

НАДЁЖНОСТЬ ПОЛЁТА

Писаренко В.Н.

*Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет),
СГАУ, Московское шоссе, 34, Самара, 443086, Россия
e-mail: victormpisarenko@gmail.com*

Проанализированы условия выполнения полета на современных самолетах с экипажем из двух пилотов. Приведены фактические примеры необеспечения безопасности полёта с сопутствующими катастрофами. На основе преобразования блок-схемы управления самолетом Airbus A320 построена модель управления воздушным судном (ВС) экипажем из двух пилотов. Проведено расчётно-теоретическое исследование пилотирования ВС с целью обеспечения безопасности полёта. Сформулировано понятие надёжности полета, оценена надёжность полета в различных условиях управления ВС. Определена надёжность полета при автоматизированном управлении ВС и активном контроле полёта обоими пилотами. Выявлена закономерность снижения надёжности полета при отказе автоматизированного управления ВС и неучастии в управлении ВС второго пилота. Дана оценка влияния интенсивности отказов технических средств управления ВС, интенсивности ошибок пилотов и нагрузки на экипаж на надёжность полёта в целом, произведен расчёт надёжности полета в этих условиях. Даны рекомендации по обеспечению надёжности при выполнении полётов.

Ключевые слова: воздушное судно, безопасность полёта, автоматическое управление, матрица, ручное управление, вероятность отказа, надёжность полета.

Производство полётов на современных отечественных воздушных судах типа Ту-204СМ, Sukhoi Super Jet SSJ-100, Ан-148, а также на ВС иностранного производства типа Boeing, Airbus, Embraer и др. экипажем из двух пилотов — командир воздушного судна (КВС) и второй пилот — коренным образом отличается от полетов ВС с многочисленными экипажами, состоящих из КВС, второго пилота, штурмана, бортового инженера. Неучастие в управлении современного ВС одного из пилотов нередко приводит к катастрофам.

Так, 28 июля 2010 года произошла катастрофа самолёта A321 авиакомпании Airbus при посадке. В сложных метеоусловиях самолет снизился ниже минимальной высоты — до 2300 футов вместо 2510 футов. КВС потерял контакт с землей, построил маневр захода самостоятельно против стандартной схемы прибытия, не выполнял указания диспетчера и не реагировал на неоднократную сигнализацию (21 предупреждение) системы Enhanced Ground Proximity Warning Systems (EGPWS) опасного сближения с землёй. Самолёт столкнулся со склоном горы. Второй пилот оставался пассивным наблюда-

телем этих нарушений по причине нетактичного и агрессивного поведения командира и не вмешивался в управление [1].

Авиакатастрофа самолета Airbus A320 авиакомпании Germanwings (дочерняя компания Lufthansa), следовавшего рейсом из Барселоны в Дюссельдорф, во французских Альпах 24 марта 2015 года была спровоцирована вторым пилотом Андреасом Любитцем. Оставшись в кабине пилотов один, он заблокировал дверь изнутри и намеренно задал в бортовой компьютер команду на снижение, после чего самолет врезался в гору [1].

31 декабря 1999 года самолет Boeing-767 авиакомпании Egypt Air, выполняя рейс по маршруту Лос-Анджелес-Каир с промежуточной посадкой в Нью-Йорке, потерпел катастрофу под Нантакетом (США, в Атлантическом океане, в 97 км южнее острова Нантакет). В ходе расследования были собраны материалы, доказывающие, что катастрофа была преднамеренной, а не случайной. Второй пилот отключил двигатели самолета, когда командир экипажа вышел из кабины. Вернувшийся через некоторое время командир экипажа не смог

спасти самолет из-за второго пилота, который препятствовал набору высоты [1].

Согласно данным, размещенным на сайте Aviation Safety Network, отслеживающем авиационные катастрофы, по меньшей мере 12 авиакатастроф, происшедших в течение последних 40 лет, были спровоцированы пилотами и другими работниками, имеющими отношение к полетам [2].

Не выяснены до конца причины катастрофы 31 октября 2015 года в Египте российского самолета Airbus A321, принадлежащего авиакомпании «Когалымавиа», выполнявшего рейс 9268 «Шарм-эль-Шейх — Санкт-Петербург».

Эти и другие катастрофы подчеркивают особую актуальность исследования управления ВС с экипажем из двух пилотов, особенно в настоящее время, при переходе в России на эксплуатацию зарубежной авиационной техники. По статистическим данным ICAO [3], из-за несоблюдения экипажами правил выполнения полётов за период 1990—1999 гг. произошло 67,4% всех авиационных происшествий.

Многие учёные в России и за рубежом: Б.В. Зубков, Е.Р. Минаев, А.Г. Шишов, В.Г. Евдокимов, К.А. Абгарян, М.М. Хрусталева, Э.Б. Жирнова, В.А. Пономаренко, Г. Армстронг, К. Барлоу, Д. Нейман, W.V. Webb, Дж. Ризон рассматривали полёт ВС как линейный управляемый процесс сложной человеко-машинной системы и вводили кроме надёжности авиационной техники, понятия надёжности управления полетом, надёжности работы летного состава, надёжности оператора, количественные и качественные показатели надёжности, но рассматривали в основном психологические аспекты управления полётом.

Задача данной статьи состоит в комплексном исследовании специального вопроса теории надёжности — проблемы надёжного управления ВС как человеко-машинной системы и разработке нового подхода к обеспечению надёжности управления полётом ВС с экипажем из двух пилотов.

Поскольку наиболее массовым самолётом в настоящее время является Airbus серии A320, выполним обзор системы управления ВС A320 и на его примере рассмотрим особенности и надёжность управления полетом. Системы управления самолётом Airbus A320, по данным руководства по технической и летной эксплуатации [4, 5], представлены на рис. 1, где приведены следующие компоненты управления: A/P (Autopilot Computers) — компьютер управления автопилотом; FACs (Flight Augmentation Computers) — полётные компьютеры управления; SIDE STICKs — боковые ручки управления; ELACs

(Elevator Aileron Computers) — компьютеры управления элеронами; SECs (Spoiler Elevator Computers) — компьютеры управления спойлерами; PEDALs — управление педалями; FCDC (Flight Control Data Concentrators) — концентраторы данных управления полётом; FMGC (Flight Management Guidance Computer) — компьютер управления полётом; RADIO ALTI (RADIO ALTIMETER) — радиовысотомер; Electronic Instrument System (EIS) — электронная аппаратура системы управления; а также рулевые поверхности: RUDDER — руль направления; AILERONs — элероны; ELEVATORs — рули высоты; SPOILERs — спойлеры; TRIM — управление триммером руля высоты.

Управление ВС автоматизировано на взлёте, посадке, наборе высоты, снижении, полёте на эшелоне и зарезервировано в случае отказа автоматики ручным управлением с помощью двух SIDE STICKs — боковых рукояток управления с места командира воздушного судна и второго пилота. Кроме того, компьютеры управления элеронами, рулём направления, концентраторы данных управления полётом, компьютеры управления полётом дважды зарезервированы, компьютеры управления спойлерами трижды зарезервированы, а рулевые поверхности разделены на секции. Перемещение рулевых поверхностей производится многократно дублированными гидравлическими и электрическими приводами.

Для решения поставленной задачи сложную человеко-машинную структуру управления ВС с экипажем из двух пилотов, показанную на рис. 1, представим в виде модели (рис. 2).

В контуре управления участвует командир воздушного судна (КВС) — Captain (*C*), второй пилот — Co-Pilot (*CP*), оборудование систем управления воздушным судном — G , представленное образующими g_i . Образующие g_i [6], принадлежащие воздушному судну $G \subset g_i$, входят в образ ВС G и представляют собой различные его системы: системы управления полетом Flight Management System (FMS), Automatic Dependent Surveillance (ADS), Automatic Flight Control System (AFCS), Autopilot Flight Director System (AFDS), Automatic Flight Guidance System (AFGS), Air Traffic Services Facilities Notification (AFSN), Automatic Flight System (AFS), Air Ground Level (AGL), Airplane Integrated Data System (AIDS), а также ряд других структурированных систем контроля и управления. Образ воздушного судна G вместе со своими межсистемными связями $B \subset \beta$ объединен в структуру Δ с отношениями связи ρ и правилами ограничений \mathcal{R} . Об-

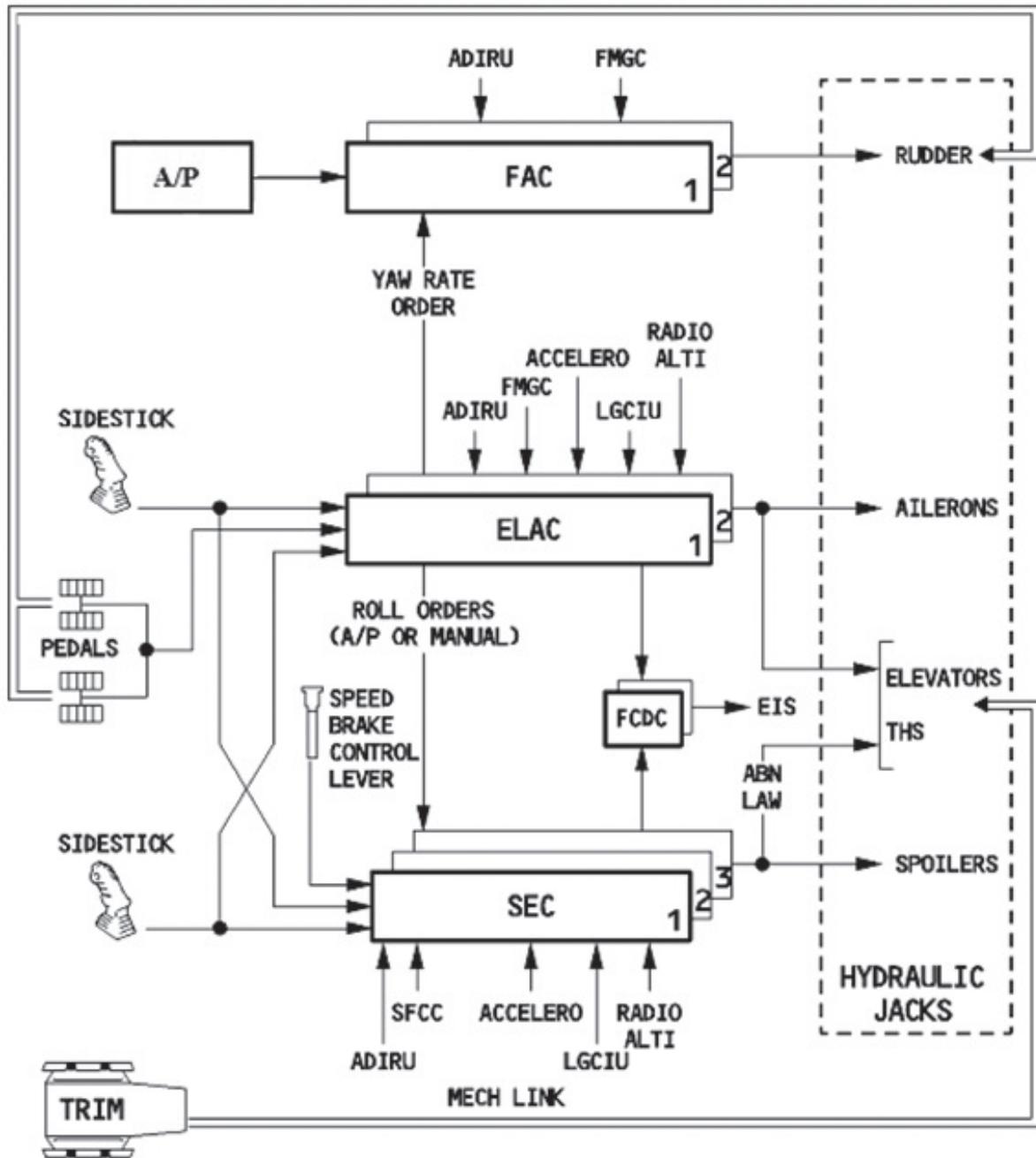


Рис. 1. Блок-схема управления самолётом А320

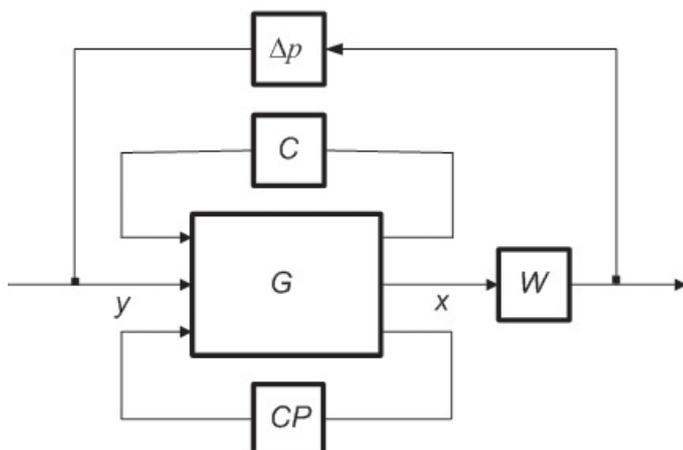


Рис. 2. Модель структуры управления ВС с экипажем из двух пилотов: G — структурированные системы управления ВС; C (Captain) — командир ВС; CP (Co-pilot) — второй пилот; W — устройство автоматического управления полетом; Δp — блок отрицательной обратной связи устойчивого автоматического управления; y — входное поле сигналов; x — выходное поле сигналов

разующие обладают определенными свойствами, признаками и связями. Образующей ставится в соответствие признак $a = a(g)$, который может быть целым числом и вектором. Управление пилотом воздушного судна представлено с математической

точки зрения вектором командира $C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$ и век-

тором второго пилота $CP = \begin{pmatrix} CP_1 \\ CP_2 \end{pmatrix}$.

Управление ВС x является откликом ВС на взвешенную сумму входных управляющих сигналов y , которая равна взвешенной сумме откликов на отдельные входные векторные сигналы управления y_i , независимо от их количества и направления. Правила-ограничения \mathfrak{X} заключаются в распределении обязанностей между членами экипажа ВС: КВС управляет пространственным положением воздушного судна, а при автоматическом управлении — контролирует пространственное положение ВС; второй пилот управляет скоростью полёта ВС, при автоматическом управлении — контролирует скорость полёта ВС, а при заходе на посадку — скорость и высоту полёта.

Представленная структура управления ВС является минимальной по стоимости, но для обеспечения желательной работы предполагает активное участие в управлении всех элементов структуры — обоих членов экипажа и систем автоматического управления. Только в этом случае соблюдаются требования устойчивости управления независимо от состояния авиатехники, намерений одного из членов экипажа и его психического состояния. Кроме этого, структура предполагает фундаментальные правила-ограничения по вмешательству в автоматическое управление только одного члена экипажа для ликвидации взаимно исключающих действий и повышения устойчивости управления.

В конфигурации, показанной на рис. 2, самым важным является ее линейное дробное преобразование.

Оборудование систем управления ВС может быть описано матрицей обобщенного плана [7]:

$$G = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Управление ВС с места КВС описывается некоторым структурированным набором человеко-

машинной системы управления — КВС и верхней половины структуры оборудования систем управления ВС:

$$F_1 = \left[\begin{pmatrix} G_{11} & G_{13} \\ G_{31} & G_{33} \end{pmatrix}, C \right] = G_{33} + G_{31}(1 - G_{11} \cdot C)^{-1} G_{13}. \quad (2)$$

Управление ВС с места второго пилота описывается структурированным набором человеко-машинной системы управления — вторым пилотом и нижней половины структуры оборудования систем управления ВС:

$$F_2 = \left[\begin{pmatrix} G_{22} & G_{23} \\ G_{32} & G_{33} \end{pmatrix}, CP \right] = G_{22} + G_{23}(1 - G_{33} \cdot CP)^{-1} G_{32}. \quad (3)$$

Подходящие передаточные коэффициенты W устройства управления обычно реализуются при отладке автоматического управления и основаны на конструктивном техническом решении и обученности экипажа.

Структурированный блок Δp отрицательной обратной связи автоматического управления ВС описывается синтезом передаточного коэффициента W устройства автоматического управления полетом:

$$\|W = F_1[F_2(G, CP), C]\|_{\infty} < 1 \forall C \in C, \|C\|_{\infty} \leq 1. \quad (4)$$

Проблема КВС состоит в необходимости вмешательства в управление ВС в особых случаях полёта — при отказах авиационной техники, некорректных действиях второго пилота — и описывается функцией восстановления работоспособности системы управления ВС:

$$\mu_{\Delta_{\text{ТОТ}}} = \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & W \end{pmatrix} F_1(G, CP) \right], \quad (5)$$

принятой относительно структурной неопределённости управления ВС:

$$\Delta_{\text{ТОТ}} = [\text{diag}(C, \Delta p) : \Delta p \in C^{y \cdot x}]. \quad (6)$$

Величина $\Delta_{\text{ТОТ}}$ должна быть строго меньше единицы во всем диапазоне управления.

Обычно передаточный коэффициент работы системы автоматического управления W определяется конструктором для управления ВС непосредственно с рабочего места КВС.

Задачей синтеза данной статьи является определение передаточного коэффициента W в уравнение обратной связи (5).

В программной среде LabVIEW создана модель определения W . Работа модели представлена на рис. 3, а результаты вычисления — на рис. 4.

Зная трехмерный вектор состояний $X(t)$ и трехмерный вектор управляющих воздействий $Y(t)$, находим трехмерный вектор

$$W = -\frac{Y(t)}{X(t)}. \tag{7}$$

В программной среде LabVIEW задаются численные значения матриц $Y(t)$ и $X(t)$, на выходе модели получаем численные значения матрицы коэффициента W .

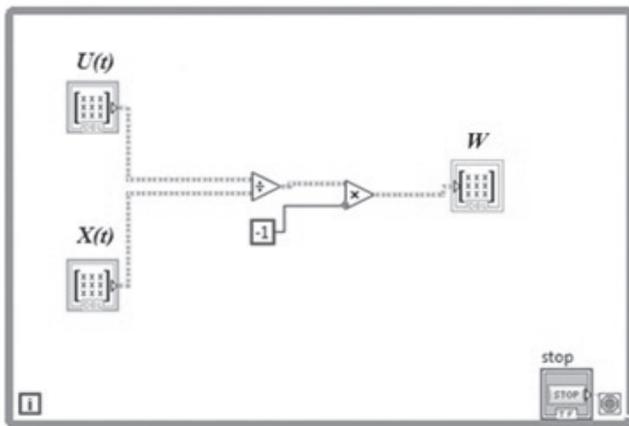


Рис. 3. Блок-диаграмма модели управления ВС

Новый подход к проблемам управления, развитый здесь, связан с искаженным изображением управления ВС из-за отказов технических средств системы управления, определяемых интенсивностью отказов λ_G , и ошибками работы второго пилота, определяемых интенсивностью ошибок λ_{CP} , вследствие чего управление в самых плохих случаях определено через суммарную интенсивность $\lambda = \lambda_G + \lambda_{CP}$ и обеспечивается вмешательством в управление КВС — С.

Данный подход к управлению ВС требует такой оптимизации передаточного коэффициента W в искаженной ($-\lambda$) работе канала управления ВС, чтобы при сомнительном управлении ВС с рабочего места второго пилота требуемый уровень устойчивой работы достигался управлением с рабочего места КВС.

Передаточный коэффициент W отражает необходимую работу автоматического управления полётом ВС и должен соответствовать стандартной функции чувствительности петли автоматического управления полётом, определяемой допустимой погрешностью управления.

Величина передаточного коэффициента W может быть откорректирована при отладке автоматического управления ВС. Синтез передаточного ко-

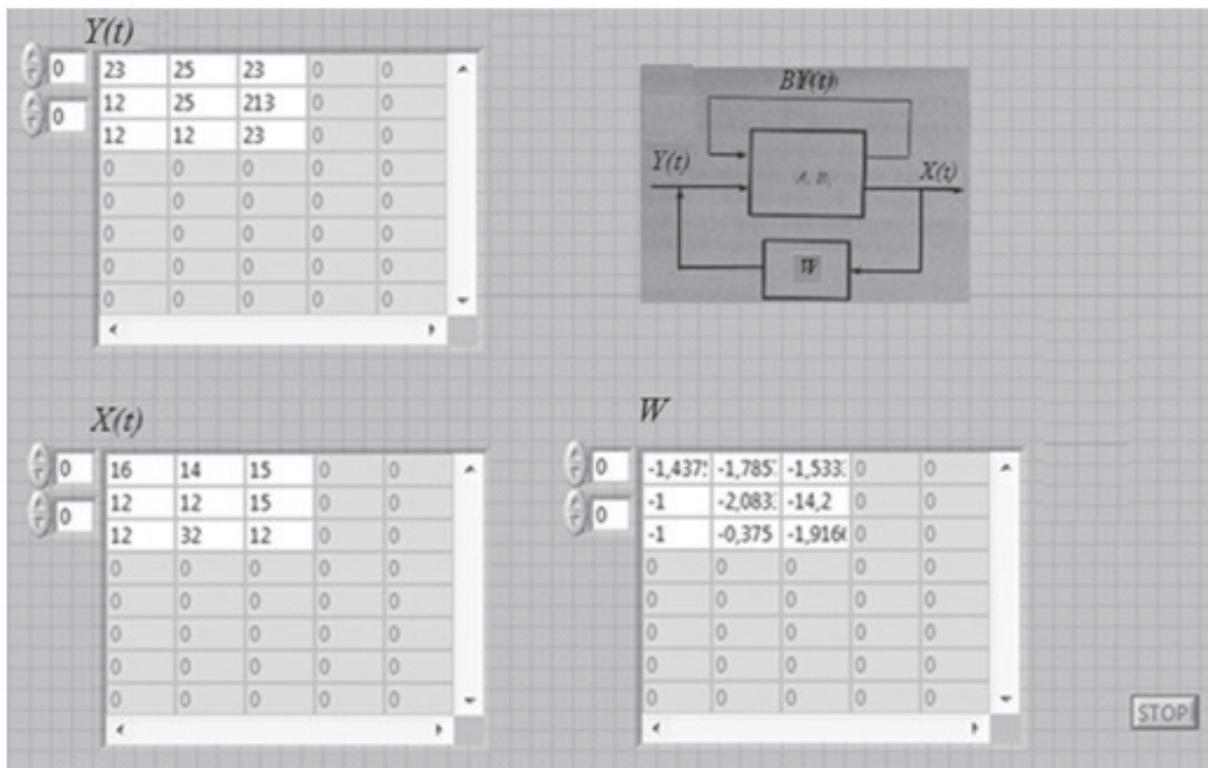


Рис. 4. Лицевая панель модели управления ВС в программной среде LabVIEW

эфициента W , является системным механизмом данного проекта.

Произведем анализ надёжности полёта как процесса управления полётом ВС. Для этого введем понятие надёжности полёта как критерия оценки безопасности полёта. Трёхконтурная система управления современного ВС может быть представлена в обобщенном виде, показанном на рис. 5 [7].

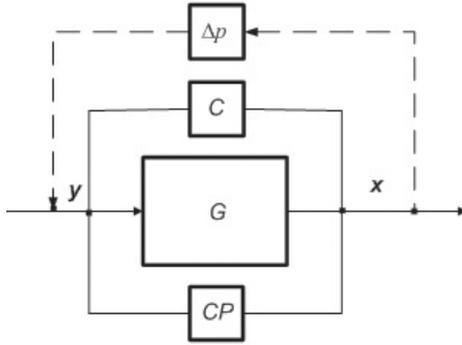


Рис. 5. Типичная структура управления современного ВС с двумя членами экипажа: G — структурированные системы ВС; C — КВС; CP — второй пилот; Δp — обратная связь устойчивого автоматического управления

В контуре управления участвуют: КВС — Captain (C) параллельно с техническими средствами управления полетом G , второй пилот — Co-pilot (CP) параллельно с техническими средствами управления полетом G . КВС дублирует и резервирует действия второго пилота при некорректном управлении ВС со стороны второго пилота и при активных отказах технических средств управления полётом.

Структурная схема надёжности управления ВС с учетом характера проявления отказов и ошибок в работе пилотов представлена на рис. 6.

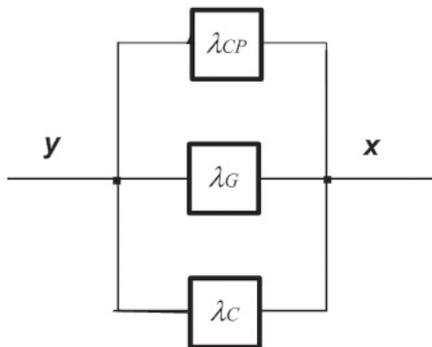


Рис. 6. Структурная схема надёжности управления ВС с двумя членами экипажа

Надёжность управления воздушным судном равна произведению вероятности безотказной работы его элементов [8], т.е.

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \tag{8}$$

где n — число параллельно работающих контуров управления ВС; $P_{i=1}(t)$ — вероятность безотказной работы бортовых технических систем управления; $P_{i=2}(t)$ — вероятность безотказной работы второго пилота; $P_{i=3}(t)$ — вероятность безотказной работы КВС.

Надёжность работы $R(t)$ структуры управления ВС с двумя членами экипажа, показанной на рис. 6, определяется уравнением

$$R(t) = 1 - [1 - R_G(t)] \cdot [1 - R_{CP}(t)] \cdot [1 - R_C(t)], \tag{9}$$

где $R_G(t)$ — надёжность технических средств управления полетом; $R_{CP}(t)$ — надёжность второго пилота; $R_C(t)$ — надёжность командира ВС.

Надёжность этой системы обеспечивается авиационной техникой и слаженной работой обоих членов экипажа ВС.

При экспоненциальном распределении отказов надёжность контуров управления ВС определяется уравнением

$$R(t) = e^{-\lambda(t)}, \tag{10}$$

где $\lambda(t)$ — интенсивность отказов средств управления ВС.

Надёжность полёта ВС с двумя членами экипажа определяется уравнением

$$R(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda_G(t)}] \cdot [1 - e^{-\lambda_{CP}(t)}] \cdot [1 - e^{-\lambda_C(t)}] = e^{-\lambda_G(t)} + e^{-\lambda_{CP}(t)} + e^{-\lambda_C(t)} + e^{-(\lambda_G + \lambda_{CP} + \lambda_C)t}, \tag{11}$$

где λ_G — интенсивность отказов компонентов ВС; λ_{CP} — интенсивность ошибок второго пилота; λ_C — интенсивность ошибок командира ВС.

Надёжность полёта ВС с многочленным экипажем определяется уравнением

$$R^k(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda_{CRU}(t)}]^k \cdot [1 - e^{-\lambda_G(t)}], \tag{12}$$

где k — количество членов экипажа; λ_{CRU} — константа, характеризующая качество работы членов экипажа (интенсивность ошибок членов экипажа).

Интенсивность отказов технических компонентов ВС, интенсивность ошибок членов экипажа зависит от режимов работы, нагрузки на технику, экипаж и учитывается произведением видов нагрузки и поправочным коэффициентом нагрузки

$$\lambda = \lambda_0 Pch, \tag{13}$$

где c — коэффициент нагрузки, учитывающий данный вид нагрузки (например электрическая, вибрационная, тепловая, психологическая и т.д.); h — поправочный коэффициент нагрузки в зависимости от возникших условий эксплуатации.

Коэффициентом нагрузки назовем отношение отклонения нагрузки от номинального значения к ее номинальному значению:

$$c = \frac{F_p - F_n}{F_n}, \quad (14)$$

где F_p — рабочее значение нагрузки; F_n — номинальное значение нагрузки, определяемое условиями работы.

Поправочный коэффициент нагрузки учитывает интегральное влияние всех факторов, возникающих при конкретных условиях работы элементов, устройств и условий работы экипажа. Поправочный коэффициент нагрузки может иметь значение от 1 до 1000 единиц в зависимости от возникших условий работы и нестационарности протекающих процессов.

Приняв надёжность управления воздушным судном с работоспособной системой автоматического управления ВС и работоспособным экипажем за 100%, определим по формуле (11) с учетом (13) снижение надёжности полета в экстремальных ситуациях при отказе системы автоматического управления полётом и потере работоспособности второго пилота. В трехконтурном управлении ВС потеря работоспособности бортовых технических средств управления приводит к снижению надёжности полета на 33%, а неучастие в управлении второго пилота совместно с неисправностями бортовых систем управления снижает надёжность полёта на 75% и увеличивает в десятки и даже в сотни раз нагрузку на КВС по выполнению безопасного полёта.

Для обеспечения взаимоконтроля во время полета и в процессе предполётной подготовки контроль за выполняемыми функциями и процедурами КВС возложен руководящими документами по летной эксплуатации ВС [5] на второго пилота, а на командира — контроль функций, выполняемых вторым пилотом. Такой вид взаимоконтроля позволяет обеспечить безопасность полёта и своевременно выявить критические действия одного из пилотов в кабинах с двумя членами экипажа.

Для контроля надёжности полета руководящей инструкцией для бортпроводников самолетов В-737

Classik с двумя членами летного экипажа предусмотрено [9]: если один из пилотов покидает кабину экипажа, то бортпроводник должен войти в кабину пилотов и наблюдать за работоспособностью оставшегося пилота, контролировать его состояние, выполняемые им процедуры и, в случае необходимости, принимать экстренные меры по немедленному возвращению в кабину ушедшего члена экипажа. Этот принцип следует распространить на все воздушные суда с экипажами из двух пилотов.

Сформулируем определение понятия надёжности полета: надёжность полета — это функция от безотказности авиационной техники и безошибочной работы членов экипажа.

Выводы

Таким образом, надёжность полёта самолетов с двумя членами экипажа является критичной, определяется слаженным активным взаимодействием обоих пилотов между собой и с авиационной техникой, обеспечивается качественной работой пилотов, безотказностью авиационной техники и зависит от возникшей нагрузки на экипаж в создавшихся условиях полета.

Библиографический список

1. Авиакатастрофы, произошедшие по вине пилотов-самоубийц. URL: <http://www.unian.net/world/1060537-aviakatastrofyi-proizoshedshih-po-vine-pilotov-samoubiyts.html> (27.03.2015).
2. Aviation Safety Network, aviation-safety.net
3. Безопасность на воздушном транспорте. URL: <http://www.transbez.ru/transport/2.html> (09.03.2013).
4. Airbus A320. Single aisle technical training manual maintenance course. T1 & T2. Auto flight / France, AIRBUS, S.A.S., Oct 14, 2005. 174 p.
5. Airbus A320. Flight crew operating manual. Flight control / France, AIRBUS, S.A.S., Oct 14, 2005. — 43 p.
6. Гренандер У. Лекции по теории образов. Том 1. Синтез образов. — М.: Мир, 1979. — 382 с.
7. Писаренко В.Н. Управление процессами и системами эксплуатации авиационной техники. — Самара: Изд-во Сам. НЦ РАН, 2012. — 318 с.
8. Шкляр В.Н. Надёжность систем управления. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 126 с.
9. Boeing 737-300/400/500 Flight Attendant Manual. URL: <http://www.candiler.com.tr/boeing-737-300400500-flight-attendant-manual/> (18.01.2000).

FLIGHT RELIABILITY

Pisarenko V.N.

*Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University),
SSAU, 34, Moscovskoe shosse, Samara, 443086, Russia
e-mail: victornpisarenko@gmail.com*

Abstract

The paper presents and analyzes the conditions and of a characteristics of the flight on modern aircraft with a crew of two pilots. The analysis of the flight is made in terms of flight safety. Examples of real events in the air, which led to the disaster due to the fault of the pilots, are described. Today, Airbus of A320 family performs the main air transport service, so the aircraft A320 control system is considered as basic for this analysis. The aircraft with a crew of two pilots control model in the form of man-machine system is built by converting the control system A320. Using mathematical tools of linear algebra the automatic and manual control of the aircraft structuring was carried out. Manual control of the aircraft is performed using SIDE STICKs by the captain and a co-pilot. More precise requirements to aircraft automatic control negative feedback were developed. The problem of the plane commander, which steer consists in the necessity to fly the aircraft in case of aircraft systems failure or incorrect actions of a co-pilot, was described mathematically. The model of the aircraft automatic control feedback transfer coefficients matrix was built in LabVIEW. Numeric and analytical studies of aircraft piloting in the form of the process of flight control were carried out. The definition of flight reliability was represented as a function of aviation equipment failure-free operation and error-free performance of the crew. The equations for flight reliability calculation under automated control and during active control of both pilots are presented. The regularity of reliability reduction due to aircraft automatic flight control system failure or non-participation of a co-pilot in controlling an aircraft is determined. Reliability calculation equations for operation in such conditions are presented. Detailed recommendations for flight reliability ensuring during crew preparation to the flight and flight operation are given.

Keywords: aircraft, flight safety, automatic control, matrix, manual actuation, failure probability, flight reliability.

References

1. *Aviakatastrofy, proizoshedshie po vine pilotov-samoubiits*, <http://www.unian.net/world/1060537-aviakatastrofyi-proizoshedshih-po-vine-pilotov-samoubiits.html> (accessed 27.03.2015).
2. Aviation Safety Network, aviation-safety.net
3. *Bezopasnost' na vozdušnom transporte*, www.transbez.ru/transport/2.html (accessed 09.03.2013).
4. Airbus A320. Single aisle technical training manual maintenance course. T1 & T2. Auto flight. France, AIRBUS, S.A.S., Oct 14 2005, 173 p.
5. Airbus A320. Flight crew operating manual. Flight control. France, AIRBUS, S.A.S., Oct 14 2005, 43 p.
6. Grenander U. *Lektsii po teorii obrazov* (Lectures in Patterns Theory), Moscow, Mir, 1979, vol.1, 382 p.
7. Pisarenko V.N. *Upravlenie protsessami i sistemami ekspluatatsii aviatsionnoi tekhniki* (Control of processes and systems of aerotechnics operation), Samara, Samarskii NTs RAN, 2012, 318 p.
8. Shklyar V.N. *Nadezhnost' sistem upravleniya* (Reliability of control systems), Tomsk, Tomskii politekhnicheskii universitet, 2011, 126 p.
9. *Boeing 737-300/400/500 Flight Attendant Manual*, <http://www.candiler.com.tr/boeing-737-300400500-flight-attendant-manual/> (18.01.2000).