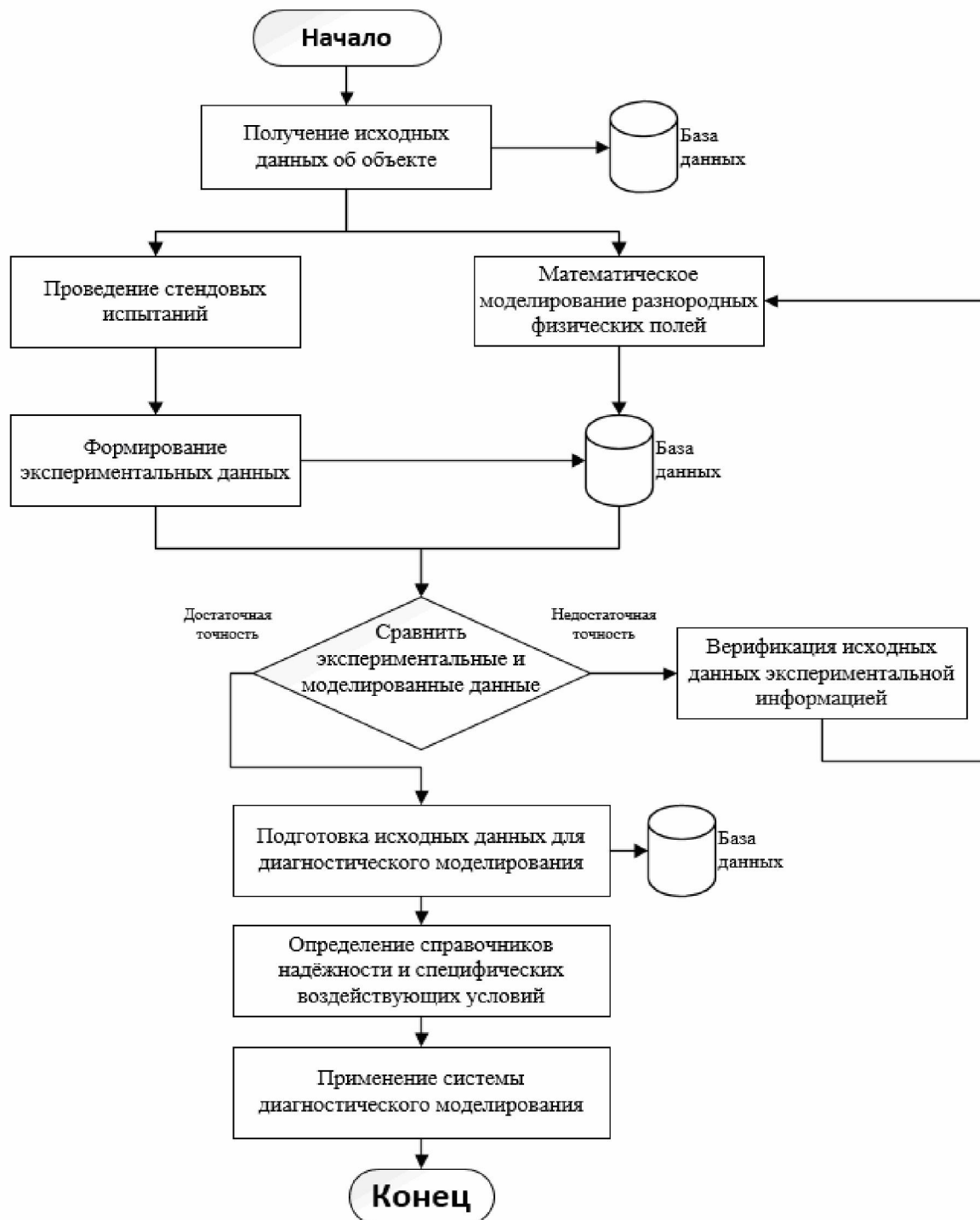


Рис. 2. Блок-схема алгоритма формирования данных при ДМ

Алгоритм (рис. 3) формирования данных при ДМ опирается на создание базы измерительной информации, возникающей в процессе экспериментальных исследований – с одновременной поддержкой моделирования разнородных физических процессов. Первым эта-



пом становится формирование исходной информации о печатном узле и планируемых экспериментальных исследованиях его функционирования с организацией массивов данных, описывающих варианты воздействий. Физические процессы, выбираемые в качестве основных, определяются исходя из целей экспериментального исследования, технических возможностей стендового оборудования, назначения диагностируемой радиоэлектронной аппаратуры. Например, печатные узлы радиоэлектронной аппаратуры космического назначения, работающей в условиях вакуума, важно диагностировать на тепловой режим функционирования. Поскольку из возможных способов отвода тепловой энергии присутствуют только кондуктивный и лучистый теплообмен (конвективного нет). Дополнительные исследования направлены на обеспечение механической устойчивости конструкции к воздействию вибрационных и ударных нагрузок в процессе вывода космического аппарата на орбиту. При этом блоки радиоэлектронной аппаратуры проектируются с учетом использования средств электромагнитной и радиационной защиты. Следовательно, печатный узел не будет испытывать дополнительных нагрузок, связанных с указанными воздействиями.

Алгоритм делится на две взаимосвязанные логические ветви: моделирования разнородных физических процессов средствами математического моделирования; экспериментальной оценки состояния исследуемого объекта [16], его параметров. При проведении математического моделирования производится оценка выходной информации на предмет соответствия физике рассматриваемых процессов и адекватности представлений о функционировании исследуемого объекта – в том числе при наличии отказов отдельных элементов. При неудовлетворительной точности модель дополняется информацией, получаемой в ходе экспериментальных исследований, и производится её уточнение – совместно с включением в модель факторов влияния разнородных физических процессов. В случае удовлетворительной оценки точности выходной информации от смоделированного ЭС происходит перенос полученных данных в систему ДМ – в специально создаваемый массив динамической памяти. При этом система дополняется информацией о надежности [15, 19] радиоэлектронных компонентов исследуемого печатного узла и информацией о специфических условиях окружающей среды, влияющих или могущих повлиять на работоспособность компонентов.

**Пример использования диагностического моделирования ЭС при наличии отказов.** В качестве объекта для исследования был выбран стабилизатор напряжения, представляющий собой печатную плату размерами 45 x 45 x 1,5 мм с размещенными на ней электрорадиоэлементами (рис. 3).

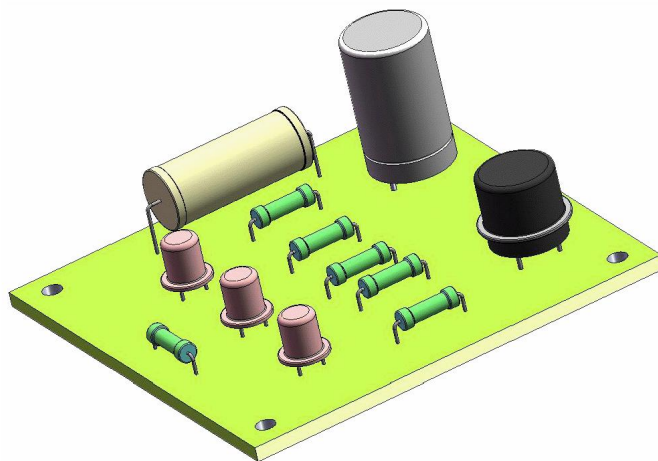


Рис. 3. Трехмерная модель линейного стабилизатора напряжения

Для проведения теплового диагностического моделирования (рис. 4) формируется перечень неисправностей, которые дополняются дефектами, не выявляемыми однозначно электрическим методом диагностирования. Кроме того, назначаются контрольные точки, в качестве которых выбираются поверхности корпусов электрорадиоэлементов. Проводя анализ полей значений (например, температур), полученных при математическом моделировании, определяют каким образом наиболее рационально сформировать тестовые воздействия и выбрать контрольные точки. Это позволит, выявить весь возможный спектр неисправностей ЭС с использованием методов электрического, теплового и механического диагностирования.

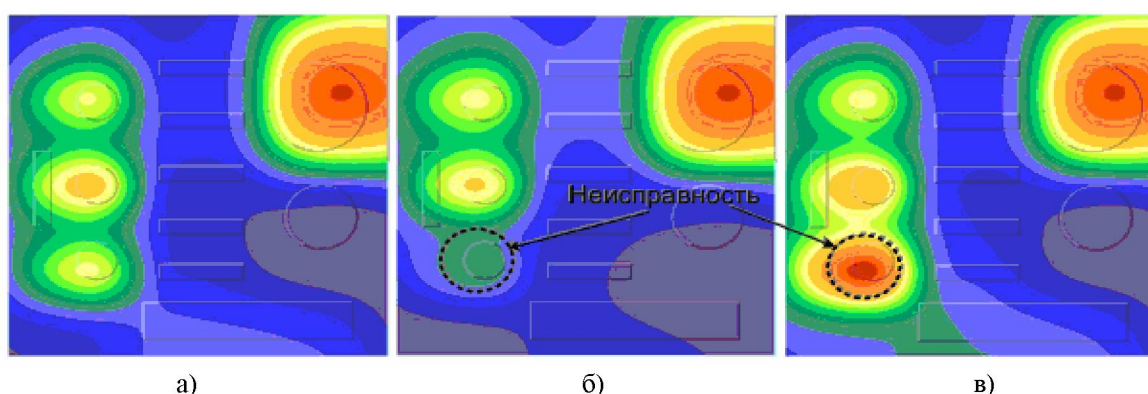


Рис. 4. Пример результатов диагностического моделирования тепловых процессов в печатном узле линейного стабилизатора напряжения (более «теплые» цвета соответствуют более высоким температурам): «а» – работоспособный печатный узел без дефектов и неисправностей; «б» – отказ резистора с увеличением его сопротивления; «в» – плохое крепление транзистора к печатному узлу

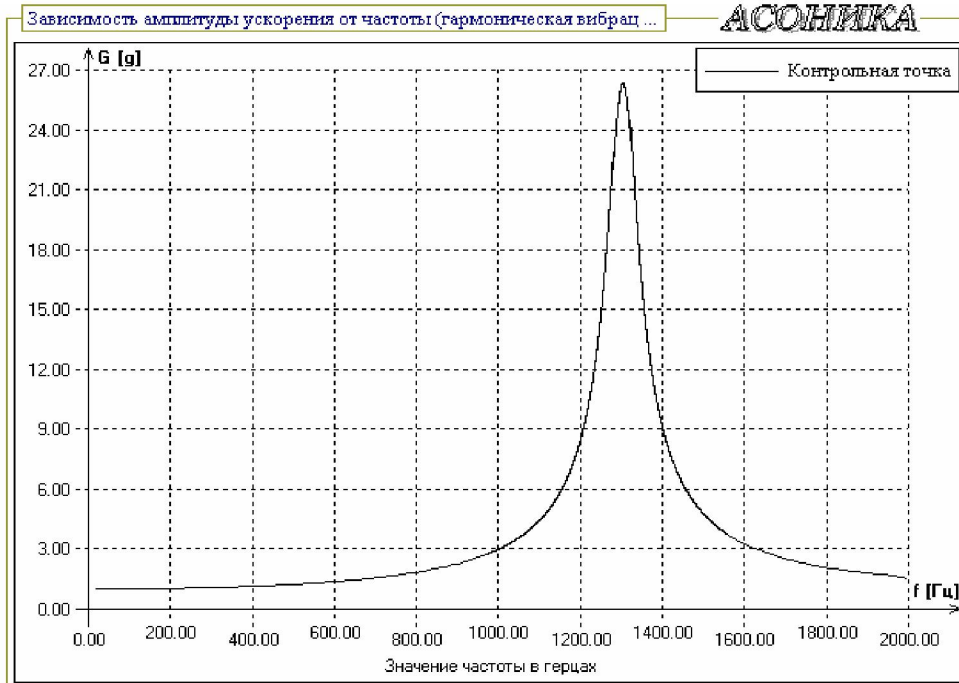
Из рисунка 4б видно, что отказ резистора привел к снижению тепловыделения транзистора, а отсутствие контакта транзистора с ПП (рис. 4в) – к повышению его температуры.

В качестве моделируемых механических дефектов были выбраны следующие: отличие массы транзистора от номинального паспортного значения, например заводской брак; отсутствие точки крепления печатной платы к стойкам блока радиоэлектронной аппаратуры; изменение изгибной жесткости печатной платы, например за счет возможной ошибки в расположении и диаметре отверстий под выводы радиоэлектронных компонентов; отсутствие сопротивления вследствие механического повреждения печатного узла при сохранении работоспособности ЭС.

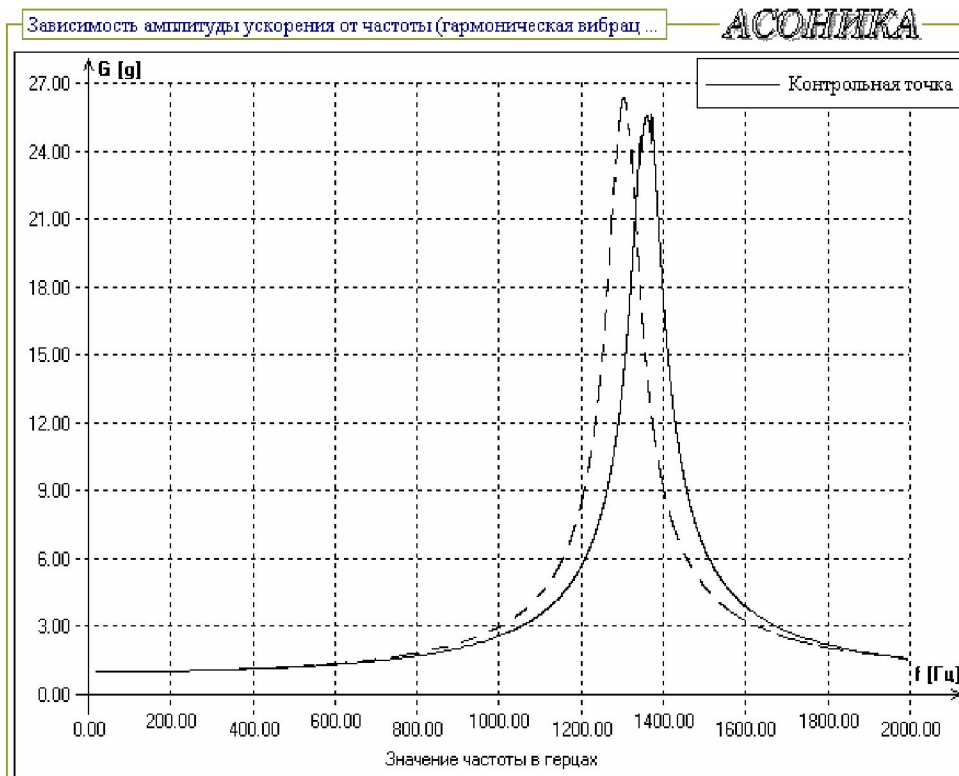
Результатом такого моделирования является информация об изменении амплитудно-частотной характеристики ЭС, связанной с внесенными в рассматриваемую систему изменениями (дефектами) (рис. 5).

Таким образом, ДМ разнородных физических процессов печатного узла линейного стабилизатора напряжения включает в себя формирование списка неисправностей, который является перечнем дефектов, наиболее характерных для данного вида проектируемого изделия. Назначение контрольных точек выполняется на основе перечня возможных дефектов, а также результатов, полученных с использованием математической модели для ЭС без дефектов. Контрольные точки выбираются таким образом, чтобы «охватить» наибольшее количество возможных неисправностей. При этом в первую очередь в качестве контрольных точек используются выходные разъемы ЭС. Это позволяет избежать разборки ЭС, т.е. выполнить его неразрушающий контроль (диагностику).

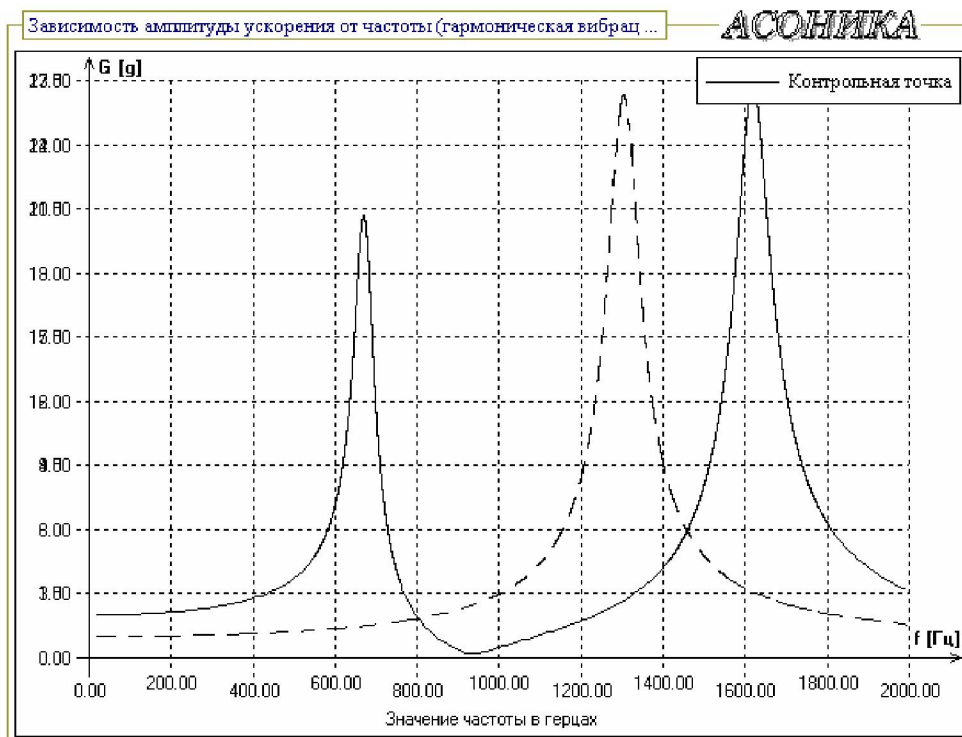




а)



б)



в)

Рис. 5. Пример результатов диагностического моделирования механических процессов в печатном узле линейного стабилизатора напряжения (сплошная линия – узел без дефектов, пунктирная – с указанными ниже дефектами): «а» – АЧХ без отказов и неисправностей; «б» – отличие массы транзистора от номинальной; «в» – отсутствие точки крепления печатного узла к стойкам в радиоэлектронном блоке.

Итак, сделаем **выводы**.

1. Предложенная ИЛМ может быть эффективным базисом при создании системы ДМ разнородных физических процессов в ЭС. Особенно важно учитывать (использовать) эту ИЛМ при реализации вариантов организации потоков данных.

2. По результатам работы различных ИАС формируется информационная диагностическая база, которая на последующих стадиях жизненного цикла ЭС позволяет автоматизировать процесс мониторинга и оценки технического состояния устройств.

#### Список литературы

1. Абрамешин А. Е. Комплексное прогнозирование надежности цифровых электронных модулей на стадии проектирования с учетом физической составляющей отказа / А. Е. Абрамешин, С. Н. Полесский // Технологии электромагнитной совместимости. – 2012. – № 4 (43). – С. 51–57.

2. Аминев Д. А. Анализ и классификация методов преобразования потоков цифровых данных для высокоскоростных систем обработки и регистрации / Д. А. Аминев, А. В. Кондрашов // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – Москва, 2012. – С. 37–41.

3. Аминев Д. А. Анализ технических достижений в решении проблемы регистрации информационных потоков / Д. А. Аминев, С. У. Увайсов, А. В. Кондрашов // Проблемы охраны и защиты интеллектуальной собственности в различных отраслях промышленности, науки, образования и медицины в условиях вступления России в ВТО : труды Международной конференции. – Тольятти, 2012.

4. Бойко В. В. Проектирование информационной базы автоматизированной системы на основе СУБД / В. В. Бойко, В. М. Савинков. – Москва : Финансы и статистика, 1982. – 174 с.

5. Брумштейн Ю. М. Функционально-стоимостные характеристики медицинских информационных систем: опыт системного анализа / Ю. М. Брумштейн, О. В. Сивер, А. Б. Кузьмина // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4, ч. 2. – Режим доступа: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/6\\_brumshteyn\\_siver\\_kuzmina.pdf\\_cfd2053d22.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/6_brumshteyn_siver_kuzmina.pdf_cfd2053d22.pdf) (дата обращения: 20.03.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 169–179.
7. Вейнеров О. М. Проектирование баз данных САПР / О. М. Вейнеров, Э. Н. Самохвалов. – Москва : Высшая школа, 1990. – 144 с.
8. Воловикова Е. В. Диагностика аналоговых схем с учетом тепловых режимов электрорадиоэлементов / Е. В. Воловикова, В. В. Воловиков, С. У. Увайсов // Качество. Инновации. Образование. – 2009. – № 3. – С. 23–28.
9. Воловикова Е. В. Метод диагностирования радиоэлектронных устройств на основе комплексного электротеплового моделирования / Е. В. Воловикова, С. У. Увайсов // Информационные технологии. – 2009. – № 10. – С. 57–61.
10. Иванов И. А. Обеспечение контролепригодности радиоэлектронных средств в рамках CALS-технологий / И. А. Иванов, С. У. Увайсов // Качество. Инновации. Образование. – 2011. – № 1. – С. 43–46.
11. Коголовский М. Р. Технология баз данных на персональных ЭВМ / М. Р. Коголовский. – Москва : Финансы и статистика, 1992. – 224 с.
12. Полесский С. Н. Комплексная модель надежности программных и технических средств на этапах жизненного цикла / С. Н. Полесский // Современные проблемы радиоэлектроники. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. – С. 244–249.
13. Увайсов С. У. Программный комплекс моделирования физических процессов при автоматизированном проектировании источников вторичного электропитания для сложных бортовых систем / С. У. Увайсов, Ю. Н. Кофанов, С. Ю. Сотникова // Динамика сложных систем. – 2012. – № 3. – С. 80–84.
14. Bubenko L. A. Research Directions in Conceptual specification development / L. A. Bubenko, B. Wrangler // Conceptual Modeling, Database and CASE, An integrated view of information Systems Development. – John Wiley and Sons Inc., 1992.
15. Goble W. M. Evaluating Control Systems Reliability / W. M. Goble // Techniques and Applications. – NC : Raleigh, ISA, 1992.
16. Lazzaroni M. Reliability engineering: basic concepts and applications in ICT / M. Lazzaroni, L. Cristaldi, L. Peretto, P. Rinaldi, M. Catelani. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
17. Liu J. A divide and conquer approach to anomaly detection, localization and diagnosis / J. Liu, D. Djurdjanovic, K. A. Marko, J. Ni // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2009. – Vol. 23, issue 8. – P. 2488–2499.
18. Polesskiy S. N. Development of the method of prediction parameter of reliability chemical current sources operating in a “session” mode / S. N. Polesskiy, M. A. Artyukhova // Reliability: Theory & Applications. – 2012. – Vol. 7, № 4. – P. 90–101.
19. Smith S. E. Fault Coverage in Plant Protection Systems / S. E. Smith // ISA Transactions. – 1991. – Vol. 30, № 1.
20. Vachtsevanos G. Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems / G. Vachtsevanos, F. L. Lewis, M. Roemer, A. Hess, B. Wu. – 1st ed. – Hoboken (NJ) : John Wiley & Sons, Inc., 2006.

#### References

1. Abrameshin A. Ye., Polesskiy S. N. Kompleksnoe prognozirovanie nadezhnosti tsifrovyykh elektronnykh moduley na stadii proektirovaniya s uchetom fizicheskoy sostavlyayushchey otkaza [Integrated forecasting reliability of digital electronic modules in the design stage, taking into account the physical component failure]. *Tekhnologii elektromagnitnoy sovместимости* [Technologies of Electromagnetic Compatibility], 2012, no. 4 (43), pp. 51–57.

2. Aminev D. A., Kondrashov A. V. Analiz i klassifikatsiya metodov preobrazovaniya potokov tsifrovyykh dannykh dlya vysokoskorostnykh sistem obrabotki i registratsii [Analysis and classification of digital data streams transforming methods for high speed processing and registration systems]. *Sistemy i sredstva svyazi, televideniya i radioveshchaniya* [Systems and Communications, Television and Radio Broadcasting], Moscow, 2012, pp. 37–41.

3. Aminev D. A., Uvaysov S. U., Kondrashov A. V. Analiz tekhnicheskikh dostizheniy v reshenii problemy registratsii informatsionnykh potokov [Analysis of technical achievements for problem decision of information streams registration]. *Problemy okhrany i zashchity intellektualnoy sobstvennosti v razlichnykh otraslyakh promyshlennosti, nauki, obrazovaniya i meditsiny v usloviyakh vstupleniya Rossii v VTO : trudy mezhdunarodnoy konferentsii* [Problems of Protection of Intellectual Property in Various Sectors of Industry, Science, Education and Medicine in the Conditions of Russia's Accession to the WTO. Proceedings of the International Conference], Tolyatti, 2012.

4. Boyko V. V., Savinkov V. M. *Proektirovanie informatsionnoy bazy avtomatizirovannoy sistemy na osnove SUBD* [Design of the knowledge base of automated systems based on databases], Moscow, Finansy i statistika Publ., 1982. 174 p.

5. Brumshteyn Yu. M., Siver O. V., Kuzmina A. B. Funktsionalno-stoimostnye kharakteristiki meditsinskikh informatsionnykh sistem: opyt sistemnogo analiza [Functional and cost characteristics of medical information systems: experience of system analysis]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2014, no. 4, part 2. Available at: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/6\\_brumshteyn\\_siver\\_kuzmina.pdf\\_cfd2053d22.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/6_brumshteyn_siver_kuzmina.pdf_cfd2053d22.pdf) (accessed: 20.03.2015).

6. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [Analysis of the models and methods of selection of optimum set of solutions for the problems of planning in terms of resource constraints and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp.169–179.

7. Veynerov O. M., Samokhvalov Ye. N. *Proektirovanie baz dannykh SAPR* [Database Design CAD], Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 144 p.

8. Volovikova Ye.V., Volovikov V. V., Uvaysov S. U. Diagnostika analogovykh skhem s uchedom teplovykh rezhimov elektroradioelementov [Diagnosis of analog circuits taking into account the thermal conditions of electronic components]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Education. Innovation], 2009, no. 3, pp. 23–28.

9. Volovikova Ye. V., Uvaysov S. U. Metod diagnostirovaniya radioelektronnykh ustroystv na osnove kompleksnogo elektroteplovogo modelirovaniya [The method of diagnosing electronic devices in an integrated electro-thermal modeling]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technology], 2009, no. 10, pp. 57–61.

10. Ivanov I. A., Uvaysov S. U. Obespechenie kontroleprigodnosti radioelektronnykh sredstv v ramkakh CALS-tekhnologii [Ensuring controllability of electronic means in the framework of CALS-technologies]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Education. Innovation], 2011, no. 1, pp. 43–46.

11. Kogalovskiy M. R. *Tekhnologiya baz dannykh na personalnykh EVM* [Database technology on PCs], Moscow, Finansy i statistika Publ., 1992. 224 p.

12. Polesskiy S. N. Kompleksnaya model nadezhnosti programmnykh i tekhnicheskikh sredstv na etapakh zhiznennogo tsikla [Integrated model of reliability of software and hardware in the lifecycle]. *Sovremennyye problemy radioelektroniki* [Modern Problems of Radio Electronics], Krasnoyarsk, Siberial Federal University Publ. House, 2012, pp. 244–249.

13. Uvaysov S. U., Kofanov Yu. N., Sotnikova S. Yu. Programmnyy kompleks modelirovaniya fizicheskikh protsessov pri avtomatizirovannom proektirovanii istochnikov vtorichnogo elektropitaniya dlya slozhnykh bortovykh sistem [The program complex of modeling of physical processes in the computer-aided design of the secondary power source for complex airborne systems]. *Dinamika slozhnykh sistem* [Dynamics of Complex Systems], 2012, no. 3, pp. 80–84.

14. Bubenko L. A., Wrangler B. Research Directions in Conceptual specification development. *Conceptual Modeling, Database and CASE, An integrated view of information Systems Development*, John Wiley and Sons Inc. Publ., 1992.

15. Goble W. M. Evaluating Control Systems Reliability. *Techniques and Applications*, NC, Raleigh, ISA Publ., 1992.
16. Lazzaroni M., Cristaldi L., Peretto L., Rinaldi P., Catelani. M. *Reliability engineering: basic concepts and applications in ICT*, Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
17. Liu J., Djurdjanovic D., Marko K. A., Ni J. A divide and conquer approach to anomaly detection, localization and diagnosis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2009, vol. 23, issue 8, pp. 2488–2499.
18. Poleskiy S. N., Artyukhova M. A. Development of the method of prediction parameter of reliability chemical current sources operating in a “session” mode. *Reliability: Theory & Applications*, 2012, vol. 7, no. 4, pp. 90–101.
19. Smith S. E. Fault Coverage in Plant Protection Systems. *ISA Transactions*, 1991, vol. 30, no. 1.
20. Vachtsevanos G., Lewis F. L., Roemer M., Hess A., Wu B. *Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems*, 1st ed. Hoboken (NJ), John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2006.