



КАРАТ: ОТ «ЧЕРНОГО ЯЩИКА» ДО СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ

Леонид ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, начальник лаборатории ФГУП «ГосНИИАС», кандидат технических наук
Лидия ПРОЦКАЯ, старший научный сотрудник ФГУП «ГосНИИАС», кандидат технических наук

Первая модификация системы КАРАТ создана в конце прошлого века. Потенциал развития, заложенный в ее платформу, позволит ей оставаться инновационной в ближайшие десятилетия.

История КАРАТа началась с того, что в марте 1996 года «Рособоронэкспорт» подписал контракт с ВВС Индии на модернизацию самолета МиГ-21бис. Изначально предполагалось, что этот самолет, названный МиГ-21BIS UPG, будет оборудован регистратором «Тестер УЗ-Л» и БАСК «Экран», которые к тому времени морально устарели и их технические характеристики значительно уступали иностранным системам данного класса. Объективные условия диктовали необходимость создания и установки на борт МиГ-21BIS UPG системы контроля, регистрации и обработки полетной информации, соответствующей самым современным требованиям.

Всего за полгода ОКБ «Авиаавтоматика», ФГУП «ГосНИИАС» и НПО «Прибор» (г. Санкт-Петербург)

создали новую уникальную систему, получившую наименование **КАРАТ – Комплекс Анализа Работы Авиационной Техники**. ФГУП «ГосНИИАС» отвечал за идеологию и программное обеспечение системы.

Наземно-бортовая система КАРАТ стала революционной разработкой в своем классе.

Традиционно контроль бортового оборудования в полете и на земле осуществляет бортовая автоматизированная система контроля летательного аппарата. Результаты контроля передаются на приборную панель и регистрируются на эксплуатационный бортовой накопитель. В интересах расследования авиационного происшествия полетная информация, отражающая параметры движения, команды управления летательным аппаратом и его



бортовым оборудованием, регистрируется на защищенный бортовой накопитель (ЗБН). Оцифровку полетной информации, приходящей по разнотипным линиям связи, для регистрации в ЗБН осуществляет блок сбора и обработки информации. Считывание и воспроизведение полетной информации с бортовых накопителей осуществляют специализированные наземные системы.

За полетный контроль, аварийную регистрацию и расшифровку информации в случае авиационного происшествия отвечают разные системы, зачастую – разных производителей.

КАРАТ – это первая в мире интегрированная система эксплуатационного контроля и аварийной регистрации полетной информации, включающая в себя бортовую (КАРАТ-Б) и наземную (КАРАТ-Н) части.

Впервые в России в составе защищенного бортового накопителя была использована твердотельная память и обеспечивались высокие характеристики защиты

информации при внешних воздействующих факторах в соответствии с требованиями международного стандарта TSO-C124.

В наземной части КАРАТ-Н впервые были реализованы функции технического обслуживания КАРАТ-Б, а именно мониторинг входных/выходных параметров в реальном масштабе времени, проведение градуировочных работ и загрузка функционального программного обеспечения в блоки КАРАТ-Б в составе летательного аппарата, без демонтажа блоков. Долгое время реализация этих функций была уникальной особенностью системы КАРАТ.

Информация о реализации аналогичных функций в зарубежных системах появилась только после 2004 года, то есть спустя почти 10 лет после начала эксплуатации КАРАТа.

Созданные для систем КАРАТ стенды расшифровки обеспечивают три уровня считывания полетной информации – с защищенного модуля памяти ЗБН, с платы

Бортовая «КАРАТ-Б»



- ◆ Диагностика явных и перемежающихся отказов
- ◆ Прогнозирование технического состояния БРЭО
- ◆ Оценка естественных процессов старения БРЭО в зависимости от условий эксплуатации

Наземная «КАРАТ-Н»



- ◆ Считывание, обработка и воспроизведение полетной информации
- ◆ Экспресс-анализ полетной информации в интересах контроля техники пилотирования и функционирования авиатехники
- ◆ Техническое обслуживание и отладка бортовых блоков

Стенд расшифровки



- ◆ Расшифровка полетной информации, сохраненной в защищенных накопителях.

СТАНДАРТНАЯ БАСК VS КАРАТ	
РАЗРАБОТЧИК Фирма-разработчик авионики и бортовой ИУС	СТРОНИЙ РАЗРАБОТЧИК: ФГУП «ГосНИИАС»
КОЛИЧЕСТВО ФИКСИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ 2000	5000
ЭТАП ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА, НА КОТОРОМ ВОЗМОЖНА АДАПТАЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ Проектирование БРЭО и информационно-управляющей системы нового самолета	Проектирование БРЭО и ИУС нового самолета Модернизация парка эксплуатируемых самолетов
АВАРИЙНЫЕ САМОПИСЦЫ: ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ, ЗВУКОВОЙ И ГОЛОСОВОЙ Представляют собой три отдельных агрегата	Интегрированный защищенный бортовой накопитель, получающий информацию по видео-, аудио- и цифровым каналам Спасаемый частично-защищенный носитель
ПОДСИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИИ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ БРЭО НЕТ	ЕСТЬ

ОСНАЩЕНИЕ ПАРКА САМОЛЕТОВ СИСТЕМОЙ «КАРАТ» С ПОДСИСТЕМОЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИИ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ БРЭО СНИЖАЕТ КОЛИЧЕСТВО АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И КАТАСТРОФ НА 20%*
*Сравнительные данные получены в ходе эксплуатации модернизированных МиГ-21BIS UPG, оснащённых системой «КАРАТ» и МиГ-21BIS ВВС Индии аналогичных годов выпуска

памяти защищенного модуля памяти и с микросхем модуля памяти. Специалисты ФГУП «ГосНИИАС» принимали участие в расшифровке полетной информации после 10 авиационных происшествий. Во всех случаях удалось успешно считать полетную информацию из ЗБН и предоставить комиссии данные для определения причин авиационного происшествия.

По-настоящему революционной инновацией КАРАТа является идеология его построения как информационной системы.

На сегодняшний день в мире преобладают бортовые автоматизированные системы контроля, находящиеся под управлением бортовой информационно-зависимой системы, по сути – являющиеся ее частью. Это решение имеет свои преимущества. В частности, передача информации осуществляется внутри одной операционной системы, что существенно упрощает взаимодействие подсистем и уменьшает стоимость бортового программного обеспечения и оборудования. Но именно здесь кроется совершенно неочевидный, но ключевой недостаток этих систем. Внутренние системы самодиагностики встроены

в блоки бортовой информационно-управляющей системы (ИУС) и в ряде случаев не способны диагностировать сбой в логике работы блоков.

Так, причиной авиакатастроф, произошедших с Boeing 737 MAX 8 в Индонезии 29 октября 2018 г. и в Эфиопии 10 марта 2019 г. эксперты считают систему MCAS (Maneuvering Characteristics Augmentation System), которой оборудованы все самолеты семейства Boeing 737 Max. Система работает автоматически и без оповещения экипажа. В обоих случаях встроена система самодиагностики не смогла определить ошибочность поступающих в систему MCAS данных от датчиков, и экипажи не смогли вмешаться в управление и предотвратить катастрофу.

КАРАТ является системой, не зависимой от бортовой ИУС, и это дает ей ряд преимуществ:

1) Возможность инсталляции и комплексирования системы как на стадии разработки летательного аппарата (что, конечно, предпочтительнее), так и на стадии эксплуатации борта в процессе его ремонта или модернизации.

НА СОВРЕМЕННОМ АВИАЦИОННОМ РЫНКЕ СУЩЕСТВУЮТ БОРТОВЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДВУХ ВИДОВ:

<p>зависимые от бортовой информационно-управляющей системы (ИУС)</p>  <p>Внутренние системы самодиагностики встроены в блоки бортовой ИУС и в ряде случаев не способны диагностировать сбой в логике работы блоков</p>	<p>независимые от бортовой информационно-управляющей системы (ИУС)</p>  <p>Системы диагностики блоков независимы от бортовой ИУС, что позволяет проводить мониторинг блоков, включая модули самодиагностики</p>
--	--



2) Использование массовых технологий для создания авиационных систем.

3) Возможность использования системы КАРАТ для диагностики бортового оборудования летательных аппаратов.

4) Масштабируемость: система КАРАТ применима не только для летательных аппаратов, но и для других видов техники и транспорта.

Рассмотрим эти преимущества подробнее.

Инсталляция КАРАТа на разных стадиях жизненного цикла

Как уже говорилось в начале статьи, история создания КАРАТа началась с модификации МиГ-21БИС.

В 2003 году на базе программных модулей КАРАТ-21 была создана система КАРАТ-25 для самолетов Су-25СМ и L-39. В этом проекте операционную систему (ОС) DOS бортовой системы заменили на 32-разрядную On-Time RTOS-32, а наземной системы – на совместимую с ней ОС семейства Windows. В КАРАТ-25 была решена задача регистрации звука на твердотельное запоминающее устройство в соответствии с российскими и международными стандартами. Впервые в России для копирования информации с бортового накопителя ЗБН-МР на наземный компьютер КАРАТ-Н использовался канал связи Ethernet, что позволило увеличить скорость копирования в сотни раз.

С 2003 года ФГУП «ГосНИИАС» участвует в создании системы следующего поколения КАРАТ-29К для самолета индийских ВМС МиГ-29К. Впервые в России в систему включены три накопителя полетной информации – защищенный, эксплуатационный и малогабаритный спасаемый. Для обеспечения синхронной регистрации полетной информации на три накопителя впервые в России в бортовой системе летательного аппарата была реализована локальная сеть на базе разнovidности двухстороннего авиационного 100-Мбитного Ethernet – AFDX.

Сегодня системы КАРАТ эксплуатируются на самолетах МиГ-21бис UPG, Су-25СМ/УБМ, МиГ-29К/КУБ, Ту-204/214, МиГ-29М/М2, МиГ-29К РФ, МиГ-35С. Всего ими оснащено 348 самолетов и 183 наземных станции.

Использование массовых технологий для создания авиационных систем

Система, независимая от бортовой ИУС, на безопасность полета и качество решения функциональных задач летательного аппарата непосредственно не влияет, поэтому при выборе программно-аппаратной реализации возможно отступление от жестких стандартов и применение массовых технологий для создания авиационных систем.

До наступления эпохи интернета, компьютеризации и цифровизации в российской, да и в мировой экономике существовала тенденция, при которой высокие технологии сначала создавались и внедрялись в передовых отраслях промышленности и науки, а затем «перекочевывали» в производство массовых товаров и услуг. Сегодня мы часто наблюдаем обратную ситуацию, когда массовые технологии начинают применяться в узкоспециализированных отраслях, в частности – в авиации.

Для жизненного цикла наземно-бортовых систем контроля и регистрации полетной информации характерны малая серия, сжатые сроки разработки и большое время эксплуатации (25-30 лет).

В рамках создания КАРАТ-21 для самолета МиГ-21BIS UPG была разработана технология проектирования интегрированной наземно-бортовой системы контроля и регистрации полетной информации в едином технологическом цикле. Краеугольным камнем технологии стало использование совместимых платформ (процессор + операционная система) бортовой и наземной частей системы и совместная разработка, отладка и сопровождение бортового и наземного программного обеспечения. Совместимость платформ обеспечила переносимость настольных разработок на борт с минимальными переделками. Эта технология позволила создавать системы, не уступающие лучшим зарубежным аналогам малым коллективом специалистов в кратчайшие сроки.

В дальнейшем технология стала базовой для обеспечения длительного жизненного цикла наземно-бортовой системы.

Для проектирования наземно-бортовых систем

УНИКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ «КАРАТ»:



Функция оценки естественных процессов старения и прогнозирования технического состояния БРЭО позволяет предотвращать лётные инциденты, а так же планировать процессы ТОиР и эксплуатировать авиационную технику «по состоянию».



В системах «КАРАТ», установленных на боевых самолётах, применяется уникальный спасаемый частично защищённый носитель, катапультируемый вместе с пилотом.



Наземная часть «КАРАТ-Н» может быть реализована в виде мобильного приложения для гаджетов на платформах Android, Windows Mobile и др.



Глубина считывания информации в ходе расшифровки полетной информации после авиационного происшествия - а) с защищенного модуля, б) с платы памяти защищенного модуля, в) с отдельной микросхемы платы памяти - позволяет расшифровать 95% полетной информации.

контроля и регистрации полетной информации выбрана стратегия использования имеющихся на рынке коммерческих программно-аппаратных компонент. С развитием информационных технологий стратегия менялась от COTS-технологии (Commercial Off-The Shelf Technology) к выбору партнерской экосистемы.

В настоящее время выбор компонент для создания наземно-бортовой системы – это выбор экосистемы. В информационных технологиях термин «экосистема» стал применяться с 2010-х годов и наследует такие характеристики биологических экосистем, как взаимовыгодность, сосуществование, симбиоз; имеет такие архитектурные свойства, как устойчивость интерфейсов, развитие менеджмента, защищенность и совместимость; тестируется миллионами пользователей.

Хорошо известными примерами информационных экосистем являются Apple, Google, Microsoft, Ruby и

Eclipse.

Для реализации наземно-бортовых систем контроля и регистрации нами в качестве партнерской технологии была выбрана ведущая технология на рынке настольных компьютеров – экосистема Windows. Партнерами по отношению к ней выбраны для бортовых блоков системы – ОС On-Time RTOS-32, базирующаяся на Windows, для межблочного обмена в бортовой системе – авиационный Ethernet AFDX и для обмена бортовой и наземной частей системы – Ethernet.

Такая стратегия выбора компонент позволяет разработать конкурентоспособные системы, сопровождать небольшому коллективу разработчиков (10 человек) одновременно 8 проектов на разных этапах жизненного цикла – проектирование, отладка, эксплуатация, расширять функциональные возможности системы путем внедрения инноваций партнерской экосистемы.



Использование системы КАРАТ для диагностики систем бортового оборудования

Эта функция является уникальной для систем подобного класса.

Возможность применения системы КАРАТ для диагностики состояния бортового оборудования, а также прогнозирования процессов деградации бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) обусловлена двумя факторами:

- КАРАТ является независимой от бортовой ИУС системой,
- функционал наземной системы КАРАТ-Н и стендов расшифровки, оснащенных специализированным программным обеспечением ГосНИИАС, обеспечивает сбор и анализ информации по парку однотипных воздушных судов, эксплуатирующихся в одинаковых условиях.

Именно эта особенность КАРАТа делает его больше чем просто системой эксплуатационного контроля и аварийной эксплуатации. Ее возможно использовать для управления жизненным циклом как отдельного летательного аппарата, так и парка воздушных судов – авиаполка или авиакомпании, оснащенных однотипными воздушными судами.

Функция прогнозирования процессов деградации БРЭО позволяет планировать процессы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиационной техники. В гражданском применении КАРАТ возможно совместить с существующими системами управления процессами ТОиР, бортовыми планшетами летчиков (EFB) и другими информационными системами.

Масштабируемость и применимость системы КАРАТ

Будучи внешней по отношению к бортовой ИУС системой, КАРАТ сопрягается с бортом на уровне физических датчиков, от которых он получает необходимую

полетную информацию. Информацию о состоянии функций, реализуемых программным способом, КАРАТ получает от ИУС через систему драйверов. Такой функционал позволяет устанавливать систему КАРАТ на летательные аппараты различной степени сложности – от самолетов авиации общего назначения до самых современных авиалайнеров.

С 2004 года ФГУП «ГосНИИАС» в кооперации с ОКБ «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова и АО «Си Проект» (г. Санкт-Петербург) проводят работы по оснащению кораблей ВМФ специально разработанными накопителями для обеспечения аварийной регистрации информации. Сегодня КАРАТами оснащены 3 корвета типа «Стерегущий», тральщик проекта 12700 «Александрит», большой десантный корабль «Иван Грен» и большой десантный корабль «Петр Моргунов».

Особенностью эксплуатации систем КАРАТ на кораблях является необходимость фиксации большого объема информации в течение длительного времени. Ведь если максимальная длительность полета исчисляется часами, то морской поход без захода в порты может длиться несколько месяцев. Для решения возникающих в таких условиях задач записи, хранения и передачи информации ФГУП «ГосНИИАС» создал ряд уникальных технологий.

Опыт создания подобной системы является уникальным для нашей страны. В результате научно-практической работы, проводимой коллективом ФГУП «ГосНИИАС» в течение 25 лет, было создано семейство наземно-бортовых систем контроля и регистрации полетной информации КАРАТ, успешно эксплуатируемых на самолетах МиГ-21ВІS UPG, Су-25СМ/УБМ, МиГ-29К/КУБ, Ту-204/214, МиГ-29М/М2, МиГ-29К РФ и корветах ВМС РФ. КАРАТ прошел апробацию в качестве системы, позволяющей управлять жизненным циклом авиационной техники и на практике доказал свою эффективность.

