

Жаднов В.В., Абрамшин А.Е.

Информационная технология обеспечения надежности электронных средств наземно-космических систем

Уровень качества вновь создаваемых и модифицируемых электронных средств, который определяет их конкурентоспособность на внешнем и внутреннем рынке, в значительной степени зависит от эффективности и качества проектирования. Это относится в первую очередь к современной аппаратуре, приборам, устройствам и оборудованию наземно-космических систем (НКС), имеющему сложные алгоритмы функционирования, обладающего повышенной надёжностью, высокими удельными показателями, помехозащищённостью и стойкостью к широкому спектру внешних воздействующих факторов.

Кроме того, наряду с постоянным усложнением электронных средств и ростом предъявляемых к ним требований сокращаются и сроки проектирования. Тем не менее реальные сроки проектирования электронных средств на отечественных предприятиях космической отрасли составляют 5–7 лет. Освоение серийного производства в первые годы эксплуатации сопровождается многочисленными доработками, целью которых является не повышение надёжности электронных средств, а устранение различного рода недостатков, дефектов и отказов.

Причины такого положения обусловлены рядом недостатков существующей (традиционной) технологии проектирования, в первую очередь явно недостаточным уровнем использования методов математического моделирования, интегрирующихся с современными информационными технологиями, обеспечивающими непрерывную информационную поддержку (ИПИ-технологиями).

Объективные трудности использования методов математического моделирования в технологии проектирования электронных средств объясняется, с одной стороны, недостаточным развитием самих методов целенаправленного выбора и анализа проектных решений, оптимизации характеристик схем и конструкций по критерию надёжности, моделирования отказов и т.д., а с другой стороны, небольшим выбором программных средств, имеющих к тому же ограниченные возможности и практически не интегрирующихся с ИПИ-технологиями.

Применяющиеся в настоящее время для проектной оценки надёжности электронных средств программные средства (в основном это отечественные разработки 22 ЦНИИ МО РФ – система «АСРН» и пакеты прикладных программ «РОКЗЭРСИЗ», «МНС-3.98» и «КМН-3.98») позволяют лишь в отдельных случаях частично оценить показатели надёжности проектируемых электронных средств, да и то только по данным справочника «Надёжность ЭРИ». А ведь именно эти показатели в значительной степени характеризуют технический уровень электронных средств и их конкурентоспособность.

Проблема усложняется еще и тем, что на российских предприятиях-разработчиках электронных средств наземно-космических систем наряду с отечественными электрорадиоизделиями широко применяются элементы иностранного производства, для которых характеристики надёжности приводятся в соответствующих зарубежных стандартах («MIL-HDBK-217F», GJB/Z 299B, NSWC-98/LE1 и др.).

Естественно, это вызывает необходимость использования таких данных при оценке надёжности электронных средств, создаваемой как по российским, так и по зарубежным заказам, доля которых по мере интеграции России в мировое сообщество и выхода на международные рынки военной и специальной техники постоянно возрастает.

Это не могло не сказаться на рынке программного обеспечения. В последние годы активно продвигают свои программы такие компании как *A.L.D Group (RAM Commander)*, *Relaxsoftware Corporation (RELEX)*, *ReliaSoft Corporation (BlockSim)*, однако их базы данных не содержат характеристик надёжности элементов отечественного производства, что существенно снижает эффективность их использования, а отсутствие аттестации этих программ сводит легитимность их применения на предприятиях космической отрасли практически к нулю.

Но даже переход на использование зарубежных программных средств не даст ощутимого эффекта, т.к. как номенклатура электрорадиоизделий постоянно обновляется, что

вызывает необходимость мониторинга данных по надёжности элементов и непрерывного обновления баз данных.

Таким образом, для создания аппаратуры, приборов, устройств и оборудования наземно-космических систем с высокими показателями технического уровня актуальным является применение технологии обеспечения надёжности сложных электронных средств, как в математическом, так и в методологическом аспекте, а также ее интеграция с информационными технологиями.

В стандартах *ISO* серии 9000 приведены процедуры системы качества, направленные на обеспечение и гарантию реализации заложенных уровней надёжности продукции, в том числе и электронных средств (ЭС). Современные электронные средства являются инновационной продукцией, поэтому для обеспечения требуемого уровня их надёжности необходимо использование таких методов и приемов управления предприятием [1], которые могут использоваться как инструменты повышения эффективности инновационной деятельности (управление ресурсами и структурой инновационного предприятия, формирование сетей предприятия для осуществления инновационной деятельности, стратегическое управление, информационный менеджмент, управление персоналом в инновационной организации и др.) на всех этапах жизненного цикла ЭС.

В ряду этапов жизненного цикла аппаратуры, приборов, устройств и оборудования НКС особое место занимает этап проектирования, так как именно на этом этапе закладывается та надёжность, которая будет реализована при изготовлении и поддерживаться при эксплуатации, что особенно важно для современных сложных ЭС, у которых:

- усложняется структура объектов установки (космических аппаратов) и самих ЭС;
- возрастают риски на всём протяжении жизненного цикла ЭС (разработка и проектирование, производство и испытания, эксплуатация и обслуживание);
- растёт критичность отказов ЭС и их последствий не только для предприятий-разработчиков и эксплуатирующих организаций, но и мирового сообщества;
- увеличивается стоимость «ошибки» (отказа как такового, мероприятий по его устранению, перепроектированию, нерационально организованного технического обслуживания и ремонта);
- растёт роль «человеческого фактора».

Это нашло прямое отражение в ГОСТ РВ 20.39.302 [2], что подтверждает хотя бы простое сравнение объемов типовых перечней мероприятий по обеспечению надёжности аппаратуры на разных этапах её жизненного цикла. Если принять во внимание, что разработка ЭС представляет собой итерационный процесс поиска оптимального (Парето оптимального) решения по критерию обеспечения требуемого уровня качества в рамках заданных ограничений, то становится ясной важность именно ранних стадий (эскизного проектирования (ЭП) и технического проектирования – ТП). Результатом проведения мероприятий «Программы обеспечения надёжности при разработке» (ПОНр) на этих этапах должна быть минимизация числа вариантов построения сложных ЭС и общего числа итераций всего процесса проектирования.

С другой стороны, также очевидна органическая связь задач обеспечения надёжности и качества: группа показателей надёжности входит в номенклатуру групп показателей качества, а характеристики надёжности ЭС относятся к тем показателям, для которых возможна (и необходима!) количественная оценка.

На ранних этапах проектирования получение численных значений характеристик надёжности немислимо без широкого использования методов математического моделирования, в первую очередь, вероятностных, что так же нашло свое отражение в ГОСТ РВ 20.39.302 [2] и РДВ 319.01.10 [3]. Здесь сознательно не упоминаются экспериментальные методы обеспечения надёжности, базирующиеся на исследованиях и испытаниях макетных и опытных образцов, так как их уверенно вытесняют методы математического моделирования и удельный вес этих методов ранних этапах проектирования ЭС постоянно снижается.

При проектировании ЭС решение задач расчета показателей надёжности (как и расчета любых других характеристик) регламентируется инженерными методиками (см., например, РДВ 319.01.16 [4]), которые представляются в виде стандартов предприятий (а в системах менеджмента качества (СМК) – документированных процедур).

Другими словами, методики представляют собой описание операций процессов СМК. Несмотря на то, что процесс проектирования ЭС представляет собой итерационный процесс,

что является принципиальным отличием его от технологических процессов производства, в соответствии с рекомендациями стандарта ISO 9001 процесс проектирования должен рассматриваться как технологический процесс.

С этой точки зрения ЭП и ТП представляют собой технологические процессы синтеза информационной модели ЭС (комплекта КД), а совокупность исходной информации (исходных материалов), инженерных методик (оборудования), проектных задач (операций), а также последовательность их выполнения составляют технологию проектирования.

Если при выполнении каждой операции решаются задачи обеспечения надёжности, то такая технология является надёжно-ориентированной [5]. В качестве примера такой технологии можно привести методы, приведенные РДВ 319.01.10 [3]. Другим важным аспектом процесса применения методов математического моделирования при проектировании ЭС является не только обмен данными между моделями различного вида, но создание информационной модели ЭС (виртуального макета).

Поэтому основой для создания информационной технологии обеспечения надёжности сложных ЭС послужили требования и рекомендации международных стандартов в области качества (ISO серии 9000), CALS-технологий (ISO серии 10303) и Российских военных стандартов (КГВС «Мороз-6»). Технология обеспечения надёжности ЭС НКС [8] базируется на мероприятиях ПОНр, которые были существенно переработаны и интегрированы в инфраструктуру ИПИ-технологий.

Функциональная модель информационной технологии обеспечения надёжности ЭС НКС приведена на рис. 1.

Главным отличием операций технологии, приведенной на рис. 1, от мероприятий ПОНр является то, что каждая операция заканчивается расчётом надёжности. Именно эти результаты служат основным критерием оценки качества проектных решений и являются составной частью общей информационной модели ЭС.

Как видно из рис. 1, технология представляет собой последовательность операций над электронным (виртуальным) макетом ЭС (A17: *Комплексная модель надёжности*), выполнение которых регламентируется соответствующими методиками, как общеинженерными («A1: *Анализ ТЗ*»; «A2: *Обоснование и выбор прототипа*»; «A5: *Обоснование и выбор конструкции*»; «A10: *Разработка принципиальной схемы*»; «A11: *Разработка конструкции*»; «A12: *Расчет и обеспечение режимов работы*»), так и специально разработанными для реализации данной технологии, а именно:

- методики автоматизированного расчёта и обеспечения надёжности электрорадиоизделий (ЭРИ), компонентов компьютерной техники (ККТ), составных частей (СЧ) и ЭС в целом (блоки A4, A6, A7, A8, A9, A14, A15);
- методики автоматизированного анализа результатов расчётов надёжности ЭРИ, ККТ, СЧ и ЭС в целом (блок A16);
- методики информационной поддержки расчётов надёжности, в том числе:
- методики идентификации параметров моделей надёжности ЭРИ и ККТ (блок A13);
- методики идентификации параметров макромоделей надёжности СЧ (блок A15);
- методики мониторинга справочной информации о характеристиках надёжности ЭРИ и ККТ (блок A6);
- методики сопровождения проектной информации (исходных данных и результатов расчётов надёжности ЭРИ, ККТ, СЧ и ЭС в целом) – блок A3.

В методиках автоматизированного расчёта и обеспечения надёжности ЭРИ, ККТ, СЧ и ЭС реализованы как известные модели и методы, применяемые для расчетов надёжности технических систем, так и специализированные разработки, учитывающие специфику расчетов надёжности сложных ЭС.

Другой важной особенностью технологии является то, что основной объём работ по анализу и обеспечению надёжности выполняется в блоках A8 и A14 (см. рис. 1.2), а не на заключительном этапе проектирования (блок A16), как принято в традиционной технологии проектирования, рекомендованной в РДВ 319.01.10 [3].

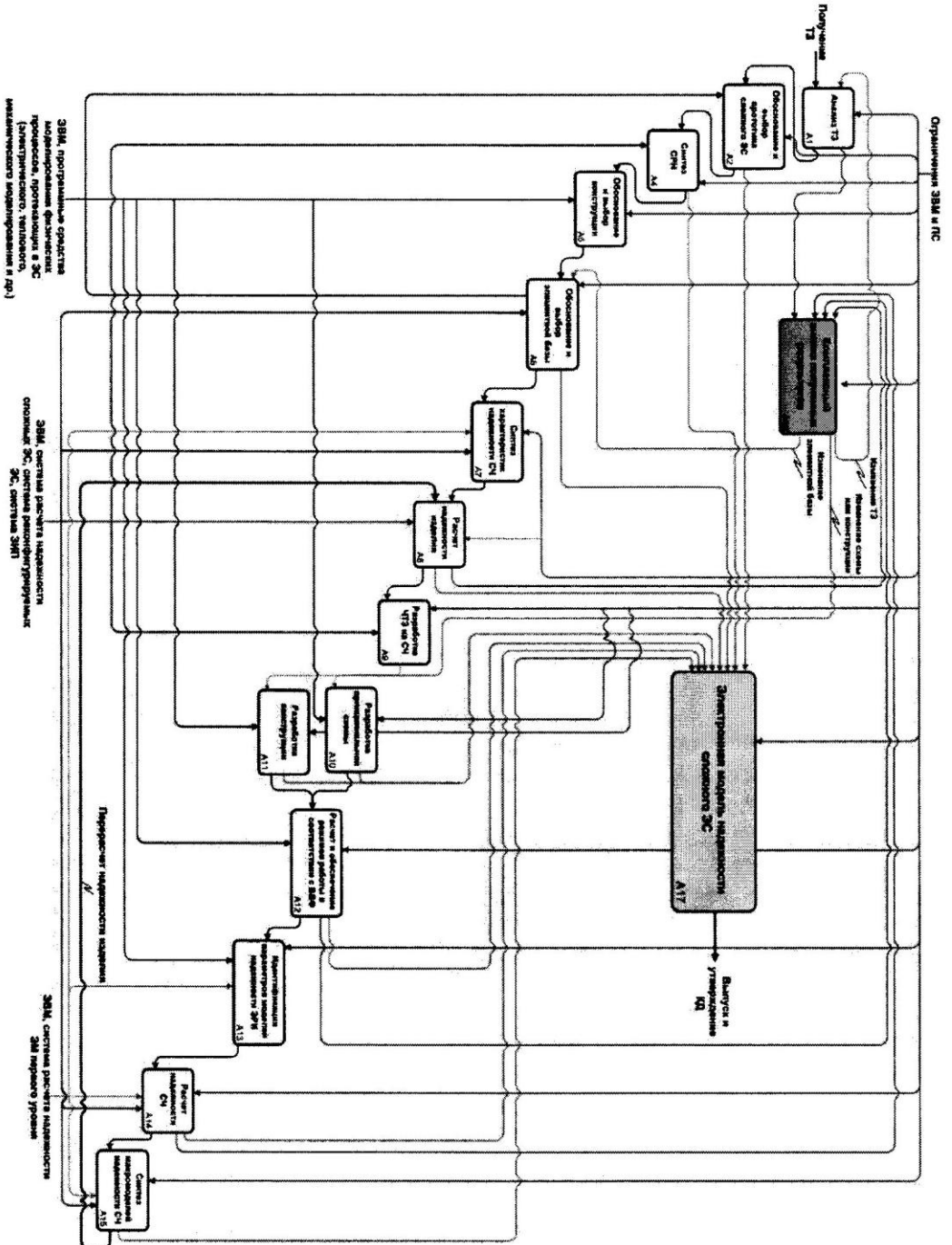


Рис. 1. Функциональная модель информационной технологии обеспечения надежности сложных ЭС

Кроме того, не надо забывать о задачах, связанных с определением требований по надёжности к СЧ (блок А9) и окончательной оценке надёжности (блок А8).

Очевидно, что трудоёмкость работ по оценке и обеспечению надёжности ЭС во много раз ниже, чем трудоёмкость работ по оценке и обеспечению надёжности СЧ (схема расчета надёжности ЭС может содержать до нескольких сотен СЧ, в то время как количество ЭРИ может достигать десятков и сотен тысяч [6]).

Отсюда можно сделать принципиальный вывод о том, что специалисты службы надёжности должны решать задачи, сформулированные в блоках А4, А7, А8 и А9, а задачи обеспечения требований по надёжности к конкретной СЧ - её непосредственные разработчики (схемотехники и конструктора) - блок А14.

Только в этом случае можно избежать многочисленных доработок ЭС по результатам испытаний опытных образцов и обеспечить выполнение процедур системы качества в соответствии с требованиями стандартов *ISO* серии 9000.

Однако, для того, чтобы возложить эти обязанности на плечи проектировщиков ЭС, необходимо предоставить им средства автоматизации для решения задач расчета показателей надёжности, т.е. создать программные средства (ПС) нового поколения, основанные на использовании широких возможностей сетевых и информационных технологий.

С целью конкретизации требований к таким ПС в работе предложена концепция реализации непрерывной информационной поддержки ПОНр в части расчёта показателей надёжности ЭС, основными положениями которой являются [7]:

- объединение пользователей по информационному, а не по территориальному признаку (установка ПС в локальной или глобальной сети позволяет проводить расчёты надёжности как одного ЭС с разных рабочих станций, так и различных ЭС с одной рабочей станции);
- электронный обмен данными (конверторы данных форматов промышленных САПР и АСПИ, формирование протоколов работы в электронном виде);
- мониторинг информации о характеристиках надёжности ЭРИ и ККТ;
- непрерывная поддержка процесса обеспечения надёжности (расчёт предельно-допустимых режимов работы, числа резервных СЧ и т.д.);
- непрерывная поддержка оказания помощи пользователю («горячая линия», Internet-представительство, контекстная справка и т.д.);
- непрерывная поддержка информации о характеристиках надёжности ЭРИ как иностранного производства (ИП), так и отечественного (время модификации интерфейса пользователя и баз данных (БД) в части математических моделей эксплуатационной интенсивности отказов, численных значений коэффициентов и т.д. не должно превышать 1–2 дней после появления результатов мониторинга);
- непрерывная поддержка процесса расчёта надёжности (автоматический перерасчёт при любом изменении схемы расчета надёжности (СРН) и отображение результатов в окне интерфейса пользователя);

Программный комплекс расчета показателей надёжности ЭС, в котором реализованы все положения концепции, создан для автоматизации процессов информационной технологии обеспечения надёжности сложных ЭС военного и специального назначения (см. рис. 1), в обеспечение КГВС «Мороз-6» и «Климат-7» и предназначен для расчетной оценки показателей надёжности ЭРИ, ККТ, МЭ, ЭМ1 [8], резервированных и реконфигурируемых ЭС [9], показателей достаточности систем ЗИП, мониторинга характеристик надёжности ЭРИ и ККТ и поддержки единого информационного пространства расчетов надёжности.

Состав программного комплекса расчета показателей надёжности ЭС приведен на рис.

2.

Системы расчета показателей надёжности электронных модулей, показателей надёжности резервированных ЭС, показателей надёжности ЭС с реконфигурируемой структурой и показателей достаточности систем ЗИП позволяют проводить расчеты показателей надёжности по ГОСТ РВ 20.39.303 [10], а именно: вероятности безотказной работы за заданное время; средней наработки на отказ в режиме эксплуатации; средней наработки на отказ в режиме хранения; коэффициента готовности; коэффициента оперативной готовности; коэффициента готовности системы ЗИП и среднего времени задержки удовлетворения заявок.

Система администрирования справочной части базы данных (СЧБД) предназначена для обновления данных по характеристикам надёжности ЭРИ и ККТ.

Система администрирования пользователей предназначена для разграничения прав доступа пользователей к системам и информационным ресурсам (базам данных) программного комплекса.

Система архивации проектов предназначена сопровождения архивной части базы данных (АЧБД) программного комплекса.

Система мониторинга предназначена для сбора и обработки актуальной информации о характеристиках ЭРИ и ККТ.

Для реализации возможности непрерывной поддержки актуальной информации о характеристиках надежности ЭРИ и ККТ были разработаны специализированные языки кодирования окон интерфейса пользователя системы расчета показателей надежности ЭМ и кодирования математических моделей (формул) интенсивности отказов.

Использование этих языков позволяет изменять данные в СЧБД и Интерфейс пользователя (последовательность вывода, название и содержание окон, полей ввода-вывода и др.) без изменения программного кода системы расчета показателей надежности ЭМ. Подробное описание этих языков и способов их применения для модификации интерфейса пользователя приведено в [6].

Другим и не менее аспектом реализации информационной технологии является организация обмена данными при проведении расчетов надежности. В силу известных особенностей расчетов надежности (секретность, сложный математический аппарат и т.д.) исторически сложилось так, что их проводят инженеры-математики, не являющиеся непосредственными участниками процессов проектирования, а, следовательно, не представляющих взаимосвязи между характеристиками и показателями надежности и переменными проектирования (схемотехническими, конструкторскими и др.).

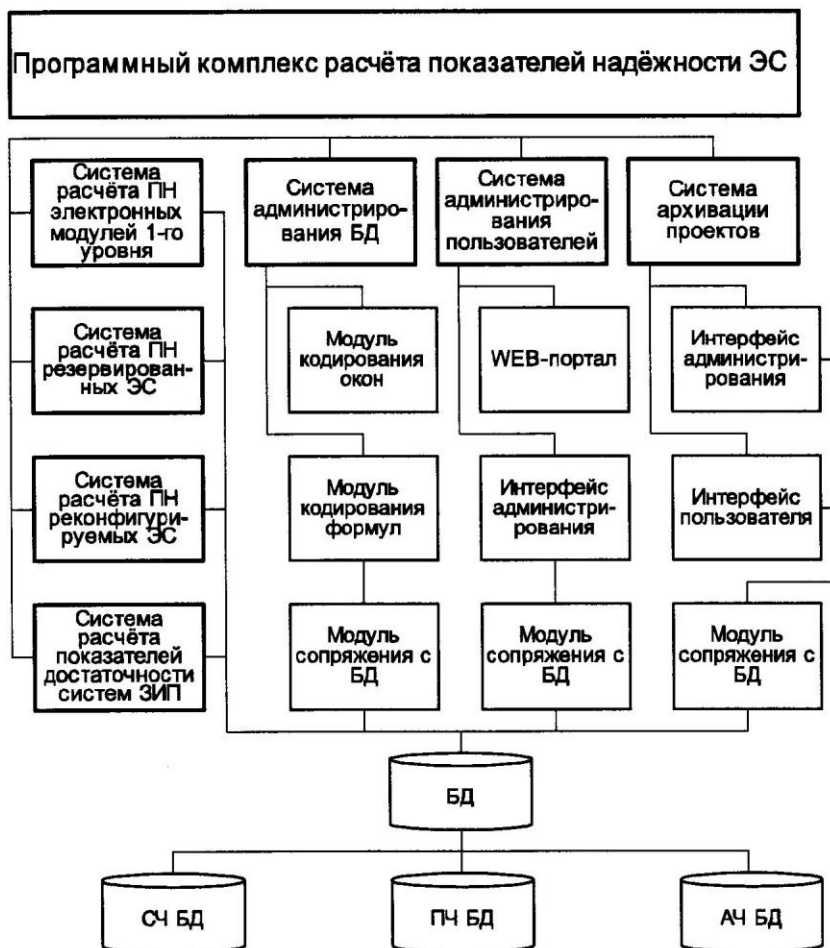


Рис. 2. Состав программного комплекса расчета показателей надежности ЭС

Поэтому при организации обмена данными в программном комплексе расчета показателей надежности необходимо организовать не только взаимосвязь данных отдельных систем, но и информационные связи с САПР(САД-системами), АСПИ(САЕ-системами) и системами менеджмента надежности [11]. Схема организации информационных потоков, отвечающая этим требованиям, приведена на рис. 3.

Таким образом, можно сделать вывод от том, что информационная технология обеспечения надежности ЭС НКС, как в научном плане, так и в программно-методическом обеспечении существенно превосходит отечественные аналоги и не уступает зарубежным, а по отдельным показателям программного комплекса (русскоязычный интерфейс, номенклатура ЭРИ, содержащихся в базе данных, структуры систем ЗИП, конверторы данных и др.) превосходит зарубежные аналоги, т.к. отвечает требованиям комплекса государственных военных стандартов «Мороз-6».

Список литературы

1. Абрамешин А.Е., Аксенов С.Н., Воронина Т.П. Менеджмент инновационной организации: Учебное пособие. / Под ред. А.Н. Тихонова. – М.: Европейский центр по качеству, 2003. – 408 с.
2. ГОСТ РВ 20.39.302-98. КСОТТ. Требования к программам обеспечения надёжности и стойкости к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений.
3. РДВ 319.01.10-98. Радиоэлектронные системы военного назначения. Методы надёжностно-ориентированного проектирования и изготовления РЭА.
4. РДВ 319.01.16-98. Радиоэлектронные системы военного назначения. Типовые методики оценки показателей безотказности и ремонтпригодности расчетно-экспериментальными методами.
5. Жаднов В.В. Технология надёжностно-ориентированного проектирования. / Электронные компоненты, № 8, 2002. – с. 28–30.
6. Жаднов В.В., Сарафанов А.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств: Учебное пособие. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, (Серия «Библиотека инженера»), 2012. – 464 с.
7. Жаднов В.В. Концепция реализации CALS-технологий в расчётах надёжности РЭА. / *CHIP NEWS*: Инженерная микроэлектроника, № 5 (68), 2002. – С. 28–30.
8. Абрамешин А.Е., Жаднов В.В., Жаднов И.В. Расчетная оценка надежности электронных модулей аппаратуры космических аппаратов. / Технологии ЭМС, № 1 (40), 2012. – С. 29–33.
9. Тихменев А.Н., Абрамешин А.Е., Жаднов В.В. Имитационное моделирование в оценке надежности электронных систем с реконфигурируемой структурой для космических аппаратов. / Электронные системы космических аппаратов и электромагнитная совместимость: сб. науч. тр. // Под ред. Л.Н. Кечиева. - М.: МИЭМ, 2012. – с.
10. ГОСТ РВ 20.39.303-98. КСОТТ. Требования к надежности. Состав и порядок задания.
11. Жаднов В.В., Авдеев Д.К., Полесский С.Н. Информационная технология обеспечения надежности сложных электронных средств военного и специального назначения. / Компоненты и технологии, № 6, 2011. - с. 168-174.

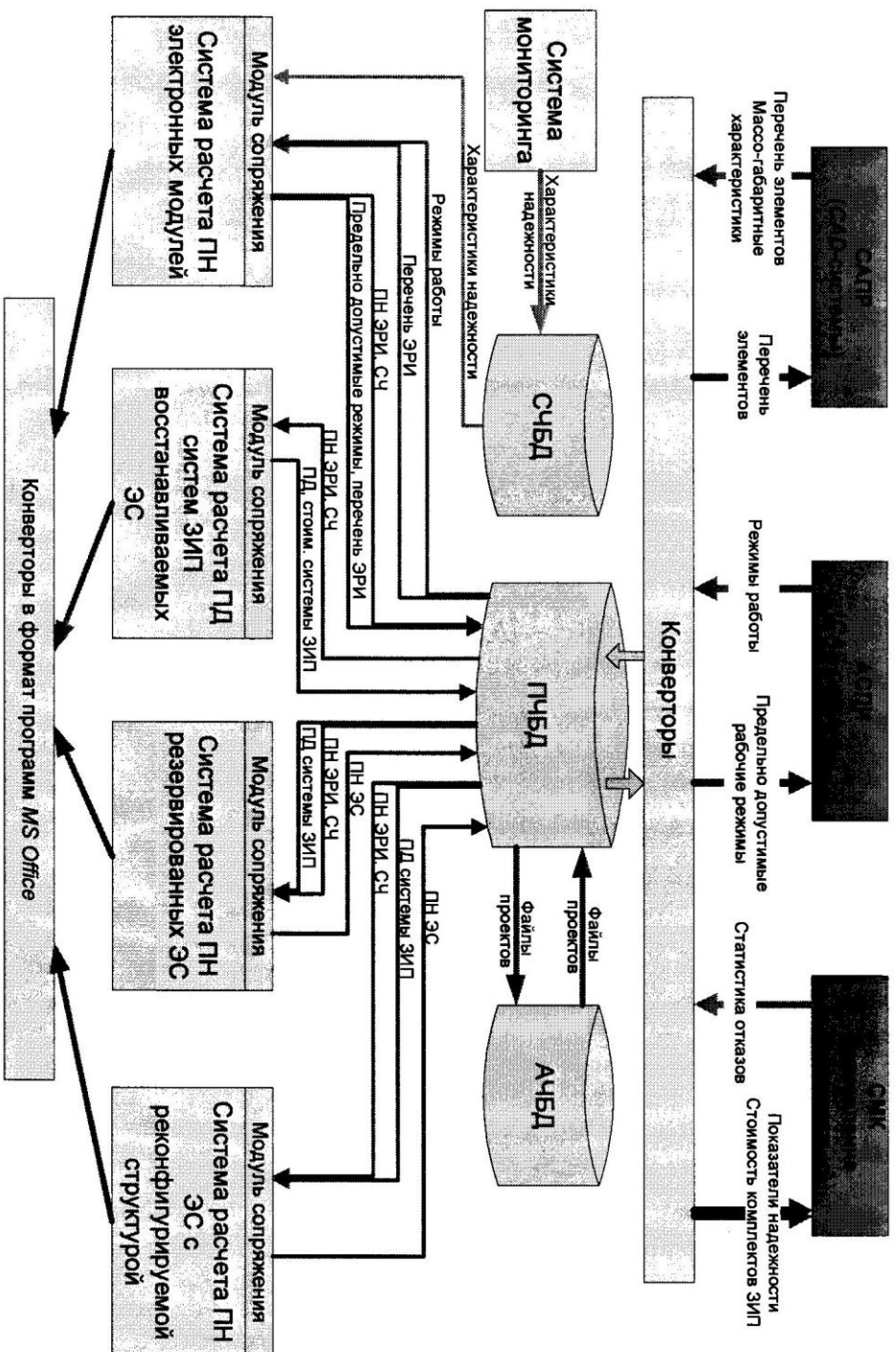


Рис. 3. Схема информационных потоков