

УДК 004.942

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РЕАЛИЗАЦИЮ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

© 2014 С.Ю. Желтов, Ю.И. Буряк, М.П. Любовников

Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем,
г. Москва

Поступила в редакцию 01.09.2014

Предложены методический подход и автоматизированная технология для решения задачи непрерывного мониторинга эксплуатации перспективных образцов авиационной техники, как составной части системы управления полным жизненным циклом, за счет полной автоматизации управления информационными потоками в «реальном» времени посредством согласованного использования комплекса современных информационных технологий.

Ключевые слова: *непрерывный мониторинг, эксплуатация, полный жизненный цикл, информационные технологии, автоматизированная система, автоматическая идентификация*

В последние годы в оборонно-промышленном комплексе (ОПК) проявляются тенденции по разработке мероприятий повышения технического уровня вооружения и военной специальной техники (ВВСТ) и реализации этого уровня на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) изделий. Это приводит к необходимости совершенствования существующих процессов обеспечения качества продукции, в первую очередь в промышленности, путем их преобразования в информационно-интегрированную систему управления полным жизненным циклом (СУПЖЦ) изделий ВВСТ [1].

Текущее состояние управления полным ЖЦ АТ характеризуется рядом существенных недостатков, основные из которых:

- отсутствие возможности отслеживать ряд важнейших характеристик в ходе всего ЖЦ изделия, например, фактических показателей надежности, готовности, расходе ресурсов, затратах на каждую из стадий ЖЦ АТ;

- низкий уровень взаимодействия заказчика и организаций промышленности при определении технического облика образцов АТ и сопровождении на всех стадиях ЖЦ;

- не предусмотрен непрерывный мониторинг значений эксплуатационно-технических характеристик АТ, стоимостных показателей ЖЦ АТ, начиная от проектирования АТ до снятия их с эксплуатации;

- неэффективность механизмов принятия управленческих решений в ходе ЖЦ ВВСТ;

- отсутствие в нормативных документах, прежде всего касающихся стадий эксплуатации, ремонта (технического обслуживания) и утилизации, положений, позволяющих создавать и внедрять СУПЖЦ ВВСТ и ее элементы.

Перечисленные особенности не позволяют в полной мере раскрыть потенциал управления полным ЖЦ изделий, поэтому в сложившейся ситуации для ОПК стала своевременной и важной проблема преобразования существующих подходов к организации разработки, производства и эксплуатации ВВСТ в полноценную СУПЖЦ с сохранением и совершенствованием всех положительных сторон существующей системы.

Постановка задачи исследований.

Принципиальные недостатки, присущие принятой в настоящее время схеме организации работ по поддержанию исправности ВВСТ, а именно: организационно-временная разобщенность

Желтов Сергей Юрьевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, генеральный директор. E-mail: info@gosniias.ru

Буряк Юрий Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: buryak@gosniias.ru

Любовников Михаил Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: lyubovnikovm@mail.ru

процессов мониторинга и управления техническим состоянием АТ и информация недостаточность (в части полноты, актуальности и достоверности) собираемых сведений не позволяют получать и использовать в «реальном времени» ряд важных характеристик изделий, в том числе, показателей эксплуатационной и ремонтной технологичности, метрик организационно-деловых процессов, стоимости отдельных работ и др., что, в конечном итоге, приводит к снижению качества обслуживания, уровня готовности парка АТ и повышению финансовых затрат.

Концепция создания СУПЖЦ ВВСТ уже предполагает разработку и внедрение программно-технического обеспечения, которое включает информационно-коммуникационные технологии и сети, прикладные и системные программы для ЭВМ, информационные системы, базы данных (БД) и др., обеспечивающие функционирование системы. В то же время разработка решений, основанных только на принципах «электронного документооборота» и «цифровых БД», безусловно, приведет к сокращению временных затрат, но, преимущественно, в процессах использования (обработка, обмен) данных, что не решает проблем обеспечения легитимности и достоверности данных и далеко не исчерпывает возможности современных информационных технологий (ИТ).

По существу разрабатываемая СУПЖЦ представляет собой систему с существенными ограничениями по организации обратной связи между участниками процессов ЖЦ АТ, т.к. основана на «ручных» процедурах ввода данных по АТ в процессе ее технического обслуживания и ремонта (ТОиР), что, исходя из опыта эксплуатации, не позволяет обеспечить актуальность, достоверность и оперативность получения информации о состоянии АТ, не отвечает требованиям по обеспечению участников полного ЖЦ изделий ВВСТ актуальной и достоверной информацией о фактических показателях надежности, готовности, расходе ресурсов и т.д.

С целью обеспечения заданной эффективности выполнения поставленных перед военной авиацией боевых задач, в отличие от АТ гражданской авиации, определяющим требованием является необходимость готовности к вылету не только конкретного изделия АТ, а полная текущая (оперативная) информация об уровне готовности (исправности) парка АТ в целом и оперативное принятие решений по доведению (восстановлению) готовности парка АТ до требуемого уровня, что в условиях новых схем взаимодействия участников ЖЦ, в т.ч. организаций сервисного обслуживания АТ, обуславливает актуальность разработки технологии обеспечения

непрерывного мониторинга состояния как отдельных образцов АТ, так и парка АТ в целом.

Полноценное решение задач сбора и обработки данных об изделиях и процессах их ТОиР может быть основано только на расширении существующего комплекса ИТ в составе СУПЖЦ путем включения технологий автоматической идентификации изделий, прослеживания характеристик (метрик) производственных и эксплуатационных процессов, а также беспроводных коммуникаций, мобильных устройств (терминалов, ридеров, датчиков, средств измерений и пр.) и их согласованном использовании.

Разработка новой автоматизированной технологии, опирающейся на указанный комплекс современных ИТ, создает необходимую программно-техническую и информационную основу для решения задачи организации непрерывного прослеживания состояния (метрик) производственных и эксплуатационных процессов перспективной АТ в условиях новых схем взаимодействия участников ЖЦ, реализация которой опирается на передовые идеи в сферах управления совмещенными материальными и информационными потоками, создания интеллектуальной логистической среды, разработки новых методов и средств управления жизненным циклом.

Цель настоящих исследований: разработка методического подхода и комплекса программно-аппаратных средств для решения задачи непрерывного мониторинга эксплуатации перспективных образцов АТ за счет полной автоматизации управления информационными потоками в «реальном» времени посредством согласованного использования комплекса современных информационных технологий.

Методический подход для решения задачи непрерывного мониторинга эксплуатации перспективных образцов АТ как составной части СУПЖЦ. Поскольку деятельность системы инженерно-авиационного обеспечения (ИАО) строго регламентирована нормативными документами, в ней возможно выделить жестко выстроенные, иерархически организованные уровни, где на верхних уровнях системы (части, соединения, объединения) решаются задачи планирования и организации ТОиР, а на нижнем уровне – аэродром базирования – их исполнение в рамках проведения различных форм ТОиР [2]. Проведенный анализ показывает, что процессы системы ТОиР включают взаимодействие «типовых» объектов: управляющих субъектов, объектов, действий (операций) и их результатов, поэтому для повышения эффективности ТОиР целесообразно рассмотреть возможности применения средств автоматизации и уже на их основе

реализовать условия **непрерывности** мониторинга. В основу автоматизации процесса ТОиР предлагается положить следующие принципы:

1) разделение процесса на операции с материальными и нематериальными (информационными) объектами;

2) полная автоматизация информационной составляющей процесса за счет согласованного использования комплекса ИТ:

- «объектно-ориентированного» электронного документооборота;
- автоматической (радиочастотной – РЧИ, штрих-кодовой - ШК) идентификации изделий и их характеристик, связанных с процессами;
- компьютерных устройств – мобильные (стационарные) терминалы;
- беспроводных коммуникаций;
- «классического» электронного документооборота;

3) организация процессов по схеме «регламентации работ», что предполагает четкую увязку заданий, работ по заданиям, результатов работ и данных, характеризующих условия проведения работ;

4) контроль прохождения процессов в «реальном» времени и прослеживание экземпляров материальных объектов.

Здесь реализуются возможности по синхронизации реальных характеристик «материальных» изделий с информационными потоками данных об изделиях и процессах, т.е. данные поступают потребителям информации «сразу», а не через длительные интервалы времени, задерживающие процессы жизненного цикла изделия. В конечном итоге это позволяет решить поставленную задачу по сокращению времени на сбор данных в условиях повышения уровня их достоверности и полноты.

Контроль и информационная поддержка принятия решения (ИППР) на более высоких уровнях управления заключается в обработке и представлении данных о состоянии изделий и процессов, собранных за установленный период времени (ΔT_s) к моменту t_s и включает сведения по собранным заданиям на выполнение работ по j -ому изделию (рис. 1). Обработка собранных заданий по временному фактору позволяет выделить ряд групп заданий: «выданные задания», «завершаемые задания», «выполненные задания», «просроченные выполненные задания» и т.д.

Группирование заданий основывается на выделенных подмножествах заданий на работы и требованиях о том, что контролируемые параметры должны собираться и обрабатываться отдельно для каждой единицы (экземпляра) изделия.

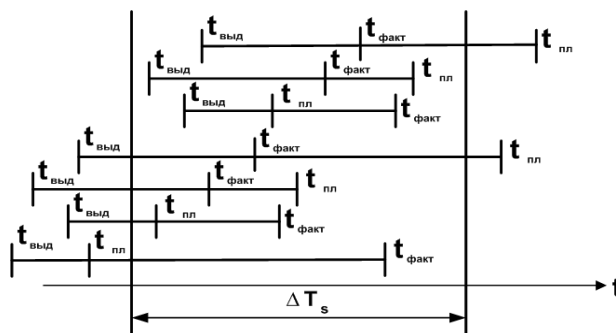


Рис. 1. Данные о ходе выполнения заданий, собранные системой сбора за период (ΔT_s)

Группа «выполненные задания», в которую входят задания, которые выданы на интервале ΔT_s и фактически завершены на этом же интервале, а также задания, которые выданы на предшествующих ΔT_s интервалах, а фактически завершены на интервале ΔT_s , специфична тем, что задания этой группы имеют атрибутику, характеризующую ресурсообеспеченность и качество работ, выполненных по заданиям. Количество заданий каждой группы суммируется и определяет индикаторы групп, по которым рассчитываются значения признаков, характеризующих состояние работ. Сопоставляя рассчитанное значение с его нормативным уровнем, в конечном итоге, получаем оценку состояния (НОРМА/НЕ НОРМА) выполнения работ по данному изделию на рассматриваемом уровне управления, т.е. – состояния объекта контроля.

Логический вывод показателей интегральной оценки состояния производства (эксплуатации) изделий осуществляется поуровневым сведением показателей (состояний объекта контроля в отношении того или иного показателя) из показателей нижележащих уровней.

Для «сведения показателей» применяются следующие подходы и методы:

1) определяются состояния объекта контроля в отношении всех показателей контроля всех уровней их иерархии, как множества, определенные на лингвистических переменных;

2) для всех показателей, вычисляемых на основании признаков, определяются пороговые (нормировочные) функции;

3) осуществляется «нормирование» функций признаков пороговыми (нормировочными) функциями;

4) устанавливаются правила логического вывода показателей (состояний объекта контроля в отношении того или иного показателя) каждого уровня из показателей (состояний объекта контроля в отношении того или иного показателя) нижележащих уровней.

Пороговые (нормировочные) функции могут изменяться от сеанса к сеансу сведения показателей, обеспечивая более приемлемую настройку на специфику предметной области.

Следует иметь в виду, что множество состояний объекта контроля в отношении того или иного показателя (признака) может быть определено на более, чем двух лингвистических переменных. В этом случае используются более разветвленные и сложные правила вывода показателей (исходов). Кроме того, множество состояний объекта контроля может быть определено, как нечеткое множество (с функцией принадлежности на интервале $[0,1]$). В этом случае используется «нечеткая логика» и «нечеткий логический вывод».

Алгоритм решения задачи диагностики нарушений основывается на последовательной детализации состояний объектов контроля, находящихся в состоянии «не норма». В конечном итоге пользователь может получить информацию о конкретных работах по заданиям, которые предписаны к выполнению определенным подразделениям, производственным участкам и исполнителям работ и выявить нарушителей.

Возможность сбора данных о характеристиках (метриках) процессов позволяет регистрировать также *событийность процессов*. Любой зафиксированный элемент процесса (функция, работа, операция) обладает, по крайней мере, двумя событиями: началом и фактическим окончанием. А при заданном плане процесса – еще одним априорным событием: плановым окончанием. Таким образом, появляется возможность прослеживания событийности, происходящей в процессной среде объекта управления. По событийности процесса можно производить расчеты показателей эффективности (качества и т.д.) и судить о состоянии объекта управления. Например, если для объекта управления на достаточно длительном интервале времени зафиксированы операции «поиск неисправности» с результатом «отказ», то появляется возможность оценки показателя надежности «интенсивность отказов», а если зафиксированы операции «устранение неисправности» с результатом «восстановлено», то появляется возможность оценки показателя надежности «время восстановления» и, в итоге, производить расчеты надежности объекта управления (рис. 2).

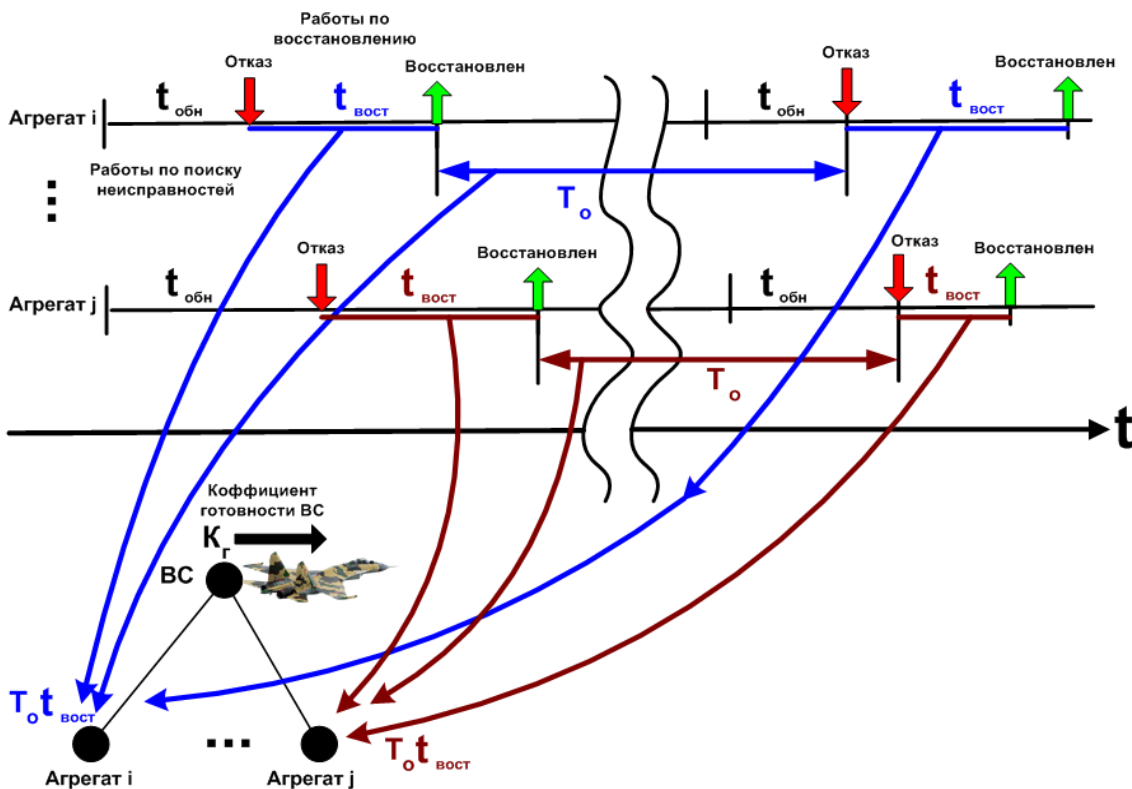


Рис. 2. Автоматизированный сбор и обработка данных о надежности АТ

Среди заданий на работы по ТОиР эксплуатации авиационной техники (АТ) присутствуют задания на работы по поиску неисправностей и восстановлению (ремонт, замена) отказавших агрегатов/КВС ($t_{обн}$ и $t_{вост}$ на рис. 2). Введение в

атрибутивный состав этих заданий данных о событиях «отказ» и «восстановлен», а также данных, характеризующих тип и описание неисправности, позволит производить автоматизированный расчет наработки на отказ ($T_о$) и времени

восстановления ($t_{\text{вост}}$) для каждого агрегата/КВС каждого борта и расчет коэффициента готовности каждого борта. Результаты этих расчетов могут быть «сведены» в показатели надежности и готовности парка АТ вышестоящих организационных уровней.

Различные сочетания положений на временной шкале моментов фактического и планового окончаний работ позволяют судить о ходе выполнения плана, а вычисления фактической длительности работ (время фактического окончания – время начала) с последующей статистической обработкой – о нормативах длительности работ, причем, при одновременной фиксации

кадровых ресурсов – еще и о нормативах трудоемкости и стоимости работ (рис. 3). Осуществление полной классификации работ по ТОиР определенного вида изделий дает возможность производить расчет фактических трудозатрат по каждому типу (виду) работы и после статистической обработки определять реальную трудоемкость и стоимость работ. Это позволит повысить качество планирования и поставить под контроль стоимость работ по техническому обслуживанию и ремонту изделий, в том числе при калькуляции затрат на работы, проводимые в рамках сервисного обслуживания АТ.

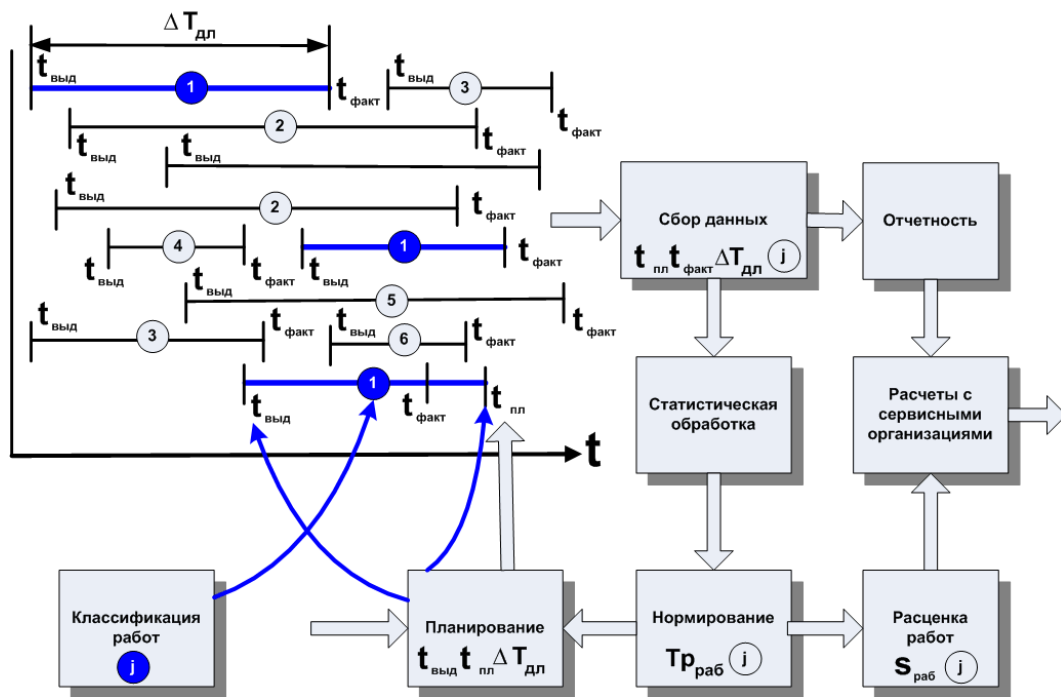


Рис. 3. Автоматизированный сбор и обработка данных о ходе выполнения планов, нормативах продолжительности, трудоемкости и стоимости работ

В существующих информационных системах процедуры обработки собранной информации и ИППР недостаточно информативны и не ориентированы на оперативный (в реальном времени) сбор данных о состоянии изделий, процессов и их ресурсообеспеченности. На рис. 4 представлена иллюстрация решений, обеспечивающих устранение этих недостатков путем:

- организации сбора «в реальном времени» данных о ходе выполнения электронных заданий (контролируемых параметров) на выполнение работ введенного в систему потока управления;
- организации процедур контроля, которые анализируют значения контролируемых параметров в «реальном времени» и за определенный период времени, вычисляют значения признаков, сопоставляют рассчитанное значение с его нормативным уровнем (оценка состояния), на их

основе, логически выводят значения заданных показателей определенной иерархии («снизу-вверх»), позволяющих судить о состоянии процессов производства (эксплуатации) изделий;

- организации ИППР (информационной поддержки принятия решений), которая обеспечивает подготовку данных, полученных в результате контроля, к представлению руководителям, визуализацию информации в рамках поддержки принятия решений и диагностику нарушений;

- включением в атрибутивное описание заданий данных о ресурсообеспеченности работ, качестве результатов работ и прочих данных, позволяющих производить расчет заданных показателей эффективности, зависящих от собираемых параметров процессов и соответствующих событий.

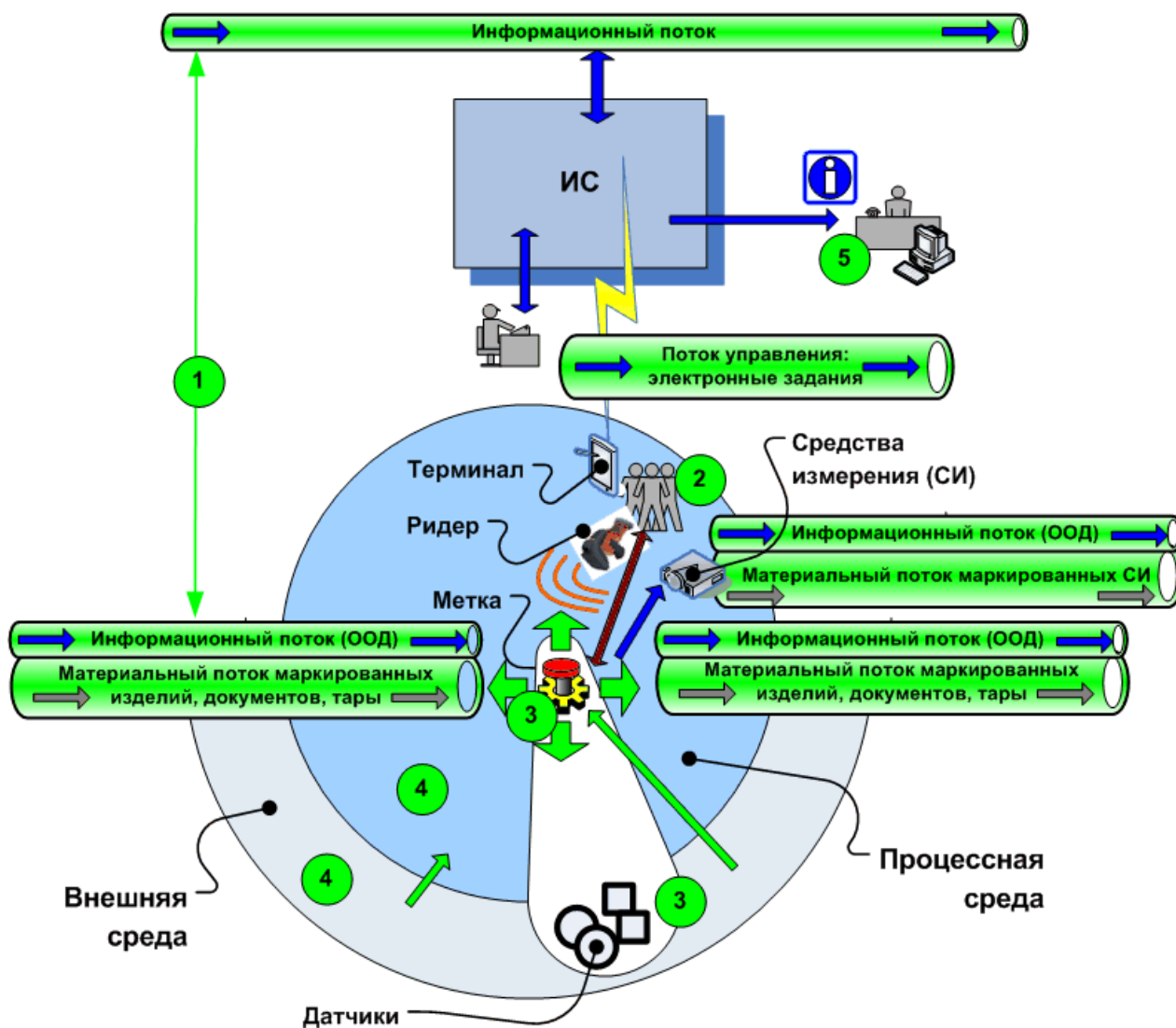


Рис. 4. Иллюстрация решений, обеспечивающих устранение недостатков (1) - (5)

Применение комплекса современных информационных технологий для автоматизации процессов ТООИР АТ. В основу реализации рассмотренных методических положений по обеспечению автоматизации процессов ТООИР предлагается положить программно-технологическую платформу мониторинга состояний объектов материальных потоков (МСОМП) [3] на их жизненном цикле. Система МСОМП построена на основе развитого набора гибких описательных (процессы, изделия, свойства и пр.), административных (пользователи, оборудование и пр.) коммуникационных (проводные, беспроводные, локальные, глобальные и пр.) и функциональных средств, обеспечивающих взаимодействие пользовательских приложений посредством периферийного оборудования с произвольными машиночитаемыми информационными носителями.

Состав приложений пользователей включает в себя спектр приложений класса АРМ (автоматизированных рабочих мест),

обеспечивающих функции администрирования системы, описания, просмотра и анализа данных об изделиях, и приложений класса «Терминал», которые представляют собой комплекс, состоящий из вычислительного средства, программного обеспечения и периферийного оборудования, выполняющего информационный обмен (запись, чтение информации) с носителем, закрепленным на изделии. Система МСОМП интегрируется в состав других программных систем современных систем управления и позволяет без написания программного кода адаптировать программное обеспечение под специфику систем управления и потребности конкретных пользователей, являясь основой для построения широкого спектра прикладных систем мониторинга и прослеживания состояния и характеристик наукоемкой промышленной продукции. Для обеспечения автоматизированных процессов ТООИР система разворачивается на объектах инженерно-авиационной службы (ИАС) эксплуатирующей организации (рис. 5).

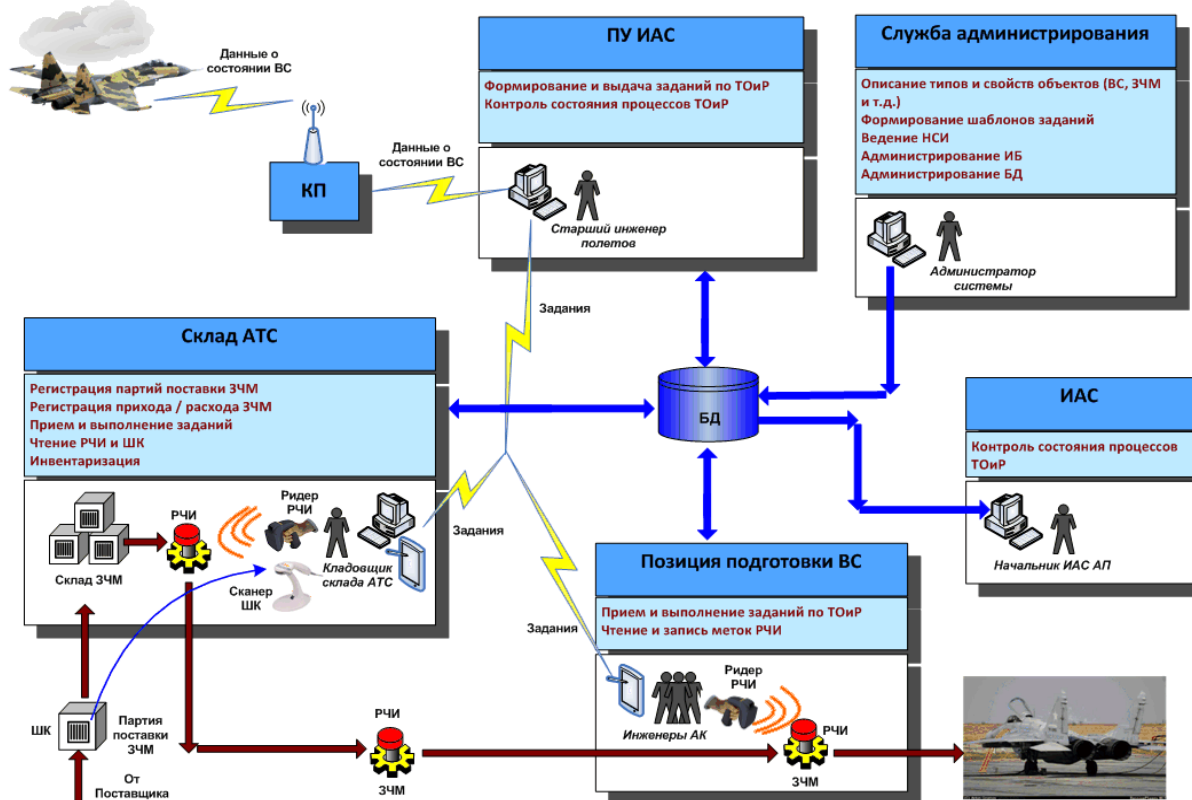


Рис. 5. Структурная схема размещения рабочих мест на объектах ИАС

Типовые АРМ и терминалы: администратора; пункта управления (ПУ) ИАС (АРМ); склада авиационно-технической службы (АТС) (АРМ и мобильный терминал); руководящего состава ИАС (АРМ); исполнителя работ по ТОиР (мобильный терминал). Система МСОМП настраивается на работу в конкретной авиационной части, при этом шаблоны заданий создаются в соответствии с нормативными документами.

Для проведения работ по ТОиР АТ пользователь АРМ на ПУИАС формирует и передает исполнителям по каналу беспроводной связи задание на проведение работ по ТОиР, устранение неисправности (поиск и подтверждение неисправности, оформление документации, монтаж/демонтаж изделия и пр.) и, в случае необходимости замены блока/агрегата, заявку для получения запасных частей и материалов со склада АТС. Получив на мобильном терминале задание по снятию/установке блока/агрегата, исполнитель производит считывание данных с РЧИ (RFID) метки блока/агрегата и выполняет сверку с выданным заданием и только после этого производит работы по снятию/установке блока. После проведения работ исполнитель производит запись в РЧИ (RFID) метку блока данных о выполненной операции. Также исполнитель может дополнительно внести на метку неформализованную информацию о характере неисправности. Факт проведения работ по каждому пункту задания исполнитель подтверждает графической

подписью. Состояние исполнения работ контролируется в «реальном» времени руководящим составом ИАС.

Таким образом, автоматизация вышеперечисленных операций информационного содержания (информационных процессов), проводимых в рамках ТОиР АТ, позволит не только сократить продолжительность и трудоемкость его отдельных этапов, но и обеспечить руководящему составу ИАС возможность в «режиме реального времени» контроля и управления процессами выполнения работ на АТ, готовности АТ и оперативность принятия управленческих решений по применению АТ по назначению.

Организация информационного обмена в системе непрерывного мониторинга эксплуатации перспективных образцов АТ. Реализация непрерывного мониторинга эксплуатации перспективных образцов АТ в виде распределенной информационной системы является наиболее целесообразной, в силу автономности функций элементов системы, принадлежащих разным уровням мониторинга, и повышенной живучести системы в целом. Структура системы должна представлять собой множество информационных узлов (ИУ), относящихся к различным уровням сбора и обработки информации о состоянии АТ. Наличие иерархии в организации системы технической эксплуатации АТ позволяет отобразить этот же принцип на структуру системы непрерывного мониторинга (СНМ). На

рис. 6 приведена обобщенная структура СНМ с указанием направленности основных информационных потоков, содержащих структурированную, формализованную информацию, передаваемую в автоматическом режиме. Структура системы отражает иерархическую непосредствен-

ную подчиненность ИУ нижних уровней смежным ИУ верхних уровней и в целом представляет собой дерево, в узлах которого располагаются ИУ, а ребра соответствуют информационным связям.

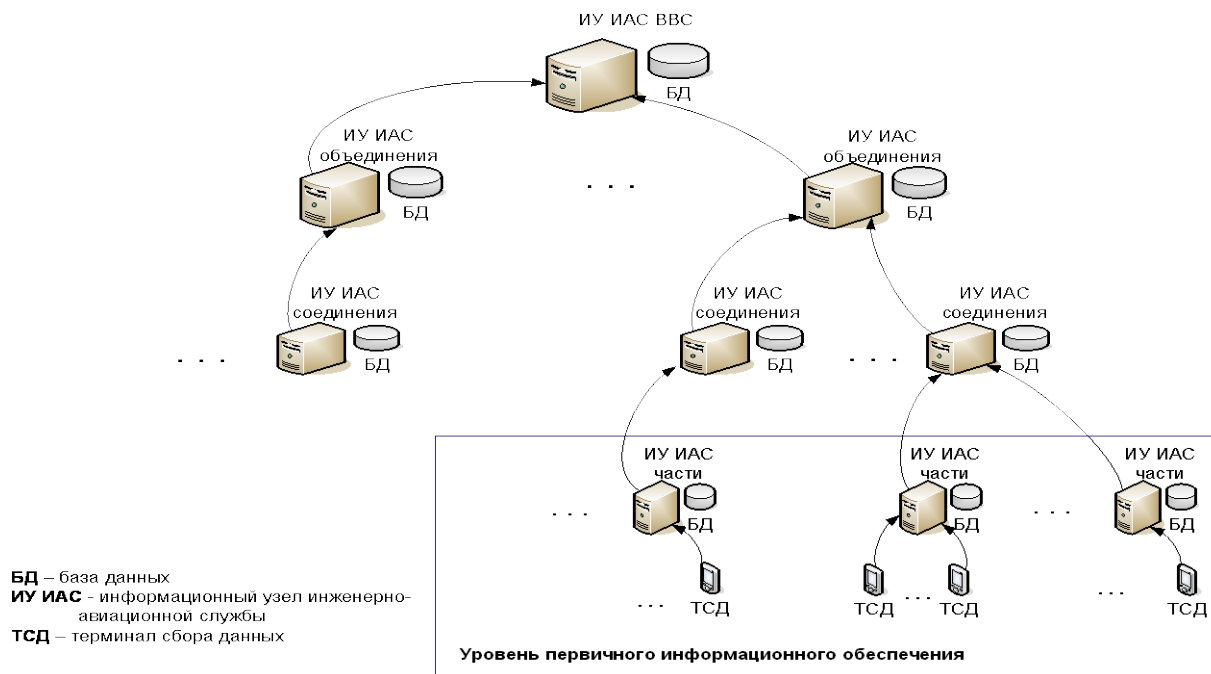


Рис. 6. Структура системы мониторинга эксплуатации АТ

Согласно иерархическому построению СНМ информационные узлы ИАС нижних уровней являются источниками информации для связанных с ними ИУ ИАС верхних уровней. Особое место в иерархии узлов – источников информации занимают ИУ частей, так как они являются терминальными в дереве системы, имеют собственные средства сбора информации, информационный обмен с которыми строится по специальным протоколам, применение которых в масштабах СНМ нецелесообразно. На схеме уровень ИУ ИАС частей выделен, так как они являются первичными источниками информации для системы в целом. ИУ ИАС выполняют следующие основные функции:

- сбор и обработка информации от источников;
- представление информации в различной форме пользователям ИУ;
- формирование и передача информации в адрес ИУ верхнего уровня.

Для организации информационного обмена может использоваться ведомственная изолированная сеть типа Intranet с использованием собственных, изолированных от сети Internet каналов и оборудования передачи данных, обеспечивающих информационный обмен с использованием стека протоколов TCP/IP, либо

глобальная сеть Internet с использованием технологии VPN для организации изолированной виртуальной сети. Рассмотренные принципы организации информационного обмена в системе непрерывного мониторинга должны учитываться при разработке конкретных протоколов в ходе проектирования системы.

Выводы: полноценное решение задачи непрерывного мониторинга эксплуатации АТ может быть основано только на организации сбора необходимых данных непосредственно в процессах технической эксплуатации АТ. В техническом плане это требует расширения применяемого комплекса ИТ в составе электронного документооборота и баз данных путем включения технологий автоматической идентификации изделий, прослеживания характеристик (метрик) производственных и эксплуатационных процессов, а также беспроводных коммуникаций и мобильных устройств (терминалов, ридеров, датчиков, средств измерений и пр.) и их согласованного использования. Реализация предложенных методических и технологических решений позволит значительно повысить эффективность мониторинга эксплуатации АТ как составной части системы управления полным жизненным циклом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 года № 603 «О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://binfocom.ru/content/zakon/view/426.html> (дата обращения: 16.10.2013).
2. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации (ФАПИАО)/ МО РФ, 2005. 252 с.
3. Буряк Ю.И. Разработка программно-технологической платформы для обеспечения контроля за состоянием сложных объектов при построении территориально-распределенных автоматизированных информационных систем производственного назначения / Ю.И. Буряк, В.Г. Амирханян, В.Л. Калинин // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 8. С. 23-28.

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL SOLUTIONS AND SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX, ENSURES THE IMPLEMENTATION OF CONTINUOUS MONITORING OF AVIATION TECHNIQUE ADVANCED MODELS OPERATION

© 2014 S.Yu. Zheltov, Yu.I. Buryak, M.P. Lyubovnikov

Russian Federation State Research Center State Research Institute of Aviation Systems,
Moscow

Are proposed a methodological approach and technology solutions for solving the problem of continuous monitoring of aircraft advanced models operation as part of a total life cycle management system due to the full automation of information flows management in the "real" time mode through the coordinated use of modern information technologies complex.

Key words: *continuous monitoring, operation, total life cycle, information technology, automated systems, automatic identification*

*Sergey Zheltov, Corresponding Member of RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director. E-mail: info@gosniias.ru
Yuriy Butyak, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: buryak@gosniias.ru
Mikhail Lyubovnikov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: lyubovnikovm@mail.ru*