

УДК 629.7.05

ББК 39.56

DOI 10.51955/2312-1327_2023_1_134

ОПЫТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВМЕЩЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНО-ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ ADIRS САМОЛЕТА А-320

*Александр Леонидович Кивокурцев,
orcid.org/0000-0002-3124-3019,
кандидат технических наук
Московский государственный технический
университет гражданской авиации
(Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, д. 3.
Иркутск, 664047, Россия
kivokurtsev_al@mail.ru*

*Олег Аркадьевич Соколов,
orcid.org/0000-0002-2669-4341,
кандидат технических наук
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации,
ул. Пилотов, д. 38.
Санкт-Петербург, 196210, Россия
sokolov_o_a@mail.ru*

*Александр Юрьевич Юрин,
orcid.org/0000-0001-9089-5730,
кандидат технических наук, доцент
Институт динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН,
ул. Лермонтова, д. 134.
Иркутск, 664033, Россия
iskander@icc.ru*

Аннотация. В статье представлен опыт технической эксплуатации совмещенной инерциально-воздушной системы ADIRS как на реальных ВС в авиакомпаниях, так и на процедурном тренажере при проведении практики «Тренажерная подготовка» в ВУЗе. Рассмотрены особенности построения системы ADIRS, показана её центральная роль в составе интегрированного комплекса бортового оборудования, как основного источника пилотажно-навигационной информации. Основным методом технической эксплуатации рассматриваемой системы является техническая эксплуатация по состоянию до появления опасного отказа, влияющего на безопасность полетов.

Путем натурных экспериментов, основанных на анализе работоспособности системы в реальных условиях, приводятся характерные отказы, рассматриваются нештатные ситуации, возможность реконфигурации системы. При наличии процедурного тренажера рассматривается экспериментальная возможность изучения особенностей эксплуатации системы, отработки методики выявления и устранения некоторых отказов.

В статье предлагается при обучении авиационных специалистов использовать непрерывную систему подготовки, состоящую из трех этапов. Первый этап – обсуждение особенностей построения, опыта технической эксплуатации изучаемых систем на локальной групповой научно-практической конференции. Второй – отработка практических заданий по

изучаемым системам на процедурном тренажере. Третий – выполнение работ по технической эксплуатации систем на реальном ВС.

Ключевые слова: Air Data Inertial Reference System (ADIRS), Air Data Reference (ADR), Inertial Reference (IR), совмещенная инерциально-воздушная система, бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), система воздушных сигналов (СВС), опыт технической эксплуатации, техническая эксплуатация по состоянию, обучение авиационных специалистов, непрерывная система подготовки.

THE EXPERIENCE OF TECHNICAL OPERATION OF AIR DATA INERTIAL REFERENCE SYSTEM OF A-320 AIRCRAFT

*Alexander L. Kivokurtsev,
orcid.org/0000-0002-3124-3019,
Candidate of Technical Sciences
Moscow State Technical
University of Civil Aviation
(Irkutsk branch),
st. Kommunarov, 3.
Irkutsk, 664047, Russia
kivokurtsev_al@mail.ru*

*Oleg A. Sokolov,
orcid.org/0000-0002-2669-4341,
Candidate of Technical Sciences
St. Petersburg State University of Civil Aviation,
st. Pilotov, 38.
St. Petersburg, 196210, Russia
sokolov_o_a@mail.ru*

*Alexander Yu. Yurin,
orcid.org/0000-0001-9089-5730,
Candidate of Technical Sciences, associate professor
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory
of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (ISDCT SB RAS),
st. Lermontov, 134
Irkutsk, 664033, Russia
iskander@icc.ru*

Abstract. The article presents the experience of technical operation of the air data inertial reference system (ADIRS) both on real aircraft in airlines and on a procedure trainer during the "Simulator training" practice at a university. The features of the ADIRS construction are considered, its central role as the main source of flight and navigation information in the composition of the integrated onboard complex is shown. The main method of technical operation of the system under consideration is "on-condition" operation, i.e. operation until a dangerous failure occurs that can affect flight safety.

Through full-scale experiments based on the analysis of the system performance in real conditions typical failures are shown, emergency situations and possibility of system reconfiguration are considered. In the presence of a procedure trainer it is possible through experiments to study the features of the system operation, to develop a methodology for identifying and eliminating some failures.

The article proposes to use a continuous training system, consisting of three stages, when training aviation specialists. The first stage is a discussion of the construction features, the experience of technical operation of the systems under study at a local scientific and practical conference. The second is performing practical tasks for the systems under study on a procedure trainer. The third is conducting the technical operation work on the real aircraft systems.

Keywords: Air Data Inertial Reference System (ADIRS), Air Data Reference (ADR), Inertial Reference (IR), strapdown inertial navigation system (SINS), technical operation experience, “on-condition” technical operation, aviation specialists’ training, continuous training system.

Введение

Самолет А-320, впервые увидевший свет в далеком 1988 году, оказался настолько удачной с технической и коммерческой точки зрения моделью, что активно эксплуатируется и по сей день. В свое время эти самолеты сделали большой прорыв в области пассажирских перевозок и задали высокий стандарт эргономичности, комфорта и эффективности технической эксплуатации. На самолете впервые внедрены электродистанционная система управления, ручка управления полетом, цифровая система управления двигателями, бортовая система сбора и локализации отказов, многофункциональный пульт управления самолетом и контроля бортового оборудования, электронная система индикации, электронный пульт управления оборудованием пассажирской кабины и другие системы. Все системы на борту интегрированы в единый комплекс бортового оборудования [Писаренко, 2017].

Базовой системой пилотажно-навигационного контура, интегрированного комплекса бортового оборудования самолетов семейства А-320 является совмещенная трехканальная отказоустойчивая инерциально-воздушная система ADIRS (Air Data Inertial Reference System). Эта система предоставляет основные воздушные параметры и информацию о пространственной ориентации, навигационных данных системам самолета. Система ADIRS является автономной системой, но имеет существенный недостаток – с течением времени имеет большие погрешности определения выходных параметров, поэтому она комплексируется с радиотехническими системами, используя при этом алгоритмы комплексной обработки данных¹.

Одним из эффективных подходов по изучению данной системы является обобщение опыта ее эксплуатации и использование процедурных тренажеров. Подготовка авиационных специалистов на тренажере позволяет повысить её эффективность, минимизировать негативное влияние человеческого фактора на всех этапах эксплуатации, что способствует обеспечению безопасной эксплуатации ВС. При разработке рабочих программ, информационно-обучающих комплексов должны учитываться требования к специалистам по техническому обслуживанию и обеспечению полетов воздушных судов, указанные в Федеральных авиационных правилах (ФАП-147), европейских стандартах обучения специалистов по ТО, изложенных в EASA (PART 66), а также документы Международной организации гражданской авиации (ICAO) и корпорации ARINC [Голосеева, 2022; Далецкий, 2010; Кузнецов, 2014; Кузнецов, 2015].

¹ Бабич О. А. Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение, 1991. 512 с.

Мелешко В. В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: учебное пособие. / В. В. Мелешко, О. И. Нестеренко. Кировоград: ПОЛИМЕД-Сервис, 2011. 164 с.

Анализ источников, посвященных изучению и использованию опыта технической эксплуатации бортового оборудования, в частности инерциально-воздушных систем, показывает ограниченность информации в данной области. Так в статье Кириллова А. В., Воронина В. В. «Особенности технического обслуживания и ремонта Airbus A320» отмечается, что самолеты семейства А-320 хороши с точки зрения технического обслуживания, но при этом не уделяется внимания анализу конструктивно-производственных недостатков. В статье анализируются «хронические» дефекты при выполнении тяжелых форм технического обслуживания, проблемы эксплуатации при оперативном техническом обслуживании не рассматриваются. По вопросам технической эксплуатации авионики даются отдельные рекомендации по работе с электропроводкой, покраской антенн и отключению Flight Augmentation computer (FAC) – блока устойчивости и управляемости САУ полетом при отработке технологии уборки/выпуска механизации [Кириллов и др., 2020].

В статье Кивокурцева А.Л. анализируются особенности технической эксплуатации интегрированных комплексов бортового оборудования (ИКБО) современных самолетов, рассматриваются основные характеристики эффективности технической эксплуатации для некоторых отечественных и зарубежных самолетов. Оценивается эксплуатационная надежность ИКБО самолетов семейства Ту-204. Даются рекомендации по особенностям изучения и эксплуатации комплекса бортового оборудования самолетов Ту-204, рассматриваются перспективы создания отказоустойчивых структур авионики и возможность их эксплуатации по состоянию [Кивокурцев, 2012].

Особенности эксплуатации авионики самолетов иностранного производства в условиях низких и особо низких температур Крайнего Севера, Сибири и Якутии затрагивались в публикациях Горбунова В. П. В статье отмечается, что эксплуатация большинства современных цифровых самолетов в соответствии с руководством по летной эксплуатации ограничивается температурой – 40⁰ С, поэтому необходимо избегать длительных стоянок, а в случае глубокой заморозки самолета использовать внешние подогревательные средства. Другие вопросы технической эксплуатации бортового оборудования не рассматриваются [Горбунов, 2015].

Поэтому, целью данной работы является – изучение и анализ опыта технической эксплуатации инерциально-воздушной системы ADIRS в реальных условиях и на процедурном тренажере. Материал статьи может быть использован для формирования практических рекомендаций по модернизации отечественных и созданию новых бортовых систем ВС, а также по подготовке авиационных специалистов в ВУЗах и авиакомпаниях.

Материалы и методы

Для изучения и анализа опыта технической эксплуатации системы ADIRS используются электронные ресурсы: отчеты межгосударственного авиационного комитета (МАК) по результатам расследования авиационных происшествий воздушных судов семейства А-320, письма Росавиации с информацией по безопасности полетов, материалы научно-практических

конференций, материалы Центральной нормативно-методической библиотеки гражданской авиации (ЦНМБ ГА). В ЦНМБ ГА размещаются документы, относящиеся к эксплуатации и летной годности воздушных судов, эксплуатации и техническому обслуживанию аэродромных средств и оборудования, а также национальные стандарты, приказы, распоряжения, инструктивные материалы и т. д. [Кирпичев и др., 2010].

Для отработки технологии технической эксплуатации изучаемой системы, в том числе осмотра, контроля работоспособности, поиска, устранения неисправностей, а также анализа функционирования в полете изучаемой системы, используется процедурный тренажер самолета А-320 со специализированным программным обеспечением.

Основными методами исследования инерциально-воздушной системы являются методы структурного анализа, методы резервирования сложных систем, методы воздушной навигации.

Методом технической эксплуатации рассматриваемой системы является техническая эксплуатация по состоянию до появления опасного отказа, влияющего на безопасность полетов. Данный метод обеспечивает эффективность технической эксплуатации, заданный уровень безопасности и регулярности полетов².

Анализ и результаты

Особенности построения системы ADIRS

Основными компонентами ADIRS являются три блока ADIRU (Air Data Inertial Reference Unit), которые обеспечивают экипаж данными об ориентации и навигации в соответствии с получаемыми входными сигналами и командами управления.

Каждый ADIRU представляет собой комбинацию вычислителя системы воздушных сигналов (СВС) и вычислителя бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), реализованные в одном блоке, но на разных платах. СВС реализует функцию определения воздушных параметров, БИНС реализует функцию определения ориентации, курса и местоположения ВС. Каждая часть изолирована от других и передает независимую информацию, в случае отказов отдельных каналов подсистем возможна их реконфигурация. Несмотря на это, ADIRS самолетов А320 имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при ее эксплуатации³

² Воробьев В. Г. Техническое обслуживание и ремонт авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов: учебное пособие / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. М.: МГТУ ГА, 2007. 472 с.

³ Коптев А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации: электронное учебное пособие. / А. Н. Коптев. Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им.С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). Самара, 2011. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Aviacionnoe-i-radioelektronnoe-oborudovanie-vozdushnyh-sudov-grazhdanskoi-aviacii-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-v-3-kn-Kn-1-Sistemy-elekt-54312> (дата обращения: 30.10.2022)

Пульты управления и реконфигурации системы ADIRS представлены на рисунке 1.

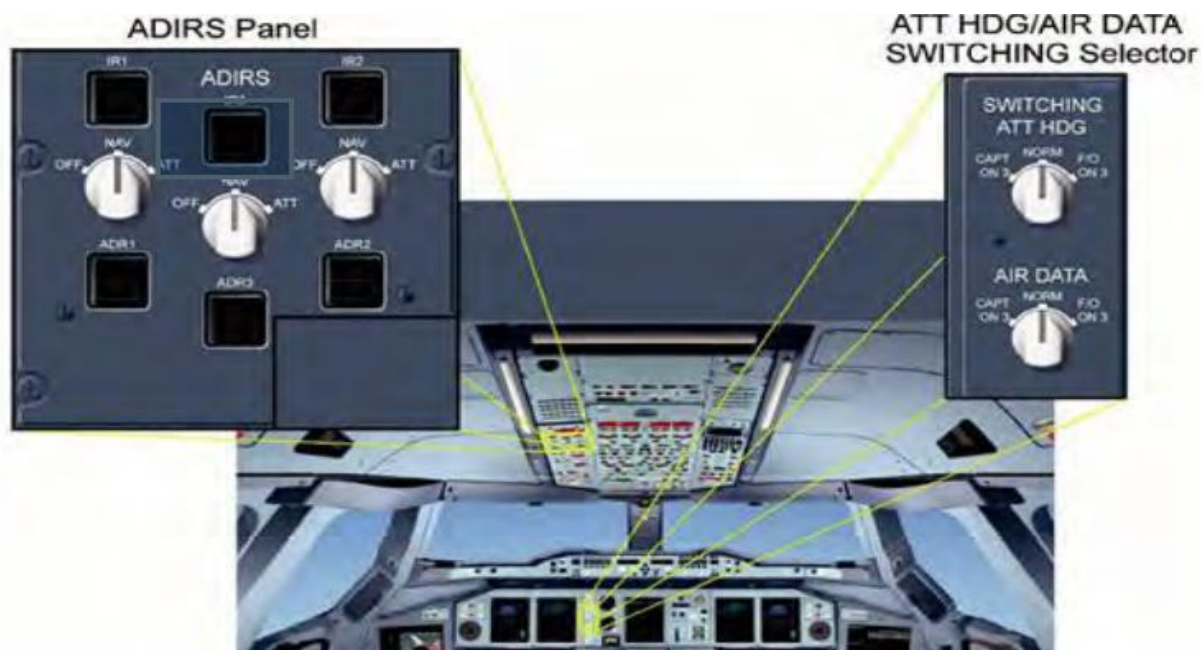


Рисунок 1 – Пульты управления и реконфигурации системы ADIRS,
 Источник: <https://www.repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Aviacionnoe-i-radioelektronnoe-oborudovanie-vozdushnyh-sudov-grazhdanskoi-aviacii-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-v-3-kn-Kn-1-Sistemy-elektr-54312>

На рисунке 2 представлена структурная схема системы ADIRS и её взаимодействие с пультами и системами комплекса бортового оборудования [Сизых, 2021].

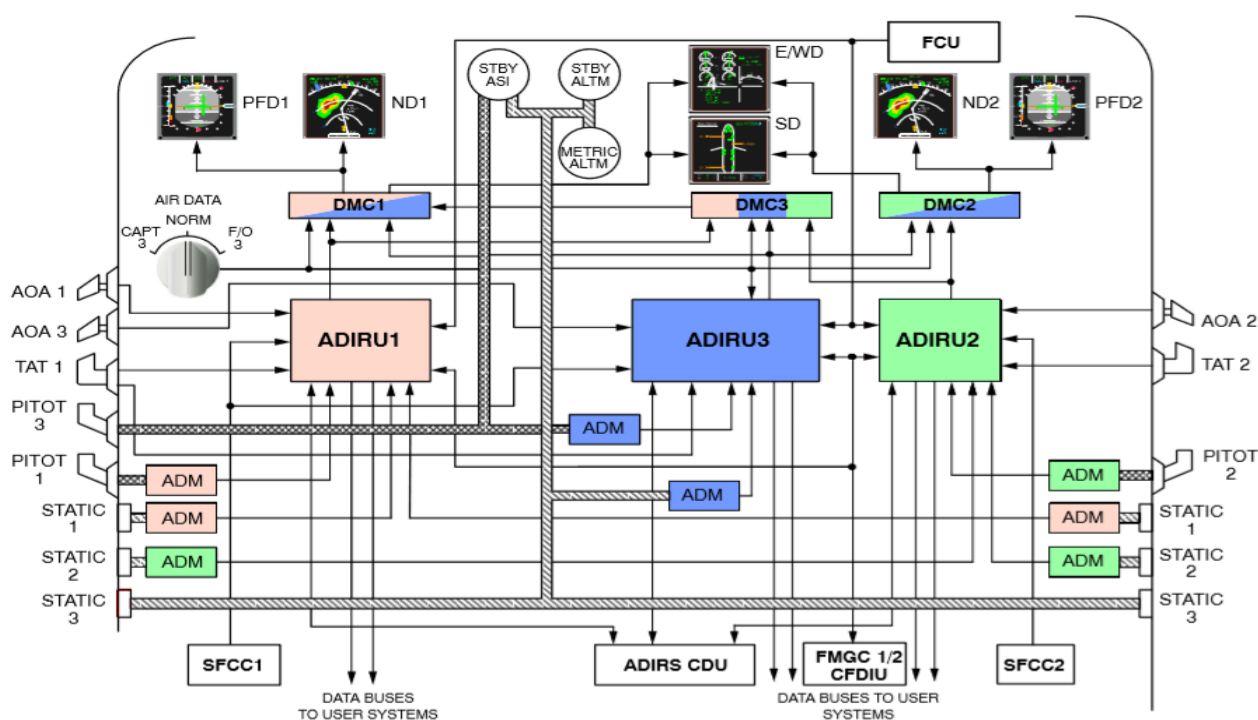


Рисунок 2 – Структурная схема системы ADIRS

Рассмотрим особенности построения СВС. Это автономная система, состоящая из датчиков первичных аэродинамических параметров, вычислителя и указателей. Она выдает первичные параметры, параметры движения и производные от них.

К первичным параметрам СВС-части ADIRU относятся:

- полное и статическое давления;
- температура торможения;
- местные углы атаки.

К параметрам движения ВС, вычисляемых с помощью СВС-части ADIRU, относятся:

- приборная скорость;
- истинная скорость;
- число Маха;
- вертикальная скорость;
- высота;
- температура наружного воздуха (температура неподвижного воздуха).

СВС имеет три канала измерения параметров полета. В состав каждого из трех каналов входят приемники полного (PITOT) и статического (STATIC) давлений и связанные с ними модули воздушных сигналов (ADM – Air Data Module), датчики температуры торможения (TAT Sensor – Total Air Temperature Sensor), датчики угла атаки (AOA Sensor – Angle of Attack Sensor).

Конструктивно ADM (все, кроме резервной линии) установлены над приемниками давлений таким образом, чтобы их пневматическое соединение было направлено вниз. Это позволяет самоосушать воздушные трубопроводы ADM, избавляя от необходимости установки дополнительных влагоотстойников.

ADIRU получает данные от приемников полного и статического давления через ADM. После этого СВС-часть ADIRU обрабатывает данные, полученные от датчиков и ADM для вычисления необходимых параметров и их выдачи в системы-потребители⁴

Рассмотрим особенности построения БИНС. В основе построения ИНС лежит метод счисления пути. Суть его состоит в том, что сигналы измерителей скорости или ускорения, оси чувствительности которых удерживаются в заданной системе координат, интегрируются. Интегралы скорости соответствуют приращениям пути, интегралы ускорений соответствуют приращениям скорости. Складывая значения приращений с начальными значениями пути или скорости, получают текущие значения пройденного пути и скорости. В БИНС, в отличие от платформенных ИНС, вместо

⁴ Коптев А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации: электронное учебное пособие. / А. Н. Коптев. Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им.С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). Самара, 2011. [Электронный ресурс] - URL: <https://www.repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Aviacionnoe-i-radioelektronnoe-oborudovanie-vozdushnyh-sudov-grazhdanskoi-aviacii-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-v-3-kn-Kn-1-Sistemy-elektr-54312> (дата обращения: 30.10.2022)

гиростабилизированной платформы используют блок гироскопов и акселерометров с вычислителем. Гироскопы с акселерометрами (блок инерциальных чувствительных элементов) при этом устанавливаются жестко на борту (в нашем случае блок инерциальных ЧЭ встроен прямо в ADIRU).

Каждый блок инерциальных ЧЭ содержит три лазерных гироскопа и три акселерометра, определяющих угловые скорости и линейные ускорения соответственно. Датчики первичной информации современных БИНС имеют интегральный характер выходной информации, представляются в виде квазикоординат. Полученные данные преобразуются в местные вертикальные координаты и объединяются воздушными параметрами от СВС-части для вычисления следующих параметров:

- местоположения (широты, долготы);
- ориентации (тангажа, крена, рысканья);
- истинного и магнитного курсов;
- скорости и направления ветра;
- линейной скорости, ускорения и угловых скоростей самолета;
- высоты над уровнем моря.

Каждый ADIRU вычисляет выходные параметры лазерного гироскопа и акселерометра для передачи данных БИНС потребителям⁵ [Savage,1998a; Savage,1998b; Кивокурцев, 2017].

Схема обработки данных БИНС представлена на рисунке 3 [Кивокурцев, 2016].

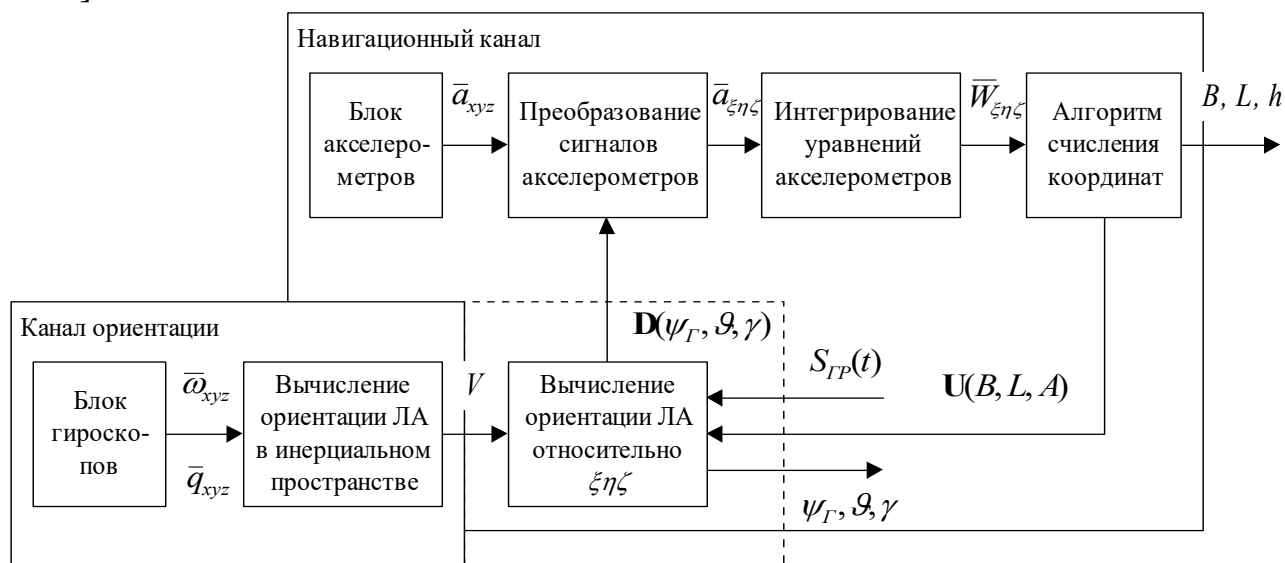


Рисунок 3 – Схема обработки данных БИНС

Техническая эксплуатация по состоянию системы ADIRS

При технической эксплуатации по состоянию при отказах изделий допускается эксплуатация ВС, необходима оперативная информация о

⁵ Бабич О. А. Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение, 1991. 512 с.

Мелешко В. В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: учебное пособие. / В. В. Мелешко, О. И. Нестеренко. Кировоград: ПОЛИМЕД-Сервис, 2011. 164 с.

надежности изделий, устанавливаются допустимые пределы надежности, наличие индикации об отказах и высокая эксплуатационная технологичность изделий. Система ADIRS имеет разбиение на подсистемы и трехканальное построение, отказ одного изделия из трех является безопасным. Отказ двух каналов из трех можно считать границей безопасности полетов, но учитывая малую вероятность данного события за один полет и возможность реконфигурации системы, данная схема является очень эффективной в эксплуатации⁶ [Кивокурцев, 2012].

Организационные структуры эксплуатационных предприятий в своем составе могут иметь специальную группу технического состава (Ground handling check staff), которая осуществляет несложную часть наземного обслуживания самолетов: установку колодок под колеса после заруливания самолета на стоянку, подключение наземного источника питания, надевание чехлов и установку заглушек на приемники воздушных давлений и воздухопроводы, открытие (закрытие) дверей грузовых отсеков, заправку самолетов топливом, водой и очистку системы отходов, обеспечение обогрева салонов. Эта группа выполняет внешний осмотр самолета с целью визуального определения возможных повреждений и неисправностей планера и систем. Перечень работ этой части ТО излагается в специальных «Листах наземного визуального контроля (Ground Handling check list)».

Вторая группа технического состава (группа «бортовиков») выполняет линейное ТО – более квалифицированные работы по ТО бортовых систем, связанные с контролем их работоспособности, анализом, поиском и устранением отказов. Перечень обязательных работ дается в соответствующих листах контроля линейного технического обслуживания (Line maintenance check lists). При этом некоторые работы по контролю, выполняемые одной группой, дублируются перечнем работ и второй группы.

В некоторых авиакомпаниях такое деление на группы обслуживания может отсутствовать – тогда полное ТО выполняет единая группа специалистов.

При внешнем осмотре специалист по авионике (А и РЭО) контролирует состояние приемников статического и динамического давлений, приемников температуры торможения воздуха системы ADIRS, а также состояние радиоантенн, контролирует наличие запаса кислорода в кислородном баллоне.

В процессе осмотра специалист выясняет у экипажа наличие замечаний, просматривает бортовой журнал (TLB-Technical Logbook), выписывая оттуда записи возможных замечаний; выполняет распечатку с бортового компьютера ошибок и сбоев во время полета; проверяет освещение в кабине экипажа.

Если при осмотре обнаружена неисправность, то оценивается возможность ее устранения за время до очередного вылета по расписанию. При наличии этого времени, соответствующей квалификации технического состава и наличии запасного фонда неисправность устраняется.

Если же соответствующие условия отсутствуют, инженер (начальник смены) определяет, входит ли отказавшее изделие в перечень минимального

⁶ Воробьев В. Г. Надежность и эффективность авиационного оборудования: учеб. для вузов / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. М.: Транспорт, 1995. 249 с.

оборудования (MMEL), при исправности которого самолет может выполнять полет. Если отказавшее изделие не входит в этот перечень, не дается разрешение на полет. Описанная выше методика представлена на рисунке 4⁷.

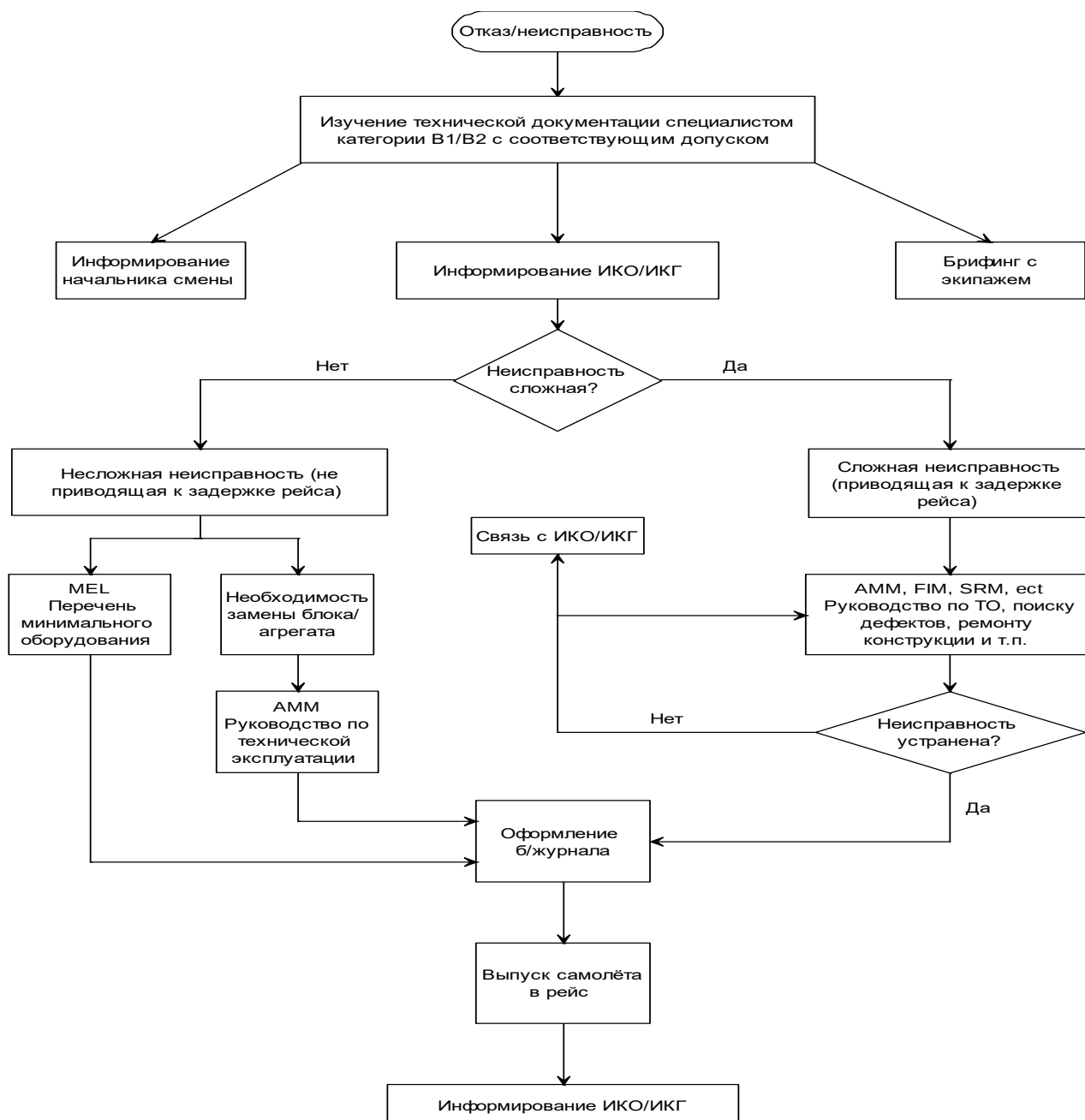


Рисунок 4 – Методика устранения отказов при выполнении оперативного ТО

Опыт технической эксплуатации воздушной подсистемы ADIRS

Как было отмечено ранее, система ADIRS самолета A320 имеет в своем составе три ADIRU, которые, в свою очередь, представляют собой блоки с двумя изолированными вычислителями (CBC и БИНС) каждый, что в совокупности

⁷ Воробьев В. Г. Техническое обслуживание и ремонт авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов: учебное пособие / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. М.: МГТУ ГА, 2007. 472 с.

обеспечивает высокую степень резервирования. Кроме того, сами по себе вычислители CBC и БИНС являются достаточно надежными.

Несмотря на то, что вычислители ADIRS отказывают крайне редко, у данной системы есть свое «слабое место» – датчики и приемники воздушных сигналов, а именно – их противообледенительная защита и обогрев.

Перед включением питания на самолете, снимаются защитные чехлы, проверяется состояние датчиков воздушной подсистемы ADIRS, если на датчиках есть вмятины и повреждения, то данная неисправность устраняется путем их замены. После включения системы индикации, включения ADIRS на комплексном индикаторе пилотажной информации PFD контролируются текущие воздушные параметры ВС, представленные на рисунке 5. На козырьке приборной доски выставляется текущее барометрическое давление аэродрома, на пульте MCDU перед взлетом в соответствующем меню выставляются расчетные воздушные скорости, согласно загрузке самолета.

На процедурном тренажере «FAROS A-320» используются программные модули AIRBUS LMS и AirN@v. Данные программы позволяют изучать особенности построения бортовых систем и технологию их обслуживания [Сизых, 2021].



Рисунок 5 – Контроль воздушных и инерциальных параметров пилотажной информации ВС на индикаторе PFD процедурного тренажера «FAROS A-320»

На тренажере возможна частичная реализация функционирования воздушной подсистемы ADIRS, например, не реализована возможность замены отказавшего блока данной системы или проверки электропроводки на ВС.

Основные неисправности воздушной подсистемы ADIRS, представленные на тренажере, приведены на рисунке 6 [Сизых, 2021].

С наступлением осенне-зимнего периода эксплуатации ВС возрастает риск авиационных происшествий, связанных с наземным обледенением (нарушение концепции чистого самолета), обледенением в полете, а также нарушением правил эксплуатации противообледенительной системы⁸. Поэтому в этот период крайне важно соблюдать все инструкции по защите судов от обледенения.

К наиболее серьезным рискам в период осенне-зимней эксплуатации относятся риски, связанные с попаданием ВС в сложные метеоусловия, а также риски, связанные с неисправностью пилотажно-навигационного оборудования.

Например, 28.12.2019 в аэропорту Екатеринбург (Кольцово) произошел авиационный инцидент с самолетом A320 VP-BQW. Подготовка самолета к полету и взлет выполнялись в условиях слабого ливневого снега. Ко времени прибытия экипажа самолет был покрыт снегом. Удаление снега проводилось методом обдува сжатым воздухом, противообледенительная обработка была проведена с применением жидкостей типа I и IV. Согласно объяснительной записке выпускающего авиатехника, он не обнаружил лед на передней части фюзеляжа. Время от начала противообледенительной обработки до взлета составило 28 мин, что не превысило времени защитного действия противообледенительной жидкости (40 мин).

Во время первоначального набора высоты, после взлета, произошло срабатывание сигнализации о расхождении данных от систем воздушных сигналов с переходом системы управления в альтернативный режим функционирования. Члены экипажа самолета обнаружили расхождение данных о скорости у КВС и второго пилота.

Причиной авиационного инцидента, связанного с рассогласованием показаний скорости, явилось неудаление наземным персоналом снега с передней части фюзеляжа, что привело к его таянию и образованию наростов льда непосредственно перед приемниками полного давления самолета во время руления.

Наиболее часто условия наземного обледенения имеют место при температурах наружного воздуха от 0 до –10 градусов С. Наземное обледенение, возникающее вследствие переохлажденного дождя или мороси при более низкой температуре, весьма редкое явление.

Противообледенительная обработка ВС производится исходя из метеоусловий аэропорта:

- при подготовке ВС к вылету;
- при подготовке ВС к резервированию рейсов;
- при подготовке к дефектации планера или ТО ВС.

Поверхность самолета (в случае загрязнения снегом, льдом или слякотью) должна быть обработана перед тем, как будет выдано разрешение на вылет. В

⁸ Информация по безопасности полетов № 23¹ // Письмо Росавиации от 07.12.2021 [Электронный ресурс] - URL: <https://www.ppt.ru/docs/pismo/rosaviatsiya/n-iskh-44420-02-259265> (дата обращения: 30.09.2022).

условиях продолжающихся осадков, когда есть риск обледенения самолета перед вылетом, должна производиться противообледенительная защита.

В случае, если требуется произвести и процедуры по удалению обледенения и процедуры по защите ВС от обледенения, данные работы могут быть произведены в один (только обработка ПОЖ) или в два этапа (удаление СНО и обработка ПОЖ).

Выбор метода обработки зависит от погодных условий, оборудования, имеющихся в наличии спец. жидкостей, состояния поверхности ВС (наличия снега, льда, слякоти или инея) и достигаемого времени защитного действия. Когда используется одноступенчатая процедура, то удаление обледенения и противообледенительная защита производятся сразу.

Кроме того, важно отметить, что перед обработкой ПОЖ необходимо установить чехлы и заглушки на все приемники и датчики системы воздушных сигналов во избежание их выхода из строя из-за попадания на них ПОЖ.

Также необходимо в ходе выполнения регламентных работ проверять работоспособность обогрева всех приемников и датчиков СВС, при проверке обогрева все чехлы и заглушки должны быть убраны.

Опыт технической эксплуатации инерциальной подсистемы ADIRS

Включение системы ADIRS на пульте управления осуществляется после включения питания на самолете, системы индикации. На этапе включения и подготовки ADIRS к работе выполняется выставка БИНС, которая занимает по времени от 7 до 10 минут. В данном случае исключаются все работы на самолете, необходимо обеспечить его неподвижность. В процессе выставки в БИНС вводятся начальные координаты стоянки ВС, здесь выбирается режим ввода известных координат вручную или по сигналам спутниковой радионавигационной системы (СРНС). Последний способ является приоритетным. Возможно, этим обусловлено отсутствие для БИНС на процедурном тренажере «FAROS A-320» режима ручного ввода начальных координат ВС и режима автономного функционирования с оценкой погрешности выходных параметров.

После завершения выставки система автоматически переводится в режим «навигация», готова к работе. На комплексном индикаторе пилотажной информации PFD контролируются текущие углы ориентации ВС, на комплексном индикаторе навигационной обстановки ND курсовая информация. На пульте MCDU наблюдается процесс выставки системы ADIRS, а также изменение координат местоположения ВС.

На рисунке 5, выше, приведен пример контроля пилотажной информации ВС на индикаторе PFD процедурного тренажера «FAROS A-320».

Основные неисправности системы ADIRS, представленные на тренажере, приведены на рисунке 6. Необходимо отметить, что часть этих неисправностей на тренажере не имеет программной реализации [Сизых, 2021].

Название неисправности	Пояснение на русском языке
IR 1 FAULT	Отказ ИНС-канала 1
IR 2 FAULT	Отказ ИНС-канала 2
IR 3 FAULT	Отказ ИНС-канала 3
HDG DISCREPANCY (1)	Несоответствие курса (1)
HDG DISCREPANCY (2)	Несоответствие курса (2)
HDG DISCREPANCY (3)	Несоответствие курса (3)
ADR 1 FAULT	Отказ СВС-канала 1
ADR 2 FAULT	Отказ СВС-канала 2
ADR 3 FAULT	Отказ СВС-канала 3
ADR 1 AIRSPEED CHANNEL FAULT	Отказ канала скорости в СВС-части 1
ADR 2 AIRSPEED CHANNEL FAULT	Отказ канала скорости в СВС-части 2
ADR 3 AIRSPEED CHANNEL FAULT	Отказ канала скорости в СВС-части 3
BLOCKED PITOT (CAPT)	Блокировка (засор) приемника полного давления (КВС)
BLOCKED PITOT (FO)	Блокировка (засор) приемника полного давления (2-го пилота)
BLOCKED PITOT (STDBY)	Блокировка (засор) приемника полного давления (резервного)
RNP – ALTITUDE DISCREPANCY	Требуемые навигационные характеристики – несоответствие высоты
RNP – NAV ACCURACY DOWNGRAD	Требуемые навигационные характеристики – снижение точности навигации
ATT DISCREPANCY PITCH (1)	Несоответствие тангажа (1)
ATT DISCREPANCY PITCH (2)	Несоответствие тангажа (2)
ATT DISCREPANCY PITCH (3)	Несоответствие тангажа (3)
ATT DISCREPANCY ROLL (1)	Несоответствие крена (1)
ATT DISCREPANCY ROLL (2)	Несоответствие крена (2)
ATT DISCREPANCY ROLL (3)	Несоответствие крена (3)
UNRELIABLE AIR SPEED (CAPT)	Недостоверные данные скорости (КВС)
UNRELIABLE AIR SPEED (FO)	Недостоверные данные скорости (2-го пилота)
UNRELIABLE AIR SPEED (STANDBY)	Недостоверные данные скорости (резервные)

Рисунок 6 – Основные неисправности системы ADIRS, представленные на тренажере

Для оценки уровня работоспособности БИНС на реальном ВС после завершения полета необходимо учитывать следующие параметры⁹:

- радиальная погрешность определения местоположения (в морских милях),
- остаточная погрешность определения путевой скорости (в узлах).

Исходя из их величины, отмеченной в конце полета, делается заключение о работоспособности соответствующей БИНС-части ADIRU.

Для того чтобы рассмотреть статистический термин требования к радиальной погрешности определения местоположения с наиболее подходящим приближением, в критериях замены используется ограничение, основанное на регистрации ошибки радиального положения в двух последовательных полетах. Использование «метода двух ударов» дает преимущество в снижении частоты замены исправных блоков, которые случайно или в результате неточного ввода местоположения при выставке показали погрешность радиального положения, превышающую заданный критерий.

Для проверки радиальной погрешности определения местоположения необходимо:

1. На многофункциональном блоке управления и индикации (MCDU – Multipurpose Control and Display Unit) перейти к странице:
> *FMGS* > *DATA INDEX* > *POSITION MONITOR* (рисунок 7).
2. Записать погрешности БИНС – трех блоков ADIRU.

⁹ Руководство по производству полетов эксплуатанта ПАО «Аэрофлот» [Электронный ресурс] – URL: http://www.shpls.org/content/files/file/rpp_vola_rev_10.pdf

3. Рассчитать время, проведенное в режиме NAV (время навигации): время предыдущего полета (указанное в бортжурнале) + 30 минут (этот 30-минутный период является предполагаемым промежутком времени от окончания выставки ADIRU и закрытия дверей самолета до начала движения).

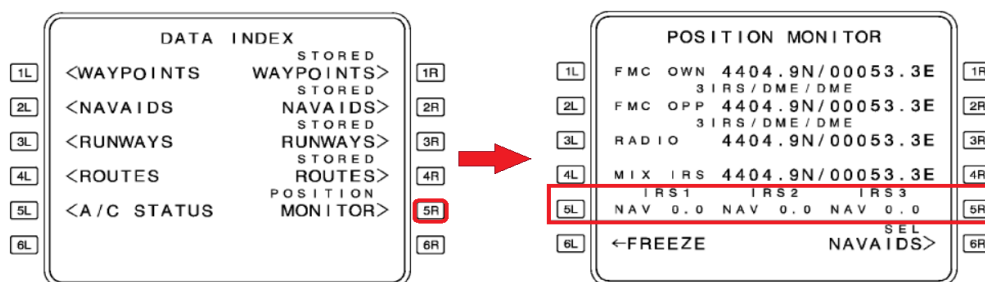


Рисунок 7 – Проверка погрешностей БИНС-частей трех ADIRU

4. Сравнить записанные значения погрешностей с кривой, представленной на рисунке 8, при рассчитанном времени.

Границы замены (рисунок 8) представляют собой три различные зоны:

- Область 1. ADIRU работает нормально все время.
- Область 2. ADIRU должен быть проверен после второго полета.
- Область 3. ADIRU подлежит замене¹⁰.

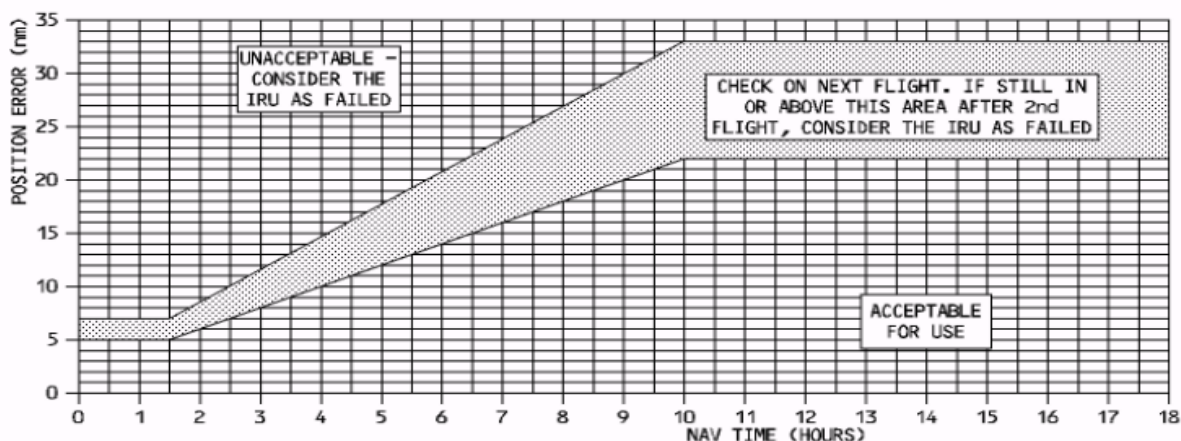


Рисунок 8 – Критерий замены ADIRU при проверке радиальной погрешности определения местоположения

При проведении в одной из авиакомпаний проверки радиальной погрешности определения местоположения после 5 часов полета получен результат, представленный на рисунке 9¹¹.

¹⁰ Руководство по производству полетов эксплуатанта ПАО «Аэрофлот» [Электронный ресурс] – URL: http://www.shpls.org/content/files/file/rpp_vola_rev_10.pdf

¹¹ Особенности технической эксплуатации авионики // Личный фотоархив Кивокурцева А.Л. [Электронный ресурс] (дата обращения: 30.10.2022)

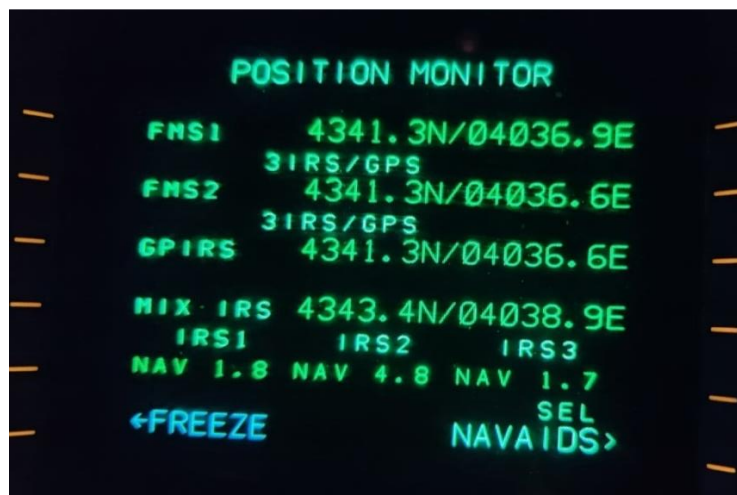


Рисунок 9 – Результат проверки радиальной погрешности определения местоположения после 5 часов полета

Из графика критерия замены ADIRU (рисунок 8) мы видим, что погрешность за 5 часов навигации может составлять до 12 морских миль. Отсюда мы делаем вывод, что все три канала БИНС данного самолета находятся в допуске по проверяемому параметру (IRS1 – 1.8, IRS2 – 4.8, IRS3 – 1.7).

Остаточная путевая скорость для каждой БИНС-части определяется в конце полета, когда самолет полностью остановился.

Остаточная путевая скорость отображается на навигационном дисплее (ND – Navigation Display) КВС (БИНС 1) и 2-го пилота (БИНС 2). Остаточную путевую скорость БИНС 3 можно проверить на ND КВС, установив переключатель АТТ HDG в положение CAPT/3.

Необходимо сравнить зарегистрированные значения путевой скорости с предельными значениями. Если остаточная ошибка путевой скорости составляет 15 узлов или более после каждого проверочного полета, то считается блок ADIRU неработоспособным, его необходимо заменить.

Анализ функционирования инерциальной подсистемы ADIRS и её взаимодействие с системами интегрированного комплекса бортового оборудования в реальном полете проведен на основе окончательного отчета Межгосударственного авиационного комитета по результатам расследования авиационного происшествия воздушного судна A320-231 EY-623, 02.02.2014 г., республика Таджикистан, аэродром "Куляб":

- На этапе захода на посадку после прохода высоты 100 м, с момента времени 02:35:17, включилась система предупреждения приближения самолета к земле (GPWS TERRAIN) с регистрацией разовой команды «Warning mode» и с выдачей речевой информации экипажу самолета «Terrain ahead. Pull up», которая повторялась многократно до приземления самолета.

- На самолете A320-231 EY-623 установлена EGPWS производства фирмы Honeywell, не оборудованная спутниковой радионавигационной системой (GPS). Самолет также не оборудован GPS. Текущие координаты самолета в полете в систему EGPWS передаются из системы автоматического управления полетом (FMGS) самолета. В полете, при пролете маяков VOR/DME,

FMGS автоматически корректирует координаты местонахождения самолета, обнуляя погрешность инерциальной системы, которая накапливается со временем. В Республике Таджикистан имеется только один пункт VOR/DME (в Душанбе), дальномер (DME), который 02.02.2014 не работал (NOTAM). Последняя коррекция координат, выдаваемых инерциальной системой самолета при выполнении рейса ETJ 704, наиболее вероятно, произошла над территорией Узбекистана.

– В момент приземления самолета на ВПП аэродрома Куляб бортовым регистратором зарегистрированы координаты местонахождения самолета: 37°57'14.2" N и 69°47'02" E. Эта точка расположена за 2800 м до входного порога ВПП и на 815 м левее продолженной оси ВПП. Фактически же самолет находился на ВПП. Это результат накопившейся погрешности определения координат самолета с момента последней коррекции.

– Система EGPWS, получая координаты местоположения самолета от FMGS с такой погрешностью, воспринимает, что снижение самолета и его посадка происходят не на ВПП, а в вышеуказанную точку, и срабатывает, предупреждая экипаж об опасности.

Руководство по летной эксплуатации (FCOM) самолета A320-231 EY-623 авиакомпании «Ист Эйр» (стр. 34.05A) разрешает: «В дневное время и в условиях визуальных метеоусловий, четко наблюдая рельеф и препятствия в зоне видимости, допускается воспринимать сигнализацию (EGPWS) в качестве предупредительной». По заявлению командира воздушного судна (КВС), он четко контролировал местоположение самолета на посадочной глиссаде и воспринял сигнализацию EGPWS, как ложную. По информации экипажей система EGPWS на самолете A320-231 EY-623 срабатывает практически при каждой его посадке в аэропорту Куляб. Причина этого описана выше. При посадке в Московских аэропортах, оборудованных VOR/DME, система не срабатывает¹².

Без системы GPS на борту самолета (отказ или полное ее отсутствие), как и без других радионавигационных систем, затруднены полеты. Для системы ADIRS со временем требуется постоянная корректировка определения координат местоположения ВС, в противном случае запрещается пользоваться САУ полетом и рекомендуется переходить к управлению и навигации в детекторном или ручном режиме.

Заключение

В современных условиях в период санкций, в России идет процесс импортозамещения зарубежных бортовых систем и самих ВС российскими аналогами, поэтому рассмотренный в статье опыт технической эксплуатации совмещенной инерциально-воздушной системы ADIRS самолета A-320 как на

¹² Окончательный отчет по результатам расследования авиационного происшествия воздушного судна A320-231 EY-623, 02.02.2014 г., республика Таджикистан, аэродром "Куляб" // Межгосударственный авиационный комитет [Электронный ресурс] – URL: https://www.mak-iac.org/upload/iblock/895/report_ey-623.pdf (дата обращения: 30.09.2022).

реальных ВС в авиакомпаниях, так и на процедурном тренажере может быть использован:

- при модернизации отечественных и создании новых ВС (например, МС-21, RRJ-95, RRJ-75) и процедурных тренажеров к ним;
- в процессе подготовки авиационных специалистов в авиакомпаниях при допуске к работе молодых специалистов, повышении квалификации и переподготовке на новые типы ВС инженерно-технического и летного состава;
- в ходе подготовки обучающихся в ВУЗе.

При подготовке авиационных специалистов и обучающихся в ВУЗе рекомендуется использовать непрерывную систему подготовки, состоящую из трех этапов: первый – обсуждение особенностей построения изучаемых систем, опыта её технической эксплуатации на локальной групповой научно-практической конференции; второй – отработка практических заданий на процедурном тренажере; третий – техническая эксплуатация систем на реальном ВС.

Библиографический список

Голосеева Е. А. Основные принципы построения информационно-контролирующих систем и возможность их использования для проведения практики «Тренажерная подготовка» // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2021: сб. трудов XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов 9-10 декабря 2021 г. Том 1. Иркутск: Иркутский филиал МГТУ, 2022. С. 83-87.

Горбунов В. П. Проблемы и особенности эксплуатации авионики воздушных судов иностранного производства в условиях экстремально низких температур Крайнего Севера, Сибири и Якутии // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213(3). С. 85-90.

Далецкий С. В. Формирование системы инженерно-авиационного обеспечения технической эксплуатации воздушных судов гражданской авиации в современных условиях // Сборник научных трудов ГосНИИ ГА № 311. М.: ГосНИИ ГА, 2010. С. 125-131. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.gosniiga.ru/wp-content/uploads/2018/05/Sbornik-nauchnyh-trudov-311.pdf> (дата обращения: 30.10.2022)

Кивокурцев А. Л. Вопросы технической эксплуатации интегрированных комплексов бортового оборудования современных самолетов // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. статей II Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной ко Дню космонавтики. 11-13 апреля 2012 г. Иркутск: ИрГТУ, 2012. С. 61-69.

Кивокурцев А. Л. Особенности датчиков первичной информации, алгоритмов ориентации современных беспилотных инерциальных навигационных систем // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации России: сб. трудов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 50-летию Иркутского филиала МГТУ ГА. 17–19 мая 2017 г. Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2017. С. 79-87.

Кивокурцев А. Л. Особенности построения и перспективы развития инерциальных навигационных систем // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации России: сб. трудов V научно-технической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов с международным участием. 22–24 марта 2016 г. Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2016. С. 128-136.

Кириллов А. В. Особенности технического обслуживания и ремонта Airbus A-320 / А. В. Кириллов, В. В. Воронин // Вестник молодых учёных и специалистов Самарского университета. 2020. № 1 (16) [Электронный ресурс] – URL: <https://www.journals.ssau.ru/smus/article/download/9255/8505ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4963>; (дата обращения: 30.10.2022)

Кирпичев И. Г. Создание и функционирование центральной нормативно-методической библиотеки гражданской авиации (ЦНМБ ГА) / И. Г. Кирпичев, О. В. Губанов, А. В. Соболев // Сборник научных трудов ГосНИИ ГА № 311. М.: ГосНИИ ГА, 2010. С. 40-46. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.gosniiga.ru/wp-content/uploads/2018/05/Sbornik-nauchnyh-trudov-311.pdf> (дата обращения: 30.10.2022)

Кузнецов С. В. Международная квалификационная (компетентностная) система подготовки и оценки персонала по техническому обслуживанию воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213(3). С. 90-96.

Кузнецов С. В. Подготовка инженерно-технического персонала по технической эксплуатации авионики и авиационных электросистем воздушных судов с учетом гармонизации отечественных требований к персоналу с международными требованиями // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 201. С. 91-95.

Писаренко В. Н. Техническое обслуживание воздушных судов как система поддержания летной годности гражданской авиационной техники: монография. Самара: Издательство СамНЦ РАН, 2017. 170 с. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.repo.ssau.ru/bitstream/Monografii/Tekhnicheskoe-obsluzhivanie-vozdushnyh-sudov-kak-sistema-podderzhaniya-letnoi-godnosti-grazhdanskoi-aviacionnoi-tehniki-Elektronnyi-resurs-monografiya-73939/1/%D0%9F%D0%B8%D1%81%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%92.%D0%9D.%20%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5%20%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%202017.pdf> (дата обращения: 30.10.2022)

Сизых А. С. Опыт применения процедурного тренажера для изучения вопросов технической эксплуатации совмещенной инерциально-воздушной системы самолета А-320 // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2020: сб. трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов 8-9 декабря 2020 г. Том 1. - Иркутск: Иркутский филиал МГТУ, 2021. С. 97-102.

Savage P. G. Strapdown Inertial Navigation Integration Algorithm Design Part 1: Attitude Algorithms // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 1998a. VO1.21, No.1. pp. 19-28.

Savage P. G. Strapdown Inertial Navigation Integration Algorithm Design Part 2: Velocity and Position Algorithms // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 1998b. VO1.21. No.2. pp. 208-222.

References

Gorbunov V. P. (2015). Problems and features of the operation of avionics of foreign-made aircraft in conditions of extremely low temperatures in the Far North, Siberia and Yakutia. *Scientific Bulletin of MSTU GA*. No. 213 (3): 85-90. (in Russian)

Goloseeva E. A. (2022). Basic principles of building information and control systems and the possibility of their use for the practice of "simulator training". *Actual problems of the development of aviation technology and methods of its operation - 2021: coll. Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates December 9-10, 2021*. Volume 1: 83-87. (in Russian)

Daletsky S. V. (2010). Formation of the system of engineering and aviation support for the technical operation of civil aviation aircraft in modern conditions. *Collection of scientific papers of the State Research Institute of Civil Aviation*. No. 311: 125-131. [Electronic resource] - URL: <https://www.gosniiga.ru/wp-content/uploads/2018/05/Sbornik-nauchnyh-trudov-311.pdf> (accessed: 10.30.2022) (in Russian)

Kirpichev I. G., Gubanov O. V., Sobol A. V. (2010). Creation and functioning of the central regulatory and methodological library of aviation (TsNMB GA). *Collection of scientific works of the State Research Institute of Civil Aviation*. No. 311: 40-46. [Electronic resource] - URL: <https://www.gosniiga.ru/wp-content/uploads/2018/05/Sbornik-nauchnyh-trudov-311.pdf>. (accessed: 10.30.2022) (in Russian)

- Kivokurtsev A. L. (2012). Issues of technical operation of integrated complexes of on-board equipment of modern aircraft. *Articles of the II All-Russian scientific-practical conference dedicated to the Day of Cosmonautics. April 11-13.* 61-69. (in Russian)
- Kivokurtsev A. L. (2017). Features of primary information sensors, orientation algorithms of modern strapdown inertial navigation systems. *Actual problems and prospects for the development of civil aviation in Russia: coll. Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of the Irkutsk branch of MSTU GA. May 17-19.* 79-87. (in Russian)
- Kivokurtsev A. L. (2016). Features of construction and development prospects of inertial navigation systems. *Actual problems and prospects for the development of civil aviation in Russia: Sat. Proceedings of the V scientific and technical conference of teachers, researchers and graduate students with international participation. March 22-24.* 128-136. (in Russian)
- Kuznetsov S. V. (2014). Training of engineering and technical personnel for the technical operation of avionics and aircraft electrical systems of aircraft, taking into account the harmonization of domestic requirements for personnel with international requirements. *Scientific Bulletin of MSTU GA.* No. 201: 91- 95. (in Russian)
- Kuznetsov S. V. (2015). International qualification (competence) system of training and evaluation of aircraft maintenance personnel. *Scientific Bulletin of MSTU GA.* No. 213 (3): 90-96. (in Russian)
- Kirillov A. V., Voronin V. V. (2020). Features of maintenance and repair of the Airbus A-320. *Bulletin of young scientists and specialists of Samara* . 2020. No. 1 (16) [Electronic resource] – URL: <https://www.journals.ssau.ru/smus/article/download/9255/8505ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4963>; (accessed: 30.10.2022). (in Russian)
- Pisarenko V. N. (2017). Aircraft maintenance as a system for maintaining the airworthiness of civil aviation equipment. *Monograph. Samara, SamNTs RAS Publishing House. 170p.* [Electronic resource] – URL: <https://www.repo.ssau.ru/bitstream/Monografii/Tekhnicheskoe-obsluzhivanie-vozdukhnykh-sudov-kak-sistema-podderzhaniya-letnoi-godnosti-grazhdanskoi-aviacionnoi-tehniki-Elektronnyi-resurs-monografiya-73939/1/%D0%9F%D0%B8%D1%81%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%92.%D0%9D.%20%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5%20%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%202017.pdf>. (accessed: 30.10.2022). (in Russian)
- Sizykh A. S. (2021). Experience in using a procedural simulator to study the issues of technical operation of the combined inertial-air system of the A-320 aircraft. *Actual problems of the development of aviation technology and methods of its operation - 2020: coll. Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates December 8-9, 2020.* Volume 1: 97-102. (in Russian)
- Savage P. G. (1998a). Strapdown Inertial Navigation Integration Algorithm Design Part 1: Attitude Algorithms. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* VO1.21. No.1.: 19-28.
- Savage P.G. (1998b). Strapdown Inertial Navigation Integration Algorithm Design Part 2: Velocity and Position Algorithms. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics.* VO1.21. No.2: 208-222.