

УДК 629.7.067.8

DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-4-33-44

МЕТОДИКА УСТРАНЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ПРЕПОСАДОЧНОМ СНИЖЕНИИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОИСШЕСТВИЙ КАТЕГОРИИ CFIT

В.В. ВОРОБЬЕВ¹, А.П. БЕЛЯЦКАЯ¹, А.А. СУПОЛКА²

¹ *Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

² *ПАО «Аэрофлот – Российские авиалинии», г. Москва, Россия*

Авиационные происшествия – категории столкновения исправных воздушных судов с землей (CFIT) в мировой гражданской авиации входят в состав трех так называемых «убийц» авиации наряду с такими происшествиями, как потеря управляемости в полете (LOC-I) и происшествиями на ВПП (RE). В результате многолетних исследований данной проблемы были разработаны и внедрены в практику методики снижения уровня риска CFIT, программы обучения и переподготовки пилотов. Также были созданы несколько поколений бортовых систем предупреждения о столкновении с землей или препятствиями (GPWS, EGPWS, TAWS), недостатком которых является пассивно-рекомендательный характер выдачи предупреждений. Выводы комиссий по результатам расследований авиационных происшествий свидетельствуют о случаях игнорирования экипажем специальной сигнализации систем предупреждения о близости земли и возможности ухода на второй круг для повторной безопасной посадки. Несмотря на принятые авиационным сообществом меры, происшествия данной категории продолжают происходить. В связи с этим, необходим поиск новых методик и решений проблемы столкновения ВС с землей. Одним из возможных путей решения данной проблемы является перевод систем предупреждения о близости земли в разряд активных, работающих в двух режимах. Первый – предупреждение экипажа о приближении к границам области безопасного маневрирования в районе захода на посадку с выдачей рекомендаций по устранению траекторного отклонения. Второй – если экипаж не предпринимает никаких действий при выдаче предупреждения или если его действия недостаточно эффективны, то следует произвести возврат на посадочную траекторию с временным выводом пилота из контура управления.

Ключевые слова: безопасность полетов, категория CFIT, глиссада, область безопасного маневрирования воздушного судна, предупреждающая сигнализация, увод с опасной высоты, располагаемое время пилота, нейронные сети, многослойный перцептрон.

ВВЕДЕНИЕ

Категория авиационных событий CFIT (Controlled flight into or toward terrain) – происшествия, связанные со столкновением исправных воздушных судов (ВС) в управляемом полете с землей, водой или наземным препятствием. Происшествия категории CFIT характеризуются потерей экипажем контроля над текущей полетной ситуацией, связанной с недостатком подготовки летного персонала [1], а также сознательными нарушениями предписанных процедур осуществления полетов. Международная организация воздушного транспорта (ИКАО) определяет CFIT как происшествия, при которых ВС находилось под контролем, независимо от ситуационной осведомленности экипажа (исключая недолеты, выкатывание с ВПП или столкновения с препятствиями при взлете и посадке) и относит к категориям происшествий с высокой степенью риска¹. К основным составляющим проблемы CFIT относятся:

- проблема пространственной ориентировки и иллюзий пространственного положения [2];
- проблема корректного пилотирования ВС при нахождении на глиссаде;
- проблема корректного восприятия и управление текущей полетной ситуацией;

¹ State of global aviation safety [Электронный ресурс] // ICAO Safety report. 2019. URL: https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2019_final_web.pdf (дата обращения 13.05.2020).

- проблема правильного восприятия сигнализации систем типа TAWS;
- проблема выполнения правильной последовательности действий, в случае выполнения процедуры ухода на второй круг.

Наибольшее количество происшествий данной категории приходится на фазы захода на посадку и посадки, на их долю приходится 66 % от общего числа происшествий CFIT и 62 % от всех катастроф данного типа². Согласно данным анализа авиационных происшествий в коммерческой гражданской авиации (ГА) Российской Федерации (РФ) за период с 2001 – 2018 гг. на долю CFIT приходится 17% авиационных происшествий и 16% катастроф от общего числа (рис.1.)³, это один из самых высоких показателей среди всех типов авиационных событий в коммерческой авиации РФ.

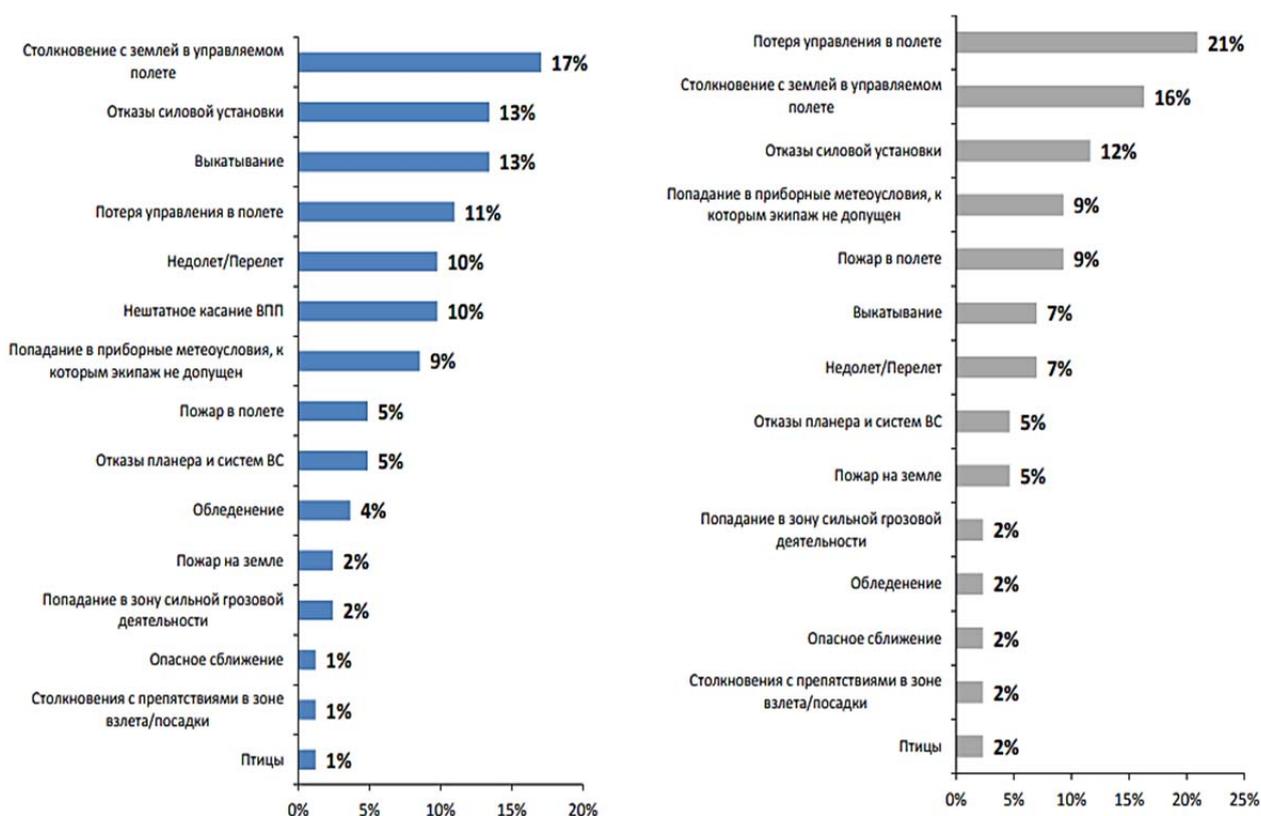


Рис. 1. Основные типы событий, приводящие к авиационным происшествиям (синий) с самолетами коммерческой авиации РФ в период с 2001 – 2018 гг.

Fig. 1. The basic types of events leading to incidents (blue) and accidents (grey) with commercial aircraft of the Russian Federation from 2001 to 2018

По результатам расследований авиационных происшествий, связанных с категорией CFIT, было выявлено большое количество причин их обуславливающих, которые условно можно разделить на 6 основных групп: «Недостатки в подготовке», «Взаимодействие с системами ВС», «Нарушения», «Ошибки экипажа», «Непринятие мер» и «Зрительные иллюзии». Выяв-

² IATA Controlled flight into terrain accident analysis report 2008-2017 [Электронный ресурс] // IATA. 2018. URL: <https://www.iata.org/contentassets/06377898f60c46028a4dd38f13f979ad/cfit-report.pdf> (дата обращения 14.05.2020).

³ Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2018 году. Управление инспекции по безопасности полетов ФАВТ. [Электронный ресурс] // Госавианадзор. URL: <https://avia.rostransnadzor.ru/bezopasnost--poletov/analiz-bezopasnosti-poletov> (дата обращения 26.10.2019).

ленные группы причин, согласно данным расследования авиационных происшествий, имеют повторяемость и не связаны с проявлением технической неисправности на борту ВС, т.е. CFIT связан именно с человеческим фактором [3]. Чаще всего CFIT происходит на этапах захода на посадку и посадки, особенно в темное время суток и в неблагоприятных метеоусловиях.

Подавляющее большинство заходов на посадку на современных гражданских авиалайнерах выполняются инструментально по курсо-глиссадным системам типа ILS (instrument landing system) (только на аэродромах, оборудованных данной системой) в автоматическом, директорном режиме и по маякам [4]. При этом даже в автоматическом режиме были зафиксированы случаи отклонений от глиссады, связанные с ошибками экипажа при вводе данных в систему о курсе, давлении и высоте принятия решения (ВПП). Также системы ILS подвержены «помехам» сигналов из-за находящихся в области ее действия посторонних объектов (самолеты, ангары, аэропортовые здания и сооружения) или особенностей рельефа подстилающей поверхности, что может оказать влияние на безопасность посадки.

Важно отметить тот факт, что лишь в двух - трех случаях при обнаружении траекторных отклонений, нестабилизированного захода или непосадочной конфигурации при заходе на посадку экипаж инициировал уход на второй круг. Имеет место случаи, в которых при срабатывании сигнализации опасного сближения с землёй в управляемом полёте экипаж не предпринимал мер по немедленному переводу ВС в набор безопасной высоты и ухода на второй круг, а продолжал попытки компенсировать отклонения от глиссады, т.е. подавляющее большинство пилотов не рассматривает возможность ухода на второй круг и повторную безопасную посадку вопреки жёстким указаниям нормативных документов и в надежде на свое мастерство. Большое исследование в области проблем ухода на второй круг провел Всемирный фонд по безопасности (FSF), которое показало, что среди 2340 пилотов из разных стран мира 97% при нестабильном заходе будут осознанно нарушать существующие требования и стараться посадить самолет с первого раза [5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной целью методики устранения отклонений при предпосадочном снижении является обеспечение безопасного захода на посадку и предотвращение столкновений ВС с подстилающей поверхностью (CFIT). Сущность данной методики заключается в предоставлении пилоту ВС предупреждающей сигнализации об отклонении от глиссады с рекомендациями по их устранению. При возникновении возможности выхода ВС за пределы границ области безопасного маневрирования на глиссаде рассматривается вариант автоматического возврата ВС на глиссаду.

В общем случае система исправления отклонений должна включаться в работу только когда существует реальная угроза выхода ВС из зоны безопасного маневрирования. Исправление отклонений должно включаться при условии бездействия пилота ВС после получения предупреждающей сигнализации или если предпринятые пилотом ВС действия не парируют или недостаточно эффективно парируют нарастающее вертикальное или боковое отклонение от глиссады. Во время включения процедуры исправления отклонений пилот ВС временно выводится из контура управления до момента устранения отклонений. Графическое отображение методики показано на рис. 2.

В данной методике применяются следующие обозначения:

- границы области безопасного маневрирования ($\xi(x) = 0$) – границы, в пределах которых ВС может находиться без угрозы для безопасности полетов;
- границы области ($\zeta(x) = 0$), содержащие допустимые отклонения ВС от заданной траектории движения;
- дальность (d) – наикратчайшее расстояние между ВС и границей области безопасного маневрирования;

- располагаемое время пилота (t_p) – отрезок времени с момента выдачи сигнализации до начала корректирующих действий пилота, обеспечивающих парирование возникшего отклонения от заданной траектории движения;
- зависимость $\mu_H(Z, l)$ – модель пилота, определяющая связь между текущим состоянием замкнутой системы «пилот – ВС» и отклонением от линии глиссады по высоте.

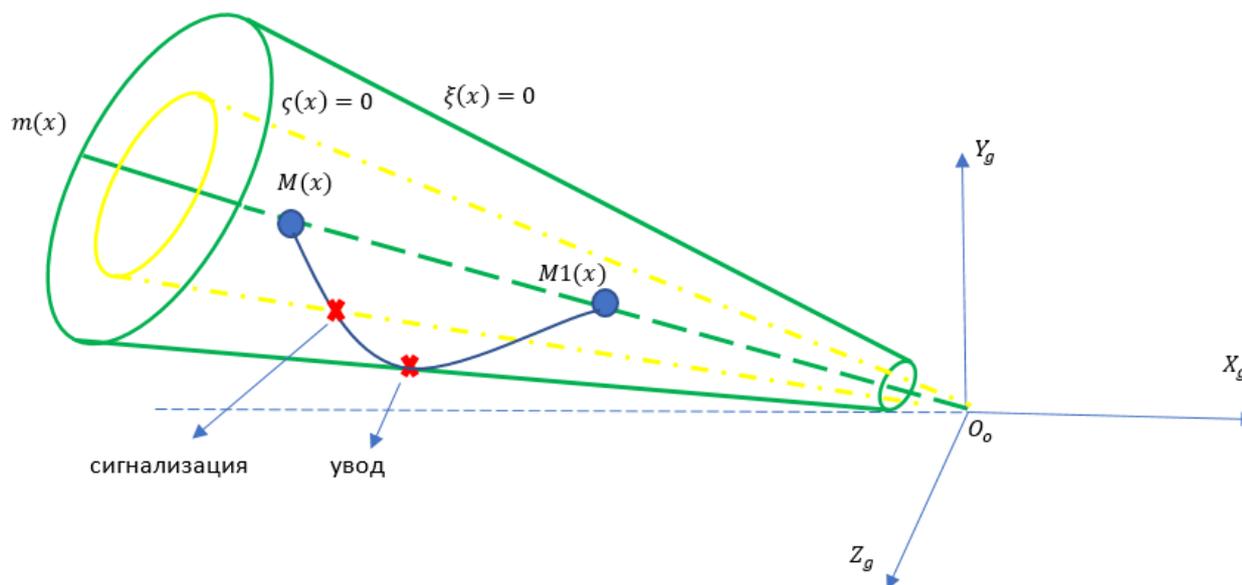


Рис. 2. Графический смысл методики устранения отклонений ВС при предпосадочном снижении
Fig. 2. Graphic meaning of the methodology of aircraft glideslope correction during pre-landing descent

Для синтеза алгоритмов управления, обеспечивающих перевод ВС в безопасные условия, необходимо привести математическое описание границ, в пределах которых будет осуществляться выдача специальной сигнализации о приближении к границам области безопасного маневрирования экипажу и увод с опасной высоты. Рассмотрим некоторое пространство в районе захода на посадку X^n . Зададим в этом пространстве точку $M_0(x)$ с текущими координатами ВС, обозначим скорость и направление данной точки \vec{x} , границы $\xi(x) = 0$ и границы области $\zeta(x) = 0$, содержащей допустимые отклонения $M(x)$ от заданной траектории $m(x)$, не требующие вмешательства. Для этого в точках предполагаемого пересечения границ $\zeta(x) = 0$ и $\xi(x) = 0$ ВС проведем касательные плоскости (рис. 3) (плоскости ограничения). Уравнения плоскостей касательным к поверхностям ограничения $\zeta(x) = 0$ и $\xi(x) = 0$ примут вид:

$$\begin{aligned} ax + c &= 0 \\ ax1 + c &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

где $a = \frac{\partial \zeta(x_T)}{\partial x^T}$; $c = \frac{\partial \zeta(x_T)}{\partial x^T} x_T$ и $a = \frac{\partial \xi(x_T)}{\partial x^T}$; $c = \frac{\partial \xi(x_T)}{\partial x^T} x_T$ соответственно.

Определить координаты точек T_{x_T} и $T1_{x_T}$ прогнозируемого пересечения границ $\zeta(x) = 0$ и $\xi(x) = 0$ соответственно можно путем совместного решения (1) и каноническим уравнением линии, содержащей вектор скорости ВС (2) [6]:

$$\frac{L(t)-L_0}{V_x} = \frac{H(t)-H_0}{V_y} = \frac{Z(t)-Z_0}{V_z}, \tag{2}$$

где V_x, V_y, V_z – проекции вектора скорости на оси нормальной системы координат.

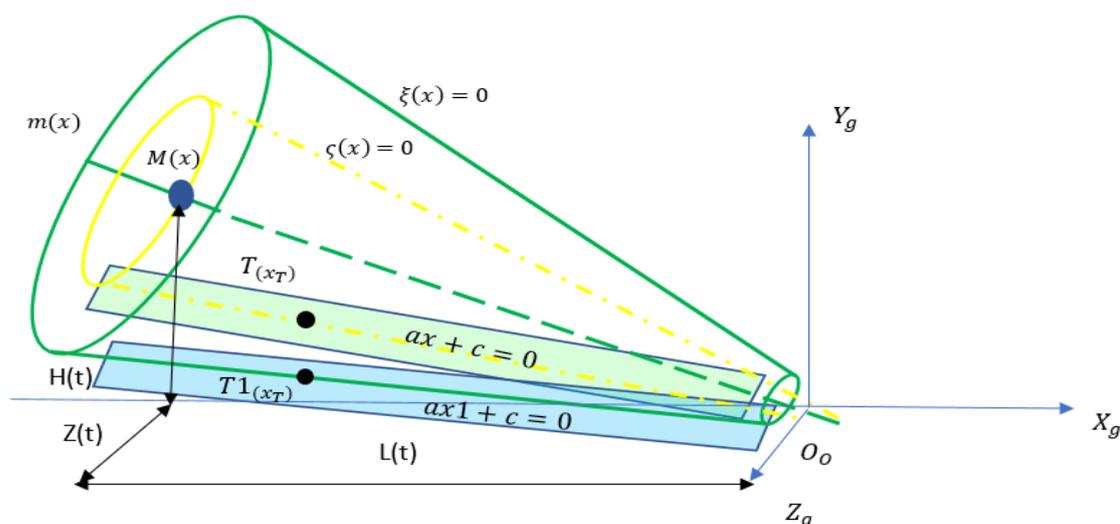


Рис. 3. Определение границ выдачи специальной сигнализации и момента включения автоматического возврата на глиссаду

Fig. 3. Determination of the boundaries of special indication activation and the moment of automatic glide path regaining initiation

Для определения времени включения сигнализации при прохождении границы $\zeta(x) = 0$ и времени перехода на предполагаемое автоматическое управление для обеспечения условия не пересечения границ $\xi(x) = 0$ найдем три располагаемых интервала времени (рис. 4). Первый интервал t_p – располагаемое время пилота на устранение траекторного отклонения. Второй интервал t_d – представляет расчетное время, за которое ВС достигнет границы $\xi(x) = 0$. Третий временной интервал t_c – это время, за которое можно погасить скорость сближения ВС с границей поверхности $\xi(x) = 0$.

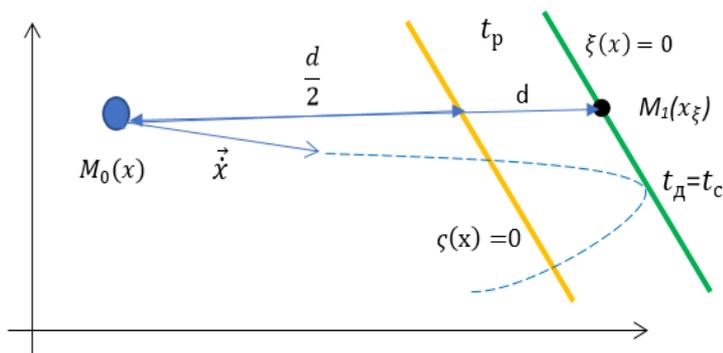


Рис. 4. Определение расстояния до границы области безопасного маневрирования

Fig. 4. Determination of the distance to the boundary of the safe maneuvering area

Применим d [7] — это наикратчайшее расстояние между ВС (точка $M_o(x)$) и границей $\xi(x) = 0$. Расстояние от точки $M_o(x)$ до границы $\zeta(x)$ примем равным $\frac{d}{2}$.

Определить дальность можно решив задачу оптимальной траектории, т.е. минимизации целевой функции [8]

$$F(x) = d^2 = |x - x_\xi|^2, \quad (3)$$

где x_ξ – вектор, координаты которого характеризуют положение произвольной точки $M_1(x_\xi)$, лежащей на поверхности $\xi(x) = 0$.

Любое перемещение материальной точки $M_o(x)$ в заданном пространстве ведет к соответственному смещению точки $M_1(x_\xi)$, удовлетворяющим минимуму функции $\min F(x)$ [7]:

$$d = d(x, x_\xi(x)|_{\min F(x)}) . \quad (4)$$

Выразим через дальность и ее производные величины t_d и t_c , предполагая, что функция (4) определена и дифференцируема на выделенном временном интервале.

Время достижения ВС границы $\xi(x) = 0$ определим по формуле (5):

$$t_d = \frac{d}{\dot{d}_{cp}}, \quad (5)$$

где $\dot{d}_{cp} < 0$ – средняя скорость сближения ВС ($M_o(x)$) с поверхностью $\xi(x) = 0$.

Далее, с учетом допущения о линейности сброса скорости от текущего значения до первой производной от d и условия [7], получим следующее выражение для определения расчетного времени достижения поверхности $\xi(x) = 0$:

$$t_d = \frac{2d}{\dot{d}} . \quad (6)$$

Время погашения скорости сближения ВС с границей области безопасного маневрирования определяется в пространстве производных высокого порядка [7]:

$$t_c = \frac{\dot{d}}{\ddot{d}_c} , \quad (7)$$

где \ddot{d}_c – располагаемое ускорение торможения динамической системы.

Приравняв (6) и (7) и решив их относительно d , получим зависимость для определения расстояния до поверхности ограничения $\xi(x) = 0$, при котором необходимо осуществить возврат на глиссаду и расстояние до поверхности $\zeta(x) = 0$ для выдачи предупреждающей сигнализации пилотов.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная трудность заключается в определении располагаемого времени пилота на устранение отклонения t_p при выдаче сигнализации о приближении к границам области безопасного маневрирования. Располагаемое время вмешательства пилота в управление состоит из: времени запаздывания вмешательства в управление, парировании нарастания параметров движения и стабилизации параметров движения [9]. При этом следует учитывать индивидуальные психофизиологические особенности каждого пилота [10], которые в том числе определяют располагаемое время. В настоящее время созданы частные модели действий пилота для конкретных ситуаций, одними из наиболее известных моделей для случаев быстрого изменения параметров движения с возможностью выхода одного из них за эксплуатационные пределы и в особых ситуациях представлены в [11, 12]. Однако случаи траекторных отклонений на посадке в контролируемом полете не сопряжены со скачкообразными изменениями параметров движения (за исключением случаев неисправностей АТ), в этой связи, перспективным представляется построение модели действий пилота при выдаче специальной сигнализации на основе аппарата

искусственных нейронных связей, в основе которых лежит кибернетический нейрон [13], состоящий из нескольких блоков:

- 1) блок взвешенного суммирования типовых сигналов;
- 2) блок нелинейного преобразования.

Для формирования модели необходимо получить зависимость $\mu(Z)$ на основе измерений $\mu_k = \mu(Z^k)$, $k = 1, \dots, NT$, где N – количество полетов в базе данных полетной информации; T – суммарное число измерений параметров состояния системы «самолет - пилот» на этапе посадки, определяемое дискретностью работы бортовой системы регистрации полетной информации [14]. Но на первоначальных стадиях построение нейронной сети для зависимости $\mu(Z)$ приемлемо использовать усредненные статистические данные ПИ, затем, по мере накопления достаточных данных для исследования, фокусироваться на индивидуальных особенностях техники пилотирования отдельно взятого пилота ВС. На рис. 5 показано взаимодействие блоков элементарного нейрона, применительно к зависимости $\mu(Z)$.

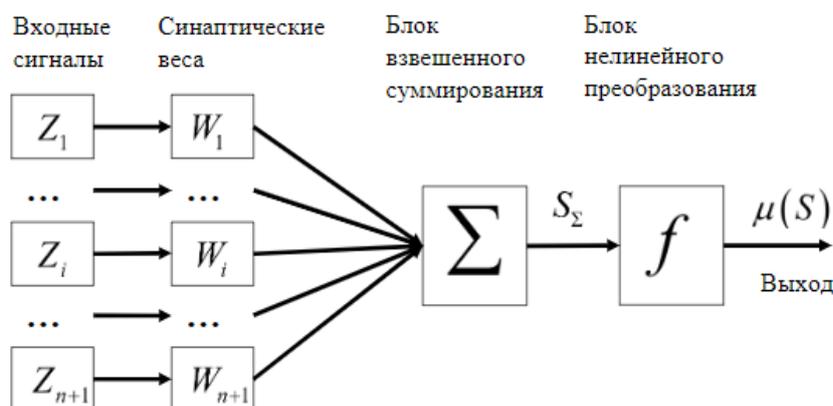


Рис. 5. Модель нейрона
Fig. 5. Neuron model

Блок взвешенного суммирования определяет процедуру суммирования значений входных сигналов с соответствующими им синаптическими весами:

$$S_\Sigma = \sum_{i=1}^{n+1} W_i Z_i, \quad (8)$$

где W_i – синаптический вес i -го нейрона;
 Z_i – значение входного сигнала i -го нейрона.

В блоке нелинейного преобразования используется сигмоидальная функция:

$$f(S_\Sigma) = \frac{1}{1 + \exp\{-(S_\Sigma - \theta)\}}, \quad (9)$$

где θ – заданное пороговое значение.

Элементарные нейроны объединяются в более сложные конструкции, образуя нейронные сети, что позволяет достигнуть большого многообразия вариантов связей между входом и выходом нейронной сети. Один из наиболее применяемых вариантов нейронной сети – многослойный персептрон (MLP) [15]. Структурная схема многослойного персептрона представлена на рис. 6. Особенностью многослойного персептрона является тот факт, что нейроны одного и того же слоя не связаны между собой, при этом выход каждого нейрона этого слоя связан со всеми нейронами последующего слоя. Для предельно точного описания зависимости $\mu(Z)$

в многослойном персептроне требуется произвести «обучение» нейронной сети [16], т.е. осуществление процедуры нахождения оптимальных значений весовых коэффициентов, при которых ошибка в оценке выходных значений $\mu(Z)$ будет минимальной.

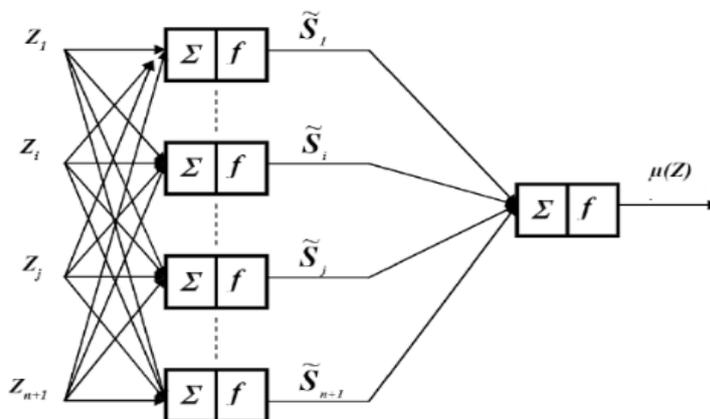


Рис. 6. Структура многослойного персептрона
Fig. 6. Structure of multilayer perceptron

Учитывая, что в основе происшествий CFIT лежит именно столкновение с подстилающей поверхностью, следует рассматривать модель действий пилота в вертикальном канале управления (зависимость $\mu_H(Z, l)$) [17].

На рис. 7. приведен общий вид алгоритма работы методики устранения отклонений при предпосадочном снижении.

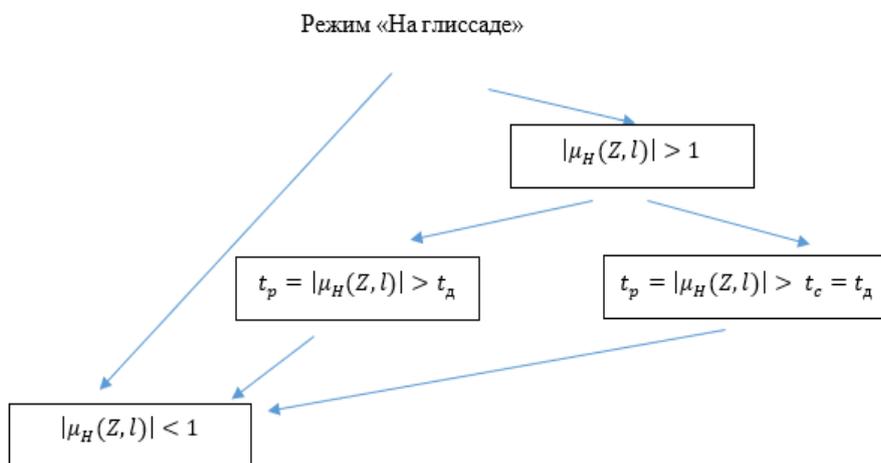


Рис. 7. Алгоритм работы методики устранения отклонений при предпосадочном снижении для предотвращения происшествий категории CFIT
Fig. 7. The algorithm of methodic aspects for glide path correction to prevent CFIT category incidents during pre-landing descent

Таким образом, при выполнении предпосадочного снижения экипажем ВС в пределах границ поверхности $\zeta(x) = 0$ и соблюдении условия $|\mu_H(Z, l)| < 1$ при $M \in \zeta(x) = 0$ осуществляется штатный режим захода на посадку с допустимыми траекторными отклонениями.

В случае $|\mu_H(Z, l)| > 1$ при $M \notin \zeta(x) = 0$, означающего опасность возникновения особой ситуации в результате невыполнения пилотами ВС заданных требований, будет происходить включение алгоритма выдачи специальной сигнализации пилоту о приближении к границам

безопасной зоны маневрирования. Пример предупреждающей сигнализации в случае вертикального отклонения от глиссады вниз: «Отклонение по высоте, снизьте вертикальную скорость и выдерживайте глиссаду».

Введем условие невмешательства в управление системы увода с опасной высоты $t_p = |\mu_H(Z, l)| < t_d \in \xi(x) = 0$. При соблюдении данного условия адекватной и своевременной реакции пилота ВС на предупреждающую сигнализацию, успешному парированию нарастающего отклонения производится посадка на ВПП без включения механизма автоматического увода с опасной высоты.

В случае невыполнения данного условия, нетрудно предположить, что траектория движения ВС пройдет по касательной к границе $\xi(x) = 0$ при условии равенства $t_d = t_c$, в таком случае для включения механизма автоматического увода с опасной высоты и временного вывода пилота ВС из контура управления справедливо условие $t_p = |\mu_H(Z, l)| > t_c = t_d \in \xi(x) = 0$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статистические данные по категории авиационных происшествий CFIT свидетельствуют о их высоком показателе в Российской Федерации. Поскольку данный тип происшествий не связан с проявлением технических неисправностей на борту ВС в полете (может быть только ими опосредован), одним из основных путей решения данной проблемы является предоставление пилотам ВС адекватного информирования об опасности CFIT. В данной статье был предложен подход, при котором пилоту ВС на этапе предпосадочного снижения по глиссаде, при условии приближения к границам области безопасного маневрирования выдается предупреждающий сигнал с рекомендациями по устранению отклонения на основе текущего местоположения ВС. Также с целью соблюдения безопасности полетов предусмотрен автоматический увод с опасной высоты при условии недостаточно эффективного устранения траекторного отклонения или бездействия пилота ВС ввиду динамичности системы «человек-машина» и наличия временного фактора. Приведены способы математического определения границ выдачи специальной звуковой сигнализации и области безопасного маневрирования ВС на посадке. Для определения располагаемого времени пилота ВС после получения информации о выявленном отклонении предложено построение модели действий пилота посредством аппарата нейронных связей, позволяющего учитывать особенности техники пилотирования отдельного пилота и адаптировать рекомендации в соответствии с этими особенностями. Через понятие дальности, условия равенства скорости сближения ВС с границами области безопасного маневрирования и расчетным временем достижения этих границ показан механизм определения наикратчайшего расстояния до границ, при котором предполагается автоматическое включение возврата ВС на глиссаду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куминова А.П.** Современные программы подготовки летного персонала и трехмерный показатель величины риска авиационного происшествия / А.П. Куминова, В.М. Рухлинский, Е.А. Коняев, И.Г. Кирпичев // Научный Вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 29. С. 135–145.
2. **Благинин А.А., Синельников С.Н., Ляшедько С.П.** Современное состояние и проблемы тренировки пространственной ориентировки летчиков // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51, № 1. С. 65–69. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-65-69
3. **Kelly D., Efthymiou M.** An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017 // Journal of Safety Research. June 2019. Vol. 69. Pp 155–165. DOI: 10.1016/j.jsr.2019.03.009

4. **Лушников А.С.** Бортовые радиоэлектронные системы обеспечения безопасности полетов воздушных судов: учеб. пособие. Ульяновск: УВАУ ГА, 2009. 143 с.
5. **Blajev Tz., Curtis W.** Go-around decision-making and execution project // Flight safety foundation. March 2017. 54 p.
6. **Акимов А.Н., Воробьев В.В.** Методика и алгоритмы увода летательного аппарата от пространственной поверхности ограничения // Автоматика и телемеханика. 2001. № 7. С. 18–25.
7. **Акимов А.Н.** Особенности проектирования легких боевых и учебно-тренировочных самолетов / А.Н. Акимов, В.В. Воробьев, О.Ф. Демченко, Н.Н. Долженков, А.И. Матвеев, В.А. Подобедов. М.: Машиностроение-Полет, 2005. 368 с.
8. **Гребенникова И.В.** Методы оптимизации: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2017. 148 с.
9. **Натальин В.М.** Моделирование управляющих действий пилота при развитии неблагоприятного фактора в условиях особых ситуаций // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 175. С. 118–122.
10. **Бочаров И.В., Стрелец В.В., Тукайнов Н.А.** Влияние стресса на психологические характеристики деятельности летчика // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 3-1 (42). С.168–172. DOI: 10.24411/2500-1000-2020-10229
11. **Жулев В.И., Иванов В.С.** Безопасность полетов летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1986. 224 с.
12. **Попереченко И.В., Рачко А.А., Филин Ю.Г.** Метод прогнозирования действий оператора эргастической системы при наличии отказа. Кн.: Авиационная экономика. Вып. 1. Киев: КИИГА, 1975. С. 112–114.
13. **Пятакович В.А., Василенко А.М., Хотинский О.В.** Аналитическая конструкция и исходные структуры искусственной нейронной сети, техническая реализация модели математического нейрона [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Т. 9, № 3. С. 1–15. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN317.pdf> (дата обращения 08.05.2020).
14. **Якименко В.А.** Разработка функционально-программного прототипа индивидуально-адаптированной системы поддержки управляющих действий пилота на этапе посадки с использованием нейросетевого подхода: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: МАИ, 2016. 22 с.
15. **Солдатова О.П.** Нейроинформатика: учеб. пособие [Электронный ресурс] // Руконт-Национальный цифровой ресурс. Самара: СГАУ, 2013. 132 с. URL: <https://rucont.ru/efd/176442> (дата обращения 14.05.2020).
16. **Головко В.А.** Нейрокомпьютеры и их применение. Кн. 4: Нейронные сети: обучение, организация и применение: учеб. пособие для ВУЗ. М.: ИПРЖР, 2001. 256 с.
17. **Евдокименков В.Н., Ким Р.В., Якименко В.А.** Согласование технического и биологического сегментов эргастической системы «самолет-летчик» с использованием нейросетевого подхода // Труды МАИ. 2016. № 89. С. 1–21.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Воробьев Вадим Вадимович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, v.vorobjev@mstusa.aero.

Беляцкая Анна Павловна, аспирантка МГТУ ГА, kumi-anna@yandex.ru.

Суполка Александр Александрович, кандидат технических наук, пилот авиакомпании ПАО «Аэрофлот – российские авиалинии», supolka@ya.ru.

METHODIC ASPECTS OF AIRCRAFT GLIDE SLOPE CORRECTION FOR PREVENTION OF CFIT CATEGORY ACCIDENTS DURING PRE-LANDING DESCENT

Vadim V. Vorobyev¹, Anna P. Beliatskaya¹, Alexander A. Supolka²
¹Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia
²PJSC "Aeroflot – Russian Airlines", Moscow, Russia

ABSTRACT

Aviation accidents of the category of controlled flight into terrain in world commercial aviation are included into three "killers" in aviation together with loss of control in flight (LOC-I) and runway excursions (RE). As a result of long-term research of this problem the methods of CFIT risk level reduction, pilot training and retraining programs were developed and put into practice. Also several generations of onboard ground proximity or obstacle warning systems were created (GPWS, EGPWS, TAWS), the disadvantage of which is a passive – advisory type of warnings. The conclusions of the commissions concerning the results of aviation accidents investigations indicate the cases of crew disregard of an alarm of a ground proximity warning system and possibility of a go-around procedure to make a missed approach. Despite the aviation community actions, accidents of this category continue to occur. Therefore, search of new methods and solutions of the controlled flight into terrain problem is necessary. One of the possible ways to resolve this problem is making proximity warning systems active and two-mode operative. The first one is some type of warning to the crew about approaching the boundaries of a safe maneuvering area during approach to land as well as the recommendations to avoid a glide path deviation. The second way is that if the crew members don't take any actions with a warning on or crew actions are not effective enough, it is necessary to regain a glide slope with temporary pilot disengagement from a control loop.

Key words: flight safety, CFIT category, glideslope, a safe maneuvering area of aircraft, warning indication, leaving a dangerous altitude, pilot available time, neural network, multi-layer perceptron.

REFERENCES

1. Kuminova, A.P., Rukhlinskiy, V.M., Konyaev, E.A. and Kirpichev, I.G. (2019). *Modern based training of pilots and three-dimensional indicator of value risk aircraft accidents*. Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA), no. 29, pp. 135–145. (in Russian)
2. Blaginin, A.A., Sinelnikov, S.N. and Lyashedko, S.P. (2017). *State-of-the-art and problems of spatial orientation training of pilots*. Aerospace and environmental medicine, vol. 51, no. 1, pp. 65–69. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-65-69. (in Russian)
3. Kelly, D. and Efthymiou, M. (2019). *An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017*. Journal of Safety Research, vol. 69, pp. 155–165. DOI: 10.1016/j.jsr.2019.03.009
4. Lushnikov, A.S. (2009). *Bortovyye radioelektronnyye sistemy obespecheniya bezopasnosti poletov vozdushnykh sudov: uchebnoye posobiye* [Onboard avionics systems of the aircraft flight safety: Training manual]. Ulyanovsk: UVAU GA, 143 p. (in Russian)
5. Blajev, Tz. and Curtis, W. (2017). *Go-around decision-making and execution project*. Flight safety foundation, 54 p.
6. Akimov, A.N. and Vorobev, V.V. (2001). *A method and algorithms for veering a flying apparatus from the spatial constraint surface*. Automation and Remote Control, vol. 62, no. 7, pp. 1042–1048. DOI: 10.1023/A:1010293424171. (in Russian)
7. Akimov, A.N., Vorobev, V.V., Demchenko, O.F., Dolzhenkov, N.N., Matveyev, A.I. and Podobedov, V.A. (2005). *Osobennosti proyektirovaniya legkikh boyevykh i uchebno-*

trenirovochnykh samoletov [Design features of light battleplane and training aircraft]. Moscow: Mashinostroyeniye-Polet, 368 p. (in Russian)

8. Grebennikova, I.V. (2017). *Metody optimizatsii: uchebnoye posobiye* [Methods of optimization: Training manual]. Ekaterinburg: UrFU, 148 p. (in Russian)

9. Natalin, V.M. (2012). *Simulation of governors action pilot in the development of adverse factor in specific situations*. Nauchnyy vestnik MGTU GA, no. 175, pp. 118–122. (in Russian)

10. Bocharov, I.V., Strelets, V.V. and Tukaynov, N.A. (2020). *Influence of stress on the psychological characteristics of the pilot's activity*. International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol. 3-1 (42), pp. 168–172. DOI: 10.24411/2500-1000-2020-10229. (in Russian)

11. Zhulev, V.I. and Ivanov, V.S. (1986). *Bezopasnost poletov letatelnykh apparatov* [Aircraft flight safety]. Moscow: Transport, 224 p. (in Russian)

12. Poperechenko, I.V., Rachko, A.A. and Filin, Yu.G. (1975). *Metod prognozirovaniya deystviy operatora ergasticheskoy sistemy pri nalichii otказа* [The method for predicting the actions of an ergatic system operator in the situation of the system failure]. Kniga: Aviatsionnaya ekonomika, issue 1. Kiev: KIIGA, pp. 112–114. (in Russian)

13. Pyatakovich, V.A., Vasilenko, A.M. and Khotinskiy, O.V. (2017). *Analiticheskaya konstruktsiya i iskhodnye struktury iskusstvennoy neyronnoy seti, tekhnicheskaya realizatsiya modeli matematicheskogo neyrona* [Analytical design and initial structure of an artificial neural network, the technical realization of the mathematical neuron model]. Internet-zhurnal «Naykovedeniye», vol. 9, no. 3, pp. 1–15. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN317.pdf> (accessed 08.05.2019). (in Russian)

14. Yakimenko, V.A. (2016). *Razrabotka funktsionalno-programmnogo prototipa individualno-adaptirovannoy sistemy podderzhki upravlyayuchshikh deystviy pilota na etape posadki s ispolzovaniyem neyrosetevogo podkhoda: avtoref dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development of a functional-software prototype of an individually adapted pilot support control system at the landing stage using a neural network approach: Abstract of the thesis ... candidate of the tech. science]. Moscow: MAI, 22 p. (in Russian)

15. Soldatova, O.P. (2013). *Neyroinformatika: uchebnoye posobiye* [Neuroinformatics: Training manual]. Samara: SGAY, 132 p. Available at: <https://rucont.ru/efd/176442> (accessed 14.05.2019). (in Russian)

16. Golovko, V.A. (2001). *Neyrokomputery i ikh primeneniye. Kniga 4, Neyronnyye seti: obucheniye, organizatsiya i primeneniye: uchebnoye posobiye dlya VUZov* [Neural networks: training, organization and application]. Moscow: IPRZHR, 256 p. (in Russian)

17. Evdokimenkov, V.N., Kim, R.V. and Yakimenko, V.A. (2016). *Technical and biological parts of ergatic system «pilot-aircraft» accommodation using artificial neural network approach*. Trudy MAI, no. 89, pp. 1–21. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vadim V. Vorobyev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Flight and Life Safety Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, v.vorobjev@mstuca.aero.

Anna P. Beliatskaya, Post-Graduate Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, kumi-anna@yandex.ru.

Alexander A. Supolka, Candidate of Technical Sciences, the Pilot of PJSC "Aeroflot – Russian Airlines", supolka@ya.ru.

Поступила в редакцию 29.05.2020
Принята в печать 23.07.2020

Received 29.05.2020
Accepted for publication 23.07.2020