

Г. И. Погорелов, Г. Г. Куликов, В. С. Фатиков, Ю. О. Багаева

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГТД НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Предлагаются основополагающие принципы структурного и алгоритмического построения системы интегрированной логистической поддержки и средств ее реализации на этапе эксплуатации электронной аппаратуры управления, контроля и диагностики (FADEC и ее компоненты) ГТД. Указанные принципы сформированы на основе требований международных стандартов, регламентирующих правила управления и взаимодействия посредством электронного обмена данными в интегрированных информационных системах. *Жизненный цикл изделия; интегрированная логистическая поддержка; эксплуатация; электронная система управления и контроля*

Международные и отечественные производители изделий авиационной техники и иной сложной технической продукции, такие как Boeing, Airbus, Rolls Royce, ОАО НПО «Сатурн», ОАО «Авиадвигатель», ОАО «Мотор Сич», ОАО «УМПО» и многие другие непрерывно работают над внедрением технологии интегрированной логистической поддержки продукции (ИЛП) на протяжении всего жизненного цикла. Предпосылками внедрения информационных технологий в производственный процесс являются:

- необходимость управления большим количеством параметрических, логистических, расчетных данных;
- необходимость постоянного мониторинга за состоянием изделия, оперативного принятия управленческих решений.
- Опыт внедрения систем информационного сопровождения изделия показывает, что решение вышеперечисленных задач следует осуществлять в рамках концепции ИЛП.

Согласно [1] ИЛП – методика управления, нацеленная на оптимизацию затрат в течение ЖЦ изделия. Она включает элементы влияния на процесс проектирования изделия с целью определения условий протекания постпроизводственных стадий ЖЦ, выполнение которых обеспечит максимальную поддержку изделия в период эксплуатации. Требование создания системы ИЛП, согласно [4], связано с желанием потребителя сократить затраты на эксплуатацию сложного технического объекта, которые для наукоемкого изделия часто равны затратам на его покупку или даже превышают их. К таким объектам относится электронная система управления, контроля и диагностики ГТД (далее ЭСУ ГТД).

### ОСОБЕННОСТЬ ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЭСУ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ИЛП

Объектом исследования в данной работе являются принципы структурного и алгоритмического построения системы ИЛП ЭСУ ГТД (FADEC) на этапе эксплуатации и средств реализации.

Особенность информационного сопровождения ЭСУ ГТД с использованием систем интегрированной логистической поддержки жизненного цикла (ИЛП ЖЦ) заключается:

- в длительном ЖЦ ЭСУ ГТД (10–30 лет), требующем надежного хранения информации в течение длительного времени;
- в необходимости интегрироваться или быть совместимыми с ИЛП ЖЦ двигателя и объекта в целом (самолета, наземных установок);
- в потребности в наземном диагностическом оборудовании, обеспечивающем проведение ряда технологических операций.

Кроме того, ранние стадии эксплуатации (доводочные работы и опытная эксплуатация ЭСУ и ГТД и объекте) имеют ряд специфических особенностей:

- одновременно в эксплуатации могут находиться объекты с различной конфигурацией структуры и различными версиями программного обеспечения ЭСУ ГТД и систем объекта, что вызвано отработкой и формированием алгоритмов функционирования силовой установки и ЛА в целом, поэтому главным требованием к ИЛП является обеспечение корректировки программного обеспечения ЭСУ ГТД;
- оценка показателей качества и надежности ЭСУ ГТД на начальных стадиях недостоверна из-за малого количества данных;

- процессы и процедуры начальных стадий эксплуатации ЭСУ и ГТД недостаточно регламентированы в нормативной документации;

- из-за недостаточности информации, собираемыми встроенными и наземными средствами ЭСУ ГТД, возникают проблемы при локализации дефектов и диагностики отказов, что требует применения дополнительных средств технического обслуживания;

- на начальных стадиях эксплуатации ЭСУ ГТД накапливается огромное количество информации, по которой проводится только выборочная оперативная обработка (полная обработка требует значительных затрат времени специалистов), при этом значительная часть существенной информации по качеству всей разработки и стабильности технологических процессов предприятия остается необработанной и невостребованной.

Условием эффективного управления этими процессами является возможность формирования адекватных моделей, представляющих собой многофункциональное, многоаспектное представление предметной области [2].

Приоритетным направлением деятельности предприятия является объединение взаимосвязанных процессов, ресурсов, регламентов, ролей в единую систему, позволяющую осуществить поддержку постпроизводственных стадий жизненного цикла на основе интегрированной информационной среды (ИИС) [4]. ИИС является базовым понятием CALS-технологий, представляет собой хранилище данных в распределенной компьютерной системе, объединяющей подразделения предприятия и эксплуатирующие организации для информационного сопровождения ЖЦ продукта. ИИС должна быть сформирована с учетом общих правил представления, хранения, обмена и обработки информации. Это обеспечит единократный ввод данных и их использование на протяжении всего ЖЦ ЭСУ ГТД в целях сокращения временных и финансовых ресурсов за счет отсутствия дублирования информации.

Структура интегрированной информационной среды на основных стадиях ЖЦ (разработка, производство, эксплуатация) ЭСУ ГТД на предприятии УНПП «Молния» представлена на рис. 1.

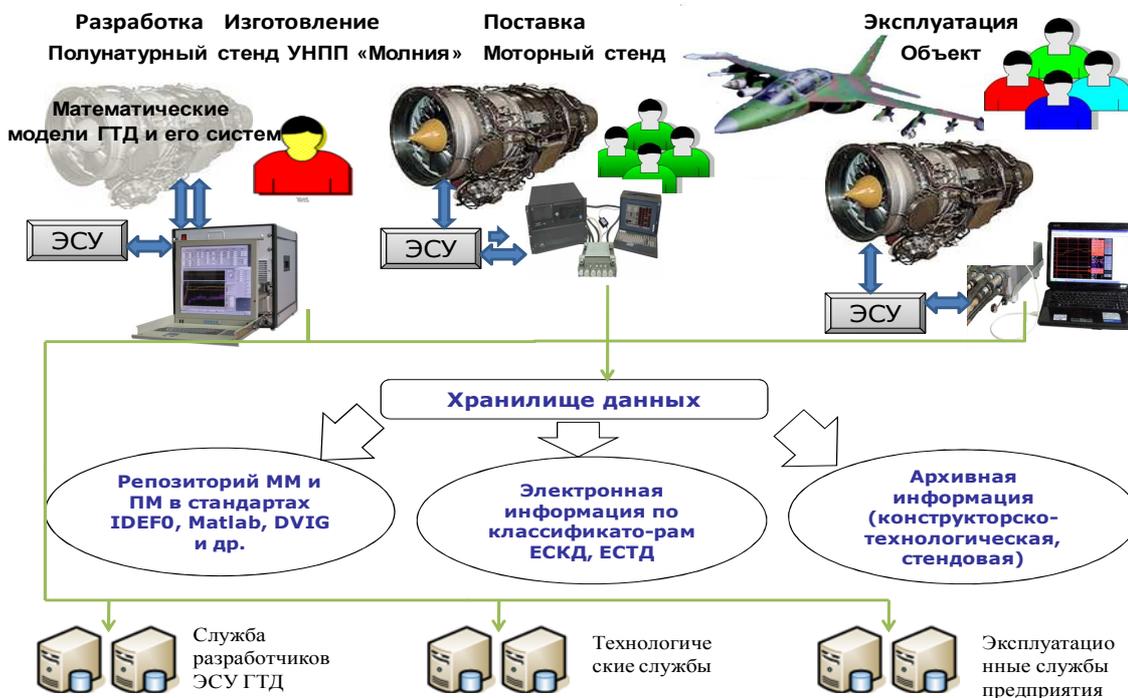


Рис. 1. Структура ИИС на основных стадиях ЖЦ ЭСУ ГТД, выпускаемых УНПП «Молния»

### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИЛП

В соответствии с разработанной ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России» и утвержденной ГК ВВС «Концепции разработки, внедрения и развития информационной поддержки жизненного цикла изделий авиационной техники Военно-воздушных сил Российской Федерации», основными направлениями внедрения метода интегрированной логистической поддержки жизненного цикла изделий АТ на этапе их эксплуатации являются [3]:

- формирование и использование базы данных (БД) о техническом состоянии изделия;
- использование электронной технической документации на изделие;
- автоматизация планирования технического обслуживания (ТО) изделия;
- использование данных о результатах эксплуатации для совершенствования эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) эксплуатируемых и перспективных изделий авиационной техники.

Для построения ИЛП ЖЦ ЭСУ ГТД на этапе эксплуатации необходимо решение следующих основных задач:

- создание автоматизированных средств диагностики ЭСУ ГТД для этапа эксплуатации;
- построение системы транспортирования информации из точек эксплуатации к системам обработки, хранения и использования;
- разработка методов обработки и представления эксплуатационной информации для использования;
- создание автоматизированной системы управления бизнес-логистическими процессами поддержки эксплуатации.

На рис. 2 представлен комплекс систем и средств с учетом решения вышеуказанных задач.

Структура ИЛП ЖЦ ЭСУ ГТД должна иметь в своем составе подсистемы, обеспечивающие формирование, прием, обработку и хранение параметрической, логистической, управленческой, экономической информации. Для управления такой информацией требуется разработка двухуровневой системы, состоящей из подсистемы управления технологическим уровнем и подсистемы управления логистическими и бизнес-процессами.

Основными задачами технологического уровня интегрированной логистической под-

держки жизненного цикла ЭСУ ГТД на этапе эксплуатации являются:

- регистрация, обработка и анализ параметрической информации, получаемой из ЭСУ ГТД по каналам информационного обмена с использованием средств технического обслуживания;
- формирование и ведение базы данных (БД) технического состояния ЭСУ ГТД;
- разработка интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) ЭСУ ГТД;
- управление версиями аппаратной части ЭСУ ГТД и ее программного обеспечения;
- разработка методов оценки технического состояния, показателей качества и надежности ЭСУ ГТД на основе параметрической и логистической информации, накапливаемой в БД.

Для решения задач логистики целесообразно формировать БД в виде «электронных паспортов (формуляров)» изделий. «Электронный формуляр», являясь составной частью программного и информационного обеспечения, значительно расширяет функции «бумажного формуляра», поскольку становится индивидуальной базой данных для решения задач обслуживания изделий, начиная с приемо-сдаточных испытаний.

На всех этапах ЖЦ «электронный формуляр» должен заполняться автоматически или оператором с помощью программного обеспечения средств технического обслуживания ЭСУ ГТД и систем телекоммуникаций, используемых разработчиком-изготовителем и эксплуатантом.

В «электронном формуляре» организуется учет:

- выработки и остатка ресурса изделия;
- параметров технического состояния изделия, контролируемых в процессе испытаний и эксплуатации;
- выполнения регламентных работ, доработок, бюллетеней;
- результатов поиска и устранения неисправностей.

Ведение «электронного формуляра» на протяжении ЖЦ ЭСУ ГТД позволит:

- концентрировать и передавать данные от различных источников диагностической информации и результатов ее обработки в единую БД с классификацией по типам ЭСУ ГТД;

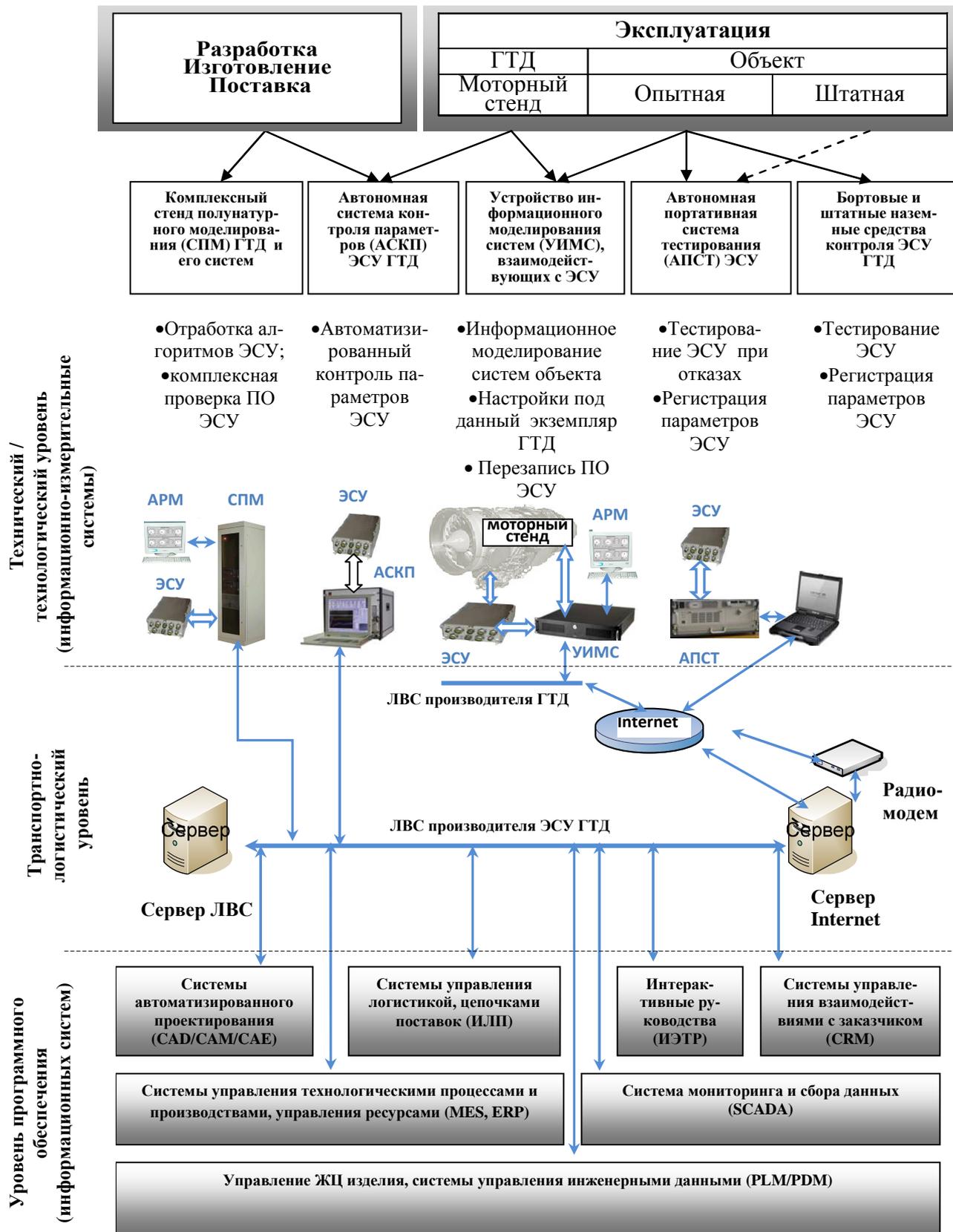


Рис. 2. Системы и средства, обеспечивающие информационную поддержку ЭСУ ГТД на этапах ЖЦ

- обеспечить доступ разработчиков, изготовителей, эксплуатантов, инженерно-технического состава и административного персонала к БД для решения различных задач по обслуживанию ЭСУ ГТД;

- на основе обработки индивидуальных БД проводить углубленную диагностику и прогнозирование технического состояния ЭСУ ГТД.

Процессы эксплуатации в соответствии с концепцией ИЛП должны быть регламентированы стандартами предприятия в системе менеджмента качества. Поэтому задача проектирования системной модели [2] вышеуказанных процессов, которая найдет отражение в СТП, является актуальной и ответственной.

### КОНТУР УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ ЭСУ ГТД

Для обеспечения мониторинга технического состояния ЭСУ ГТД в эксплуатации, подтверждения заданного уровня качества и надежности предлагается система накопления и обработки логистической и параметрической ин-

формации ЭСУ ГТД. На рис. 3 показана схема контуров управления процессов подтверждения показателей качества и надежности изделия на этапах жизненного цикла, включая эксплуатацию.

Схема управления представлена в виде двух взаимодействующих контуров управления: внутреннего и внешнего. Внутренний контур управления представлен системой управления качеством (объект управления) и решениями (требования) научно-технического совета и подразделения ответственного конструкторское сопровождение изделия (регулятор).

Управляющее воздействие выражается в виде требований к системе управления качеством по улучшению следующих факторов:

- качества технической документации,
- показателей качества ЭСУ ГТД (его комплектности),
- улучшение технологических, производственных, экономических и организационных процессов,
- улучшение качества обслуживания изделия.

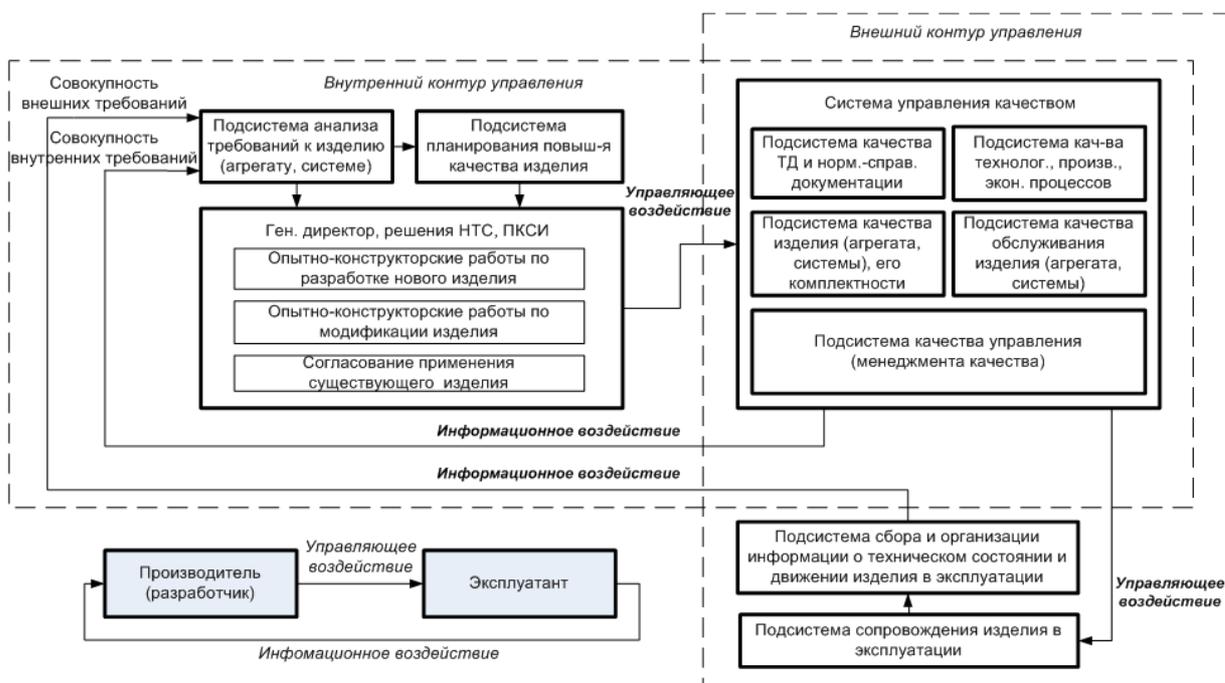


Рис. 3. Контур управления подсистемы накопления и обработки логистической и параметрической информации ЭСУ ГТД

Система управления качеством, в свою очередь, оказывает информационное воздействие (совокупность внутренних требований) в виде подтверждения заданных (номинальных) показателей качества и надежности.

Внешний контур управления представлен в виде подсистемы сбора и регистрации технического состояния изделия, его движения в эксплуатации, которая оказывает информационное воздействие на подсистему анализа требований к изделию. Система управления качеством на предприятии во внешнем контуре управления выступает регулятором, оказывающим непосредственное влияние на эксплуатационную надежность и качество изделия.

Применительно к показателям качества и надежности изделия предприятие организует их подтверждение и нормирование. Подтверждение показателей качества и надежности – сопоставление значений показателей, полученных на этапах жизненного цикла, со значениями, заданными в технических условиях, технических заданиях и договорных документах. Нормирование показателей качества и надежности – корректировка значений показателей в зависимости от результатов контроля и испытаний, информации, полученной из эксплуатации.

#### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ ЖЦ ЭСУ ГТД

В стоимость жизненного цикла изделия (СЖЦИ) входят суммарные затраты на закупку, модернизацию, эксплуатацию и обслуживание изделия в течение всего его жизненного цикла.

По материалам [4], затраты на закупку составляют около 45%, а эксплуатационные расходы около 55% в общей стоимости жизненного цикла объекта.

Стоимость жизненного цикла ЭСУ ГТД для предприятия составляет часть общей СЖЦИ ЭСУ ГТД и складывается из стоимости:

$Z_A$  – части затрат на разработку, затрат на изготовление контрольно-диагностической аппаратуры, обеспечивающей процессы технологического уровня на этапе эксплуатации, и оснащение такой аппаратурой эксплуатационной службы предприятия и точек наиболее интенсивной эксплуатации;

$Z_Э$  – затрат на содержание эксплуатационной службы предприятия и обеспечение ее деятельности;

$Z_0$  – затрат на создание и поддержание обменного фонда ЭСУ ГТД;

$Z_{ив}$  – затрат на проведение работ по исследованию и восстановлению отказавших ЭСУ ГТД, разработку и реализацию мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность ЭСУ ГТД;

$Z_{шс}$  – затрат на оплату возможных штрафных санкций, связанных с рекламацией ЭСУ ГТД, и регрессных исков со стороны предприятий изготовителей ГТД, самолетов и эксплуатирующих организаций;

$Z_{илп}$  – затрат на создание и поддержание системы ИЛП предприятия (приобретение лицензированного ПО и его адаптация под структуру и функциональные задачи предприятия).

Затраты предприятия на стоимость жизненного цикла ЭСУ ГТД можно представить в виде:

$$Z_{СЖЦ} = Z_A + Z_Э + Z_0 + Z_{ив} + Z_{шс} + Z_{илп}. \quad (1)$$

Затраты  $Z_0$ ,  $Z_{ив}$ ,  $Z_{шс}$  трудно прогнозируемы и могут преобладать в СЖЦ ЭСУ ГТД при недостаточном качестве и надежности ЭСУ ГТД, а также при недостаточной оперативности работ по поддержке эксплуатации.

Затраты  $Z_{илп}$  могут окупиться за счет снижения  $Z_Э$ ,  $Z_0$ ,  $Z_{ив}$  в течение жизненного цикла ЭСУ ГТД.

Одним из основных процессов эксплуатации ЭСУ ГТД является процесс восстановления ГТД и его ЭСУ при возникновении дефектов.

Критериями данного процесса являются точность диагностирования отказа, время восстановления процесса эксплуатации и финансовые затраты на восстановление. По данным критериям необходимо вести постоянный мониторинг.

Процедуры, выполняемые на предприятии, и затраты времени на их выполнение в процессе восстановления эксплуатации ЭСУ ГТД после отказа, представлены на рис. 4.

Одним из наиболее главных факторов процесса опытной эксплуатации ЭСУ ГТД является время восстановления ( $t_B$ ) в процессе эксплуатации ЭСУ ГТД и объекта (авиационного двигателя, самолета).

$$t_B = \sum_1^n t_i; n = 12. \quad (2)$$

Среднее время, необходимое для выполнения процедур по восстановлению ЭСУ ГТД, по результатам статистических и экспертных данных представлено в таблице.

**Среднее время, необходимое для выполнения процедур по восстановлению ЭСУ ГТД**

Параметр	Среднее время, затрачиваемое на выполнение процедуры, часы	
	С использованием автоматизированных средств технического обслуживания ЭСУ ГТД	Без использования автоматизированных средств технического обслуживания ЭСУ ГТД
$t_1$	1	24
$t_2$	24	48
$t_3$	1	24
$t_4$	24	24
$t_5$	3	3
$t_6$	24	24
$t_7$	24	72
$t_8$	24	24
$t_9$	5	48
$t_{10}$	24	48
$t_{11}$	24	48
$t_{12}$	24	48
Среднее время восстановления ЭСУ при отказе $t_B$	202	435

$t_1$  – время, необходимое для получение информации об отказе ЭСУ ГТД (в том числе параметрической);

$t_2$  – оперативная обработка информации по отказу;

$t_3$  – запрос дополнительной информации о характере отказа (при необходимости);

$t_4$  – выезд специалиста для исследования на объекте (при необходимости);

$t_5$  – восстановление объекта путем замены отказавшей ЭСУ ГТД;

$t_6$  – возврат ЭСУ ГТД на исследование при подтверждении отказа;

$t_7$  – проведение исследований;

$t_8$  – разработка мероприятий по отказу;

$t_9$  – проверка эффективности разработанных мероприятий;

$t_{10}$  – ремонт отказавшей ЭСУ ГТД и принятие решения о ее использовании;

$t_{11}$  – доработка эксплуатирующихся ЭСУ ГТД (при необходимости);

$t_{12}$  – оценка эффективности проведенных работ на объекте.

Отмеченные особенности требуют оперативного управления конфигурацией ЭСУ ГТД и версиями его программного обеспечения.

Опыт начального этапа эксплуатации систем автоматического управления двигателей

АИ-222, Д-436 и других выявил необходимость создания для этого этапа технологических контрольно-измерительных и диагностических средств, обеспечивающих:

- перепрограммирование и измерение параметров ЭСУ ГТД на входном контроле заводов-изготовителей двигателей и самолетов,
- измерение параметров в процессе исследования отказов, выявленных в процессе выпуска ГТД и самолетов на более поздней стадии эксплуатации в местах базирования самолетов, при локализации сложных зависимых дефектов (в дополнение к штатным самолетным средствам тестирования).

**ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ  
ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ СБОРА  
И АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ  
ДАнных**

Введем классификатор данных, состоящий из следующих типов:

- идентификационная информация (реализующая требование идентификации и прослеживаемости ЭСУ ГТД на этапах ЖЦ);
- логистическая (данные о самолете и двигателе, на которых установлена ЭСУ ГТД, наработке, условиях эксплуатации и т. д.);
- параметрическая (зарегистрированные в процессе эксплуатации данные о техническом состоянии ЭСУ ГТД);
- расчетная (формируемая путем применения методик для расчета показателей эксплуатационной надежности, для расчета необходимого количества ЭСУ ГТД в обменном фонде и т. д.);
- прогнозная (формируемая с использованием методик расчета прогнозных показателей ресурса, качества и надежности ЭСУ ГТД, необходимых для эксплуатации ЭСУ ГТД по состоянию и т. д.).

Формирование электронной БД системы сбора и анализа эксплуатационных данных источниками информации должно осуществляться по следующим видам используемых документов в существующих процессах и процедурах на предприятии:

- дела на ЭСУ ГТД (комплектовка, процедуры входного контроля, сборки, приработки, приемки);
- деловая переписка между разработчиком-производителем и эксплуатантом (сопроводительные письма, факсограммы);

- эксплуатационная документация ЭСУ ГТД (паспорт, руководство по эксплуатации);
- ремонтная документация (РК, ремонтные технологии);
- рекламационные и технические акты по отказам ЭСУ ГТД;
- акты или отчеты по исследованию отказов ЭСУ ГТД;
- сводные отчеты по отказам;
- отчеты о проведенных доработках;
- оперативная информация (решения, отчеты по командировкам);
- договорные документы;
- отчеты по анализу системы менеджмента качества.

Поступающая из эксплуатации на предприятие первичная информация об ЭСУ ГТД (в виде входящей корреспонденции, сопроводительных паспортов и т. д.) регистрируется соответствующими службами предприятия, проходит первичную обработку. Далее в виде внутренних документов (сводных ведомостей по дефектам, протоколов качества и т. д.) представляется внутренними службами предприятия. Для анализа надежности и качества изделия информация аккумулируется подразделениями, ответственными за качество и надежность изделия (анализ качества и надежности). В случае, когда

требуется немедленное вмешательство в процесс разработки и производства изделия (выявленное несоответствие в эксплуатации), информация анализируется на предмет выявления признаков, характеризующих качество и надежность. Далее экспертами принимается решение о внедрении мероприятий, влияющих на качество. В случае, когда мероприятия по улучшению качества и надежности изделия основываются на собранной за продолжительный период статистике, требуется собрать всю информацию о качестве из отчетов по ее анализу (рис. 4).

Согласно представленной выше классификации информации необходимо сформировать структуру БД подсистемы накопления и обработки данных по ресурсному состоянию, логистической и параметрической информации ЭСУ ГТД. Своевременное обеспечение оперативной и точной информацией каждого этапа жизненного цикла ЭСУ ГТД, включая эксплуатацию, позволит эффективно управлять ее качеством и надежностью. Создание методик накопления, систематизации и обработки параметрической и логистической информации будет являться частью интегрированной логистической поддержки как важного фактора при производстве и сопровождении сложного технического изделия.



Рис. 4. Структура системы сбора, обработки и анализа эксплуатационных данных

## ВЫВОДЫ

1. При формировании системы ИЛП на предприятии следует учитывать:

- системообразующие факторы, соблюдение которых будет отвечать требованиям системной интеграции, обеспечения единого информационного пространства участников ЖЦ – единой рабочей среды;
- специфику эксплуатации ЭСУ ГТД как составной части ГТД и ЛА в целом;
- готовность персонала, финансовые, технические возможности для формирования системы информационного сопровождения;
- учет расширяемости и усовершенствования системы.

2. Формирование структуры ИИС на основных стадиях ЖЦ ЭСУ ГТД для обеспечения информационной поддержки этапов эксплуатации требует многоаспектного моделирования.

3. Для реализации информационного сопровождения ЭСУ ГТД в эксплуатации необходимо:

- внедрение экспертных методов обработки параметрических данных с целью выявления изменения параметров технического состояния разработки ЭСУ ГТД;
- на основе накопленных данных по всей номенклатуре ЭСУ ГТД разработать статистические методы оценки качества и надежности всей разработки (интегральный контроль разработки).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ Р 50.1.031-2001.** Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1. Стадии жизненного цикла продукции.

2. **Куликов Г. Г., Погорелов Г. И., Багаева Ю. О.** Система информационной поддержки экс-

плуатации электронных агрегатов ГТД на основе многоаспектной модели // Вестник УГАТУ. 2010. № 38. С. 32–41.

3. Эксплуатация самолета будущего должна начинаться сегодня / А. Крутилин [и др.] // АВИА панорама: международн. авиац.-космическ. ж-л. 2008. № 5. С. 30–32.

4. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Под ред. А. Г. Братухина. М.: ОАО НИЦ АСК, 2008.

## ОБ АВТОРАХ

**Погорелов Григорий Иванович**, зам. ген. дир. ФГУП УНПП «Молния». Канд. техн. наук по автоматизации и управлению технологическ. процессами и производствами (УГАТУ, 2002). Иссл. в обл. информ.-управл. систем.

**Куликов Геннадий Григорьевич**, проф., зав. каф. автоматизир. систем управления. Дипл. инженер по автоматизации машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по системн. анализу, автоматическ. управлению и тепл. двигателям (УАИ, 1989). Иссл. в обл. АСУ и управления силовыми установками летательн. аппаратов.

**Фатиков Виктор Сергеевич**, вед. науч. сотр. той же каф. Дипл. инженер-механик по судовым машинам и механизмам (ЛИВТ), двигателям летательн. аппаратов (УАИ, 1971). Канд. техн. наук по двигателям летательн. аппаратов (УАИ, 1983). Иссл. в обл. автоматич. управления силовыми установками летательн. аппаратов.

**Багаева Юлия Олеговна**, ст. преп. той же каф. Дипл. спец. по прикладной информатике в экономике (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по автоматизации и управлению технологическ. процессами и производствами (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. информ. поддержки жизненного цикла изделия.