

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА СОВРЕМЕННЫХ САМОЛЕТОВ

Е.И. Скворцова¹, А.С. Ягодкин¹, В.К. Зольников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена аварийной топливной системе современных самолётов, подчёркивая её роль в обеспечении надёжной подачи топлива в экстремальных условиях. Рассматриваются принципы многоуровневого резервирования, ключевые компоненты (баки, насосы, клапаны, трубопроводы), меры защиты от утечек и топливного голодания, а также системы контроля, диагностики и сброса топлива. Обсуждается эволюция систем от поршневых самолётов к цифровым комплексам на примерах Boeing 737, Airbus A320 и российских лайнеров (Ту-214, SSJ-100, MC-21), с акцентом на безопасность и соответствие нормам ИКАО.

Ключевые слова: аварийная топливная система, подкачивающие насосы, топливные баки, клапаны перекрестной подачи, коллектор топлива, защита от утечек, система сброса топлива, датчики давления и уровня.

AIRCRAFT EMERGENCY FUEL SYSTEM

E.I. Skvortsova¹, A.S. Yagodkin¹, V.K. Zolnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to the emergency fuel system of modern aircraft, emphasizing its role in ensuring reliable fuel supply in extreme conditions. The principles of multilevel redundancy, key components (tanks, pumps, valves, pipelines), protection measures against leaks and fuel starvation, as well as control, diagnostic and fuel discharge systems are considered. The evolution of systems from piston-powered aircraft to digital complexes is discussed using the examples of Boeing 737, Airbus A320 and Russian airliners (Tu-214, SSJ-100, MS-21), with an emphasis on safety and compliance with ICAO standards.

Keywords: emergency fuel system, booster pumps, fuel tanks, cross-feed valves, fuel collector, leak protection, fuel discharge system, pressure and level sensors.

Топливная система современного самолёта относится к числу наиболее критичных технических подсистем. От её корректной работы зависит не только

экономическая эффективность полёта, но и безопасность всех людей на борту. Надёжность подачи топлива к двигателям должна обеспечиваться в любых условиях – включая экстремальные ситуации, когда отдельные компоненты системы выходят из строя.

Развитие топливных систем летательных аппаратов прошло несколько этапов, отражающих эволюцию авиационной техники. В период доминирования поршневых двигателей применяются простые механические системы подачи топлива, основанные на принципах гравитационной подачи и использовании механических переливных клапанов. С внедрением реактивных силовых установок и повышением требований к дальности и скоростным характеристикам летательных аппаратов конструкции топливных систем претерпела усложнение конструкции. Современные системы включают в себя электрические подкачивающие насосы высокого давления, устройство автоматического дозирования расхода топлива, а также развитую сеть датчиков контроля давления и уровня топлива в баках. Указанные элементы обеспечивают не только надёжность, но и оптимизацию расхода энергоресурсов при полёте.

Аварийная топливная система содержит несколько независимых уровней защиты от отказа основной системы подачи топлива. На большинстве современных многодвигательных самолётов, таких как Боинг 737, Аэробус А320 и российские самолёты типа Ту-214, SSJ-100 и MC-21, топливная система разделена на несколько основных компонентов, каждый из которых может функционировать независимо от остальных. Топливо хранится в основных крыльевых баках, центральном баке, резервных баках и специализированных отсеках, расположенных в фюзеляже и хвостовой части самолёта. Конструкция каждого бака предусматривает наличие встроенных электрических подкачивающих насосов, регулирование которых обеспечивает непрерывность подачи топлива в главный распределительный коллектор системы топлива.

Электрические подкачивающие насосы являются критическим элементом топливной системы, так как именно они обеспечивают подачу топлива из баков в коллектор и двигатели против действия сил инерции при манёврах самолёта. На большинстве гражданских самолётов каждый основной топливный бак оборудован двумя независимыми подкачивающими насосами переменного тока, питаемыми от отдельных распределительных шин системы электроснабжения. Насосы изготавливаются из высоконадёжных материалов и могут работать длительное время без обслуживания благодаря применению герметичных подшип-

ников и корпусов, полностью заполненных топливом, которое выполняет функцию как смазки, так и охлаждающей жидкости. Номинальная производительность каждого насоса подбирается таким образом, чтобы один насос мог обеспечить подачу топлива, превышающей максимальный потребление двигателя при полном газе примерно на 20–30 процентов.

В дополнение к основным насосам переменного тока в центральном баке и, в некоторых случаях, в крыльевых баках устанавливаются аварийные резервные насосы постоянного тока, которые автоматически включаются при обесточивании основной системы переменного тока. Эти насосы питаются от бортовых аккумуляторных батарей и способны обеспечивать полёт вспомогательной энергетической установки при наличии запаса топлива, а также могут быть использованы для запуска двигателя в полёте в случае несинхронного двойного пламегашения. При отказе всех трёх электрических насосов в подсистеме питания одного из двигателей подача топлива к работающему двигателю осуществляется путём подсоса топлива самим двигательным насосом до момента подключения перекрестного питания топливом от работающей подсистемы питания другого двигателя.

Датчики давления топлива, установленные в критических точках системы, непрерывно мониторят давление в коллекторах и линиях подачи к двигателям. При падении давления ниже установленного минимума система автоматически выдаёт предупреждение на контрольную панель экипажа. На контрольной панели для каждого подкачивающего насоса имеется отдельный переключатель вместе со световой сигнализацией о низком давлении, которая предупреждает об отказе насоса или критически низком уровне топлива в баке. Экипаж может вручную переключать насосы на и выключать их в зависимости от текущих условий полёта, хотя на современных самолётах большинство функций управления насосами выполняется автоматическими системами управления.

Оптимальное управление топливом в полёте требует выработки топлива из различных баков в определённой последовательности для поддержания центра тяжести самолёта в требуемом диапазоне и минимизации структурных нагрузок на конструкцию. Автоматическая система выработки топлива анализирует текущий вес самолёта, позицию центра тяжести и уровень топлива в каждом баке, а затем управляет клапанами распределения для автоматического переключения потребления между баками. Типовая последовательность выработки топлива предусматривает первоначальный расход топлива из центрального бака, что позволяет минимизировать изгибающую нагрузку на крылья за счёт перемещения

центра давления аэродинамических сил. После полного опустошения центрального бака система автоматически переключается на потребление топлива из крыльевых баков. Когда подкачивающие насосы более не могут выкачивать топливо из центрального бака из-за его полной выработки, остаток топлива может быть перемещён в основные баки через специальные переливные каналы, расположенные в верхних частях баков.

На контрольной панели пилотов присутствуют аналоговые или цифровые указатели количества топлива в каждом баке, а также общее количество оставшегося топлива, расстояние дальности полёта и прогноз времени наступления состояния топливного голодания на основе текущего расхода топлива.

При посадке самолёта, особенно в непредвиденных ситуациях, максимальная посадочная масса воздушного судна обычно значительно ниже максимальной взлётной массы, так как конструкция планера не рассчитана на динамические нагрузки, возникающие при приземлении с полным топливом. При необходимости посадки с большой массой топлива, например при отказе в полёте одного из двигателей, система аварийного сброса топлива позволяет экипажу выбросить избыточное топливо за борт для уменьшения массы самолёта до безопасной величины. Сброс топлива осуществляется путём перекачки топлива из основных и резервных баков через специальный клапан аварийного слива в магистральный трубопровод, из которого топливо выбрасывается за борт через два распределительных сопла, расположенные на задней кромке каждого крыла.

Расположение сопел слива на задней кромке крыла позволяет топливному потоку очень быстро распыливаться в воздухе благодаря высокой скорости потока воздуха, создаваемой движением самолёта с высокой скоростью, и минимизирует опасность попадания топлива на фюзеляж, оперение или любые другие части самолёта. Управление сбросом топлива осуществляется вручную с контрольной панели пилота или бортинженера в кабине посредством установки регулятора на требуемое количество сбрасываемого топлива. Система автоматически прекращает сброс при достижении заданного количества, выбранного экипажем. На контрольной панели присутствует указатель, показывающий скорость сброса топлива в килограммах в минуту и общее оставшееся количество топлива на борту. При выполнении процедуры аварийного сброса экипаж обязан следить за положением других воздушных судов в окружающем воздушном пространстве и уведомить органы управления воздушным движением о выполняемой процедуре.

Список литературы

1. Лещинер Л. Б., Ульянов И. Е., Творецкий В. А. Проектирование топливных систем самолётов / Лещинер Л. Б., Ульянов И. Е., Творецкий В. А.; ред. Степанов В. А. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1991. - 316 с.
2. Авторское свидетельство № 801443 А1 СССР, МПК В64Д 37/00. Топливная система самолета: № 2788233/23: заявл. 29.06.1979: опубл. 20.03.2005 / И. Н. Майтов, В. М. Цыганов.
3. Платонова, А. С. Моделирование исправности топливной системы одномоторного самолета с помощью машинного обучения / А. С. Платонова // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 30 ноября – 01 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 262-264. – EDN SMSKBH.
4. Федоркевич, И. А. Имитационная модель топливной системы самолета с расходным баком / И. А. Федоркевич, Р. С. Отекин // Актуальные вопросы развития авиационной военной науки и практики : XIII Международная научно-практическая конференция военно-научного общества, посвященная 62-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос, Краснодар, 12 марта – 13 2023 года. – Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2023. – С. 272-276.

References

1. Leshchiner L. B., Ulyanov I. E., Tworetsky V. A. Designing aircraft fuel systems / Leshchiner L. B., Ulyanov I. E., Tworetsky V. A.; ed. Stepanov V. A. - 2nd ed., revised. and add. - M.: Mashinostroenie, 1991. 316 p.
2. Copyright certificate No. 801443 A1 of the USSR, IPC B64D 37/00. The fuel system of the aircraft: No. 2788233/23 : application. 06/29/1979: published. 03/20/2005 / I. N. Maitov, V. M. Tsyganov.
3. Platonova, A. S. Modeling the serviceability of the fuel system of a single-engine aircraft using machine learning / A. S. Platonova // Innovations in information technology, mechanical engineering and motor transport: Proceedings of the VI Inter-

national Scientific and Practical Conference, Kemerovo, November 30 – 01, 2022. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2022. pp. 262-264. EDN SMSKBH.

4. Fedorkevich, I. A. Simulation model of an aircraft fuel system with a fuel tank / I. A. Fedorkevich, R. S. Otekin // Actual issues of development of aviation military science and practice : XIII International Scientific and Practical conference of the Military Scientific Society dedicated to the 62nd anniversary of Yuri Gagarin's flight into space, Krasnodar, March 12 – 13, 2023. Krasnodar: Federal State-owned Military Educational Institution of Higher Education "Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serova" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2023, pp. 272-276.