

### ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте;

2.9.4. – Управление процессами перевозок;

2.9.6 – Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники;

2.9.8 – Интеллектуальные транспортные системы

УДК.629.7.067.8

DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-3-25-37

## Возможности и недостатки систем предупреждения выкатывания воздушного судна за пределы взлетно-посадочной полосы

С.Ф. Бородин<sup>1</sup>, А.И. Волынчук<sup>1</sup>, М.А. Киселев<sup>1</sup>, Ю.В. Петров<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия

**Аннотация:** В настоящее время все большее внимание авиационной общественности и властей уделяется безопасности полетов на этапе посадки. Это объясняется повышенной частотой инцидентов на финальном этапе полета и значительными угрозами, связанными с последствиями этих событий. Статистика авиационных происшествий показывает, что с 1959 по 2019 год 55 % всех катастроф в мире произошли на этапах посадки и взлета. Указанные катастрофы стали причинами 51 % всех смертельных случаев на борту воздушных судов. В большинстве случаев причины этих авиационных происшествий связаны с каким-либо видом человеческой ошибки. Нерасчетные условия на аэродроме также оказывают значительное негативное влияние на вероятность и тяжесть авиационных происшествий. Растущая интенсивность полетов и загруженность воздушного пространства, жесткие ограничения, налагаемые управлением воздушного движения, необходимость выполнения множества процедур и общее напряжение экипажа в сочетании с динамически изменяющимися внешними условиями способны дезориентировать экипаж и привести к посадке с превышением установленных ограничений. Поиск решения в части предотвращения выкатываний воздушного судна за пределы взлетно-посадочной полосы активно ведется как на уровне авиационных властей, так и на уровнях производителей и эксплуатантов. В рамках данной обзорной статьи проанализированы основные внешние и эксплуатационные факторы, влияющие на динамику и характер пробега воздушного судна по взлетно-посадочной полосе, в том числе на примере нескольких катастроф, произошедших за последние годы. Кроме того, в статье особое внимание уделено рассмотрению методов предотвращения и предупреждения выкатываний воздушного судна на основе принципов активной защиты. В частности, в статье рассмотрены основные аспекты работы бортовых электронных систем, устанавливаемых на воздушных судах производства Boeing и Airbus, выделены возможные направления их совершенствования. Особое внимание уделено влиянию пилота и возможности учета его действий в прогнозировании исхода посадки.

**Ключевые слова:** посадка, взлетно-посадочная полоса (ВПП), выкатывание, перелет, безопасность полетов, бортовое электрооборудование, аэродром.

**Для цитирования:** Бородин С.Ф. Возможности и недостатки систем предупреждения выкатывания воздушного судна за пределы взлетно-посадочной полосы / С.Ф. Бородин, А.И. Волынчук, М.А. Киселев, Ю.В. Петров // Научный Вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 26, № 3. С. 25–37. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-3-25-37

## Aircraft overrun warning systems capabilities and disadvantages

S.F. Borodkin<sup>1</sup>, A.I. Volynchuk<sup>1</sup>, M.A. Kiselev<sup>1</sup>, Yu.V. Petrov<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

**Abstract:** Currently, attention of the aviation community and authorities is being increasingly focused on flight safety in the landing phase. It is accounted for the increased frequency of incidents in the final phase of flight and significant threats associated

with the consequences of these events. The statistics of aviation accidents reveals that from 1959 to 2019, 55% of aircraft crashes in the world occurred in the phases of landing and takeoff. The given crashes resulted in 51% of all fatalities on board aircraft. In most cases, causes of these aviation accidents are involved with some kind of human error. Off-design conditions at an aerodrome also have a significant adverse effect on the aviation accident potential and severity. The increasing intensity of flights, airspace congestion, strict ATC-imposed restrictions, the necessity to perform a variety of procedures and general flight crew stress in conjunction with dynamically changing external conditions can disorient a flight crew and lead to a landing with a flight envelope overrange. The search for a solution in terms of preventing aircraft overruns is actively being conducted both by aviation authorities and aircraft manufacturers and operators. Within the framework of this review, the major external and operational factors, affecting the dynamics and the nature of the aircraft roll via the runway, are analyzed, including the context of several accidents that have occurred in recent years. In addition, the article emphasizes the methods to prevent and anticipate aircraft overruns based on the principles of active protection. In particular, the article examines the main operation aspects of onboard avionics systems installed on Boeing and Airbus aircraft and highlights the focus areas of their upgrading. Special attention is paid to the influence of the pilot and the possibility of taking his actions into account to predict an outcome of landing.

**Key words:** landing, runway (RWY), overrun, overshooting, flight safety, avionics, airfield.

**For citation:** Borodkin, S.F., Volynchuk, A.I., Kiselev, M.A., Petrov, Yu.V. (2023). Aircraft overrun warning systems capabilities and disadvantages. Civil Aviation High Technologies, vol. 26, no. 3, pp. 25–37. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-3-25-37

## Введение

Обеспечение безопасной посадки остается важной задачей для отрасли из-за высокой интенсивности происшествий на взлетно-посадочной полосе (ВПП), к которым относятся: выкатывание с ВПП; столкновение на ВПП; недолет/перелет ВПП; удары хвостом и случаи жесткой посадки.

Выкатывание с ВПП (рулежной дорожки (РД)) является наиболее частой категорией авиационных происшествий (АП), на долю которых приходится 27 % всех авиационных событий за период с 2010 по 2020 год<sup>1</sup>. В среднем по всему миру на гражданские воздушные суда (ВС) приходится не менее 18 происшествий в год, связанных с выкатыванием за пределы ВПП/РД. Выкатывания могут привести к гибели и (или) травмам людей либо на борту ВС, либо на земле. Кроме того, в результате выкатывания на значительной скорости может быть повреждена инфраструктура аэропорта, не считая вероятности полной потери самого ВС [1–3]. В общей сложности за 10 лет было выявлено более 190 АП, связанных с выкаткой ВС за пределы ВПП или РД. Хотя выкатывания с ВПП

являются наиболее распространенным типом АП, связанный с этим уровень смертности намного ниже, чем в таких категориях, как потеря контроля в полете (LOC-I) или столкновение с землей в управляемом полете (CFIT). Тем не менее с учетом прочих рисков необходимость превентивных мер очевидна<sup>2</sup>.

На первом этапе в качестве мер борьбы с выкатыванием авиакомпания разрабатывали собственные процедуры и стандарты безопасности, включавшие в себя рекомендации по методике пилотирования, критериям стабилизированного захода и процедуры прерванного захода на посадку при условии нестабилизированного захода или наличия иных факторов опасности. Дальнейшее тесное сотрудничество между основными заинтересованными сторонами (эксплуатантами, производителями авиационной техники и органами управления гражданской авиации (ГА)) привело к ряду законодательных и рекомендательных решений, включая инструментарий снижения риска выкатывания с ВПП (RERR Toolkit), который был разработан IATA в сотрудничестве с Фондом безопасности полетов (FSF)<sup>3</sup>. Второе издание этого инструментария

<sup>1</sup> Flight safety foundation. FSF Alar Tool Kit [Электронный ресурс] // ainonline. 2010. URL: <https://www.ainonline.com/aviation-news/aviation-international-news/2010-08-01/fsf-updates-alar-tool-kit> (дата обращения: 10.06.2022).

<sup>2</sup> Safety report 2020. 57th ed. // IATA, 2021. 244 p.

<sup>3</sup> Global action plan for the prevention of runway excursions (GAPPRE) [Электронный ресурс] // Eurocontrol. Parts 1 and 2, 5 May 2021. URL: <https://www.eurocontrol.int/publication/global-action-plan-prevention-runway-excursions-gap-pre> (дата обращения: 10.06.2022).

было подготовлено в сотрудничестве между IATA и ICAO (при участии ACI, CANSO, IFATCA, EUROCONTROL, NLR, FSF) и Австралийским бюро транспортной безопасности. Относительно недавно IATA, ICAO, ACI, CANSO, ICCAIA, FSF, IFALPA, IFATCA, IBAC, IAOPA, FAA, EASA и Евроконтролем был разработан комплект обеспечения безопасности на ВПП (Runway Safety i-Kit), включающий в себя следующие процедуры и данные:

- 1) сбор и анализ статистики о безопасности полетов на этапах взлета/посадки;
- 2) готовые учебные модули и типовые планы образовательных программ переподготовки и повышения квалификации летного состава;
- 3) презентации и анимацию для повышения наглядности учебных курсов;
- 4) анализ передового опыта и предоставление площадок для взаимного обсуждения в виде конференций и симпозиумов<sup>4</sup>.

Однако несмотря на значительные усилия в области организационных методов, статистика выкатываний с ВПП за последние годы изменилась незначительно. Поэтому параллельно с организационными методами проводится разработка технических методов, которые можно разделить на наземные и бортовые, то есть реализуемые на борту ВС. Очевидно, что наиболее действенным методом борьбы с выкатыванием является увеличение длины ВПП [4, 5]. Однако указанный подход требует значительных материальных затрат и в силу, например, географических особенностей, не всегда возможен. Поэтому большей перспективой, на наш взгляд, обладают бортовые системы, способные прогнозировать дистанцию пробега ВС и предупреждать экипаж о риске выкатывания, устраняя тем самым угрозу наступления факта выкатывания [6].

Рассмотрим подробнее факторы опасности, обуславливающие риск выкатывания,

и проанализируем возможности и недостатки существующих бортовых систем предотвращения выкатываний ВС за пределы ВПП.

### **Факторы опасности, обуславливающие риск выкатывания**

АП на этапе взлета/посадки нельзя свести к действию какого-то одного фактора. Однако во многом указанные АП обусловлены переходом от монотонного полета, выполняемого, как правило, в автоматическом режиме, к режиму полета, требующему постоянного максимального внимания, использования визуальных ориентиров и предполагающего выполнение множества процедур и действий<sup>5</sup> [7–9]. Среди наиболее частых ошибок пилота на этапе посадки можно выделить следующие [10]:

- 1) неправильный расчет посадочных характеристик ВС;
- 2) нестабилизированный заход на посадку;
- 3) затягивание или отказ от ухода на второй круг в соответствующих условиях;
- 4) несвоевременный или неправильный выпуск взлетно-посадочной механизации;
- 5) затягивание этапа выдерживания;
- 6) «козление»;
- 7) ошибки в управлении тягой, реверсом, торможением.

Среди факторов, способствующих АП на посадке, выделяют [7, 11]:

- состояние поверхности ВПП, не соответствующее прогнозируемому (вода, лед и т. п.);
- состояние атмосферы, не соответствующее прогнозируемому (ветер, осадки, видимость);
- отказы систем и агрегатов ВС, влияющих на посадочные характеристики ВС;
- уклон ВПП.

При этом исправление допущенных ошибок на посадке ограничено крайне малыми

<sup>4</sup> Runway safety programme [Электронный ресурс] // ICAO. URL: [https://applications.icao.int/tools/rsp\\_ikit/story\\_html5.html](https://applications.icao.int/tools/rsp_ikit/story_html5.html) (дата обращения: 10.06.2022).

<sup>5</sup> Human-rating requirements and guidelines for space flight systems. NPG: 8705.2 [Электронный ресурс] // NASA, 2003. 40 p. URL: [https://klabs.org/DEI/References/design\\_guidelines/human\\_rating\\_n\\_pg\\_8705\\_0002.pdf](https://klabs.org/DEI/References/design_guidelines/human_rating_n_pg_8705_0002.pdf) (дата обращения: 10.06.2022).

резервами времени и пространства, а также меньшей эффективностью аэродинамических рулей ВС в силу малого скоростного напора.

Таким образом, причины выкатывания за пределы ВПП могут быть сведены в следующие группы [10, 12].

1. Человеческий фактор (нестабилизованный заход на посадку, неправильная техника выравнивания, неправильные действия и (или) взаимодействие в экипаже при неблагоприятных метеоусловиях или нештатном техническом состоянии ВС и т. п.).

2. Недостаточное или неверное информирование экипажа (непредвиденные или значительно худшие, чем ожидалось, условия посадки).

3. Техническое состояние ВС (снижение эффективности или отказ устройств гашения подъемной силы или средств торможения, нештатная конфигурация ВС и т. п.).

4. Особенности аэропорта (географическое расположение, ограничивающее направление посадки и зоны маневрирования в районе аэропорта, уклоны ВПП, состояние поверхности ВПП и т. п.) [13, 14].

Человеческий фактор главенствует в причинах АП. Согласно статистике ИКАО в 45 % случаев причиной АП является именно человеческий фактор. Недостаточная подготовка, эмоциональная напряженность, усталость и ряд других факторов способны вызвать значительные отклонения в работе экипажа и, как следствие, нарушить план полета [12, 15].

Эксплуатационными факторами, влияющими на взлетно-посадочные характеристики, являются: посадочный вес, положение механизации крыла, скорость и направление ветра, состояние атмосферы, применение средств торможения, состояние и уклон ВПП<sup>6</sup>.

Обратимся к анализу недавних АП, связанных с выкатыванием ВС за пределы ВПП.

23 октября 2022 года в аэропорту Mactan Cebu International Airport (СЕВ) на посадке после третьей попытки приземлиться выка-

тился Airbus A330-300 авиакомпании Korean Air. Первые две попытки зайти на посадку закончились уходом на второй круг на относительно малых высотах (275 и 150 футов соответственно) фактически над порогом ВПП 22. На третьей попытке пилотом удалось посадить ВС, но темп торможения оказался недостаточным, и на скорости 80 узлов ВС выкатилось за пределы ВПП и остановилось в 360 м от торца полосы. В результате инцидента никто не пострадал. У ВС подломилась носовая стойка шасси и раскололся фюзеляж. В момент посадки рейса KE-631 наблюдалась гроза и ливневые осадки, порывы ветра достигали 10 м/с. На ВПП был слой воды.

7 августа 2020 года в международном аэропорту Каликут (Calicut International Airport (CCJ)) потерпел катастрофу Boeing 737-8HG авиакомпании Air-India Express, выполнявший регулярный рейс IX1344 по маршруту Дубай – Кожикод. Условия посадки были усложнены следующими обстоятельствами: аэродром с трех сторон окружен горами; торцы ВПП значительно возвышаются над рельефом; наклон глиссады при посадке с востока несколько больше стандартного; полоса в зоне приземления имеет положительный уклон. Согласно данным METAR в аэропорту в работе была полоса 28, переданное диспетчером экипажу значение ветра составляло 280 градусов, 5 узлов то есть ветер был строго встречным для этой полосы. Видимость в условиях умеренной грозы с дождем составляла 2000 метров с тенденцией снижения до 1500 метров при допустимом для захода ILS на эту полосу значении 1300. Экипаж выполнил попытку захода на посадку, которая не увенчалась успехом из-за низкой видимости в условиях сильного дождя – пилоты не видели необходимые ориентиры, кроме того, в самый неподходящий момент отказал дворник на лобовом стекле командира<sup>7</sup>. В итоге самолет ушел на круг, ожидая

<sup>6</sup> Учебное пособие по аэродинамике [Электронный ресурс] // КГБОУ СПО «Комсомольский-на-Амуре авиационно-технический техникум». URL: <https://studfile.net/preview/2989748/page:13/> (дата обращения: 10.06.2022).

<sup>7</sup> Катастрофа Боинга-737 в Кожикод (Индия) [Электронный ресурс] // Блог Fly safe. Небесные истории. URL: <https://denokan.livejournal.com/230207.html> (дата обращения: 10.06.2022).

разрешения совершить посадку на ВПП 10. После получения разрешения ВС приземлилось на ВПП 10 длиной 2860 м примерно в 1000 м за порогом ВПП, не смогло остановиться и упало в обрыв глубиной 35 м за торцом ВПП. Фюзеляж ВС раскололся на две части, оба пилота и 19 пассажиров погибли. Важно заметить:

- экипаж ни при первой попытке посадки, ни при второй не выполнял расчет потребной для посадки дистанции, что является обязательной процедурой, установив задатчик уровня автоматического торможения в положение «3», то есть задав не самый максимальный из возможных уровней автоматического торможения ВС;
- в момент прохода торца ВПП 10 скорость составляла 176 узлов (326 км/ч) на высоте примерно 450 футов (140 м) над поверхностью ВПП, что является неприемлемым для посадки на короткие ВПП в плохих погодных условиях (в момент посадки попутный ветер составлял около 9 узлов (17 км/ч));
- на борту было достаточно топлива для того, чтобы самолет ушел на запасной аэродром, однако пилоты приняли решение на уход на второй круг слишком поздно (расследование показало, что в момент катастрофы РУД находился в полностью переднем положении (take off go-around)), а спойлеры были убраны).

## Методы снижения риска выкатывания за пределы ВПП

Основными методами снижения рисков выкатывания ВС за пределы ВПП являются организационные и технические. Последние в свою очередь разделяют на методы активной и методы пассивной защиты.

Как было отмечено выше, несмотря на активную работу органов управления гражданской авиации, организационные методы не повлияли должным образом на общую статистику происшествий, что наглядно показывает возрастающий тренд частоты выкатываний

за 2015–2020 годы (IATA)<sup>8</sup>. Создание нормативной базы не гарантирует ее безупречного исполнения. Согласно данным циркуляра FAA AC № 91-79А (один из главных современных циркуляров, определяющих пути обеспечения безопасности для пилотов, авиакомпаний, разработчиков самолетов, обучающих организаций в области снижения риска при выкатывании самолетов за пределы ВПП на этапе посадки) ключевым элементом безопасности, влияющим на риск выкатываний за пределы ВПП на посадке, является именно пилот [16].

Поэтому очевидна необходимость применения дополнительных барьеров безопасности. Как показывает практика, даже наиболее перспективные на сегодняшний день пассивные системы безопасности (концевые полосы безопасности EMAS) не обеспечивают достаточного уровня защиты. Так, не на всех ВПП существует возможность установить подобные конструкции (в том же аэропорту Карикур для концевой полосы безопасности физически нет места), а в некоторых случаях она может оказаться бесполезна, как, например, в случае выкатки тяжелого ВС на высокой скорости (как это произошло в Себу с A330 Korean Air). Поэтому еще в 1990-е годы конструкторы начали разработку активных методов борьбы с выкатыванием ВС<sup>9</sup>.

## Системы предупреждения опасности выкатывания воздушного судна за пределы ВПП

Бортовые методы снижения риска выкатывания за пределы ВПП основаны на выработке управляющих воздействий на органы управления ВС экипажем на основе рекомендаций бортовых систем или же на выработке

<sup>8</sup> Safety report 2021. 58th ed. // IATA, 2022. 269 p.

<sup>9</sup> Runway condition assessment – moving toward an automated environment [Электронный ресурс] // In: Proceedings of Interregional Conference «Airport council international». Tampa, 15–17 September 2019. URL: <https://airportscouncil.org/wp-content/uploads/2019/09/Runway-Condition-Combined-Presentation.pdf> (дата обращения: 10.06.2022).

управляющих воздействий на органы управления автоматической бортовой системой без участия пилота.

Современные системы способны прогнозировать дистанцию посадочного пробега исходя из внешних условий и параметров ВС и в некоторых случаях отслеживать динамику движения по ВПП и выдавать экипажу рекомендации [7].

Первой подобной системой стала система предупреждения о положении ВС относительно ВПП (RAAS), разработанная корпорацией Honeywell в 2004 году. Базовая RAAS предоставляет экипажу информацию о положении ВС относительно ВПП во время движения на земле и функционирует путем подачи звуковых сообщений для подтверждения идентификации ВПП<sup>10</sup>. Система также информирует экипаж о попытке взлета с РД вместо назначенной ВПП. При посадке система определяет попытку посадки на заведомо короткую ВПП и ведет отсчет оставшейся длины полосы перед ВС при пробеге. Разработка системы стала возможной благодаря развитию систем предупреждения столкновения ВС с землей (TAWS, EGPWS). Для ее функционирования необходимы следующие исходные данные:

- координаты ВС в пространстве;
- абсолютная скорость ВС (относительно земли);
- курс ВС.

В 2009 году Honeywell расширила возможности RAAS, добавив системы SmartRunway и SmartLanding.

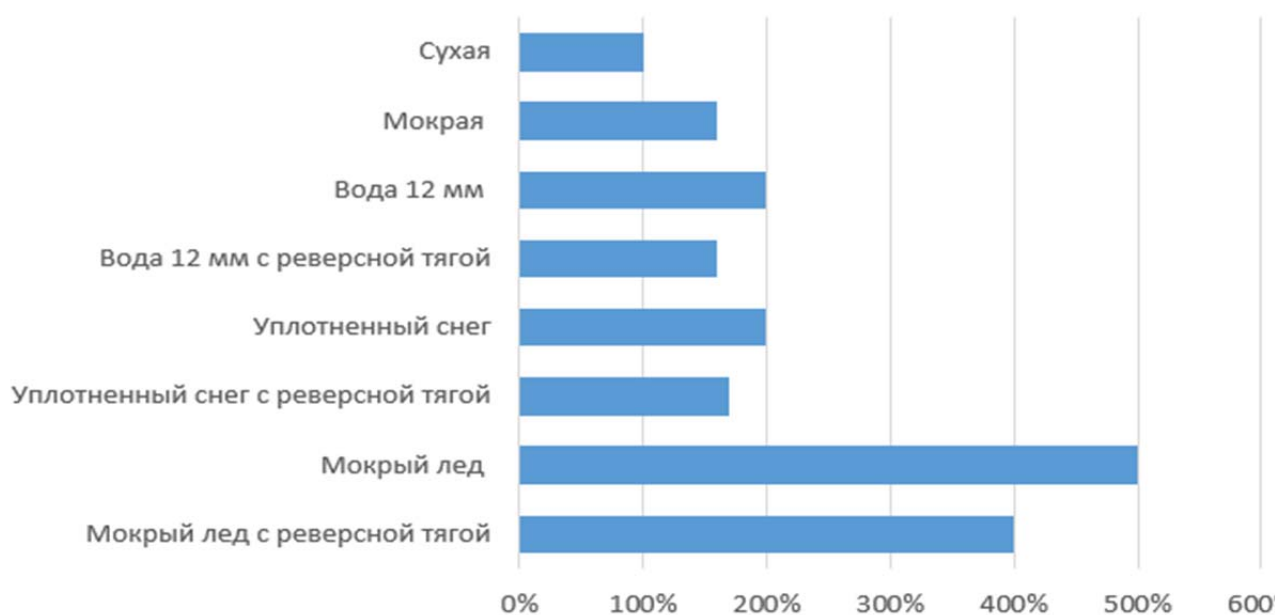
Система SmartRunway («умная ВПП») работает с существующим программным обеспечением (ПО) EGPWS Mark V и использует данные спутниковой навигационной системы (GPS) для выдачи рекомендаций на основе сравнения координат ВС с картой аэропорта, хранящейся в базе данных EGPWS.

Система SmartLanding («умная посадка») разработана для снижения риска несанкционированных выездов на ВПП. Согласно ста-

тистике АП за 2010–2020 года инциденты<sup>6</sup>, связанные с эксплуатацией в зоне аэропорта, и в частности несанкционированные выезды на ВПП, стали наиболее опасными и частыми событиями. Согласно данным NTSB (National Transportation Safety Board – Национальный совет по безопасности на транспорте) в США каждые 10 дней происходит как минимум один инцидент на ВПП. Система SmartLanding генерирует звуковые и текстовые сообщения на плановом навигационном приборе (HSI) при выявлении проблем во время посадки ВС, таких, например, как отклонение по высоте, превышение рекомендуемых пороговых значений скорости, неправильная посадочная конфигурация ВС, неверная настройка высотомера и др. Отметим, что для определения положения механизации и настройки высотомера система использует данные бортового компьютера.

В целом генерация сообщений системами SmartRunway и SmartLanding при появлении проблем на взлете/посадке обеспечивает экипажу возможность более спокойного пилотирования в «нормальном» режиме с перераспределением внимания от контроля приборов к анализу внешней обстановки, и способствует повышению стабильности выполнения всех процедур. В то же время RAAS и ее модификации при своем функционировании не учитывают возможное изменение обстановки в процессе посадки и реальную динамику ВС при движении по ВПП. Так, например, если при заходе на посадку Boeing 777-300ER в аэропорту Сочи (Адлер) на полосу 06/24 длиной 2895 м в условиях отсутствия ветра и дождя (в этих условиях RAAS одобрит посадку, так как длина ВПП соответствует требованиям безопасной посадки) начнется ливень, что уменьшит коэффициент сцепления до 0,5, и поднимется ветер курсом 60 градусов (попутный ветер в хвост) скоростью до 10 узлов (посадка в таких условиях допускается руководством по летной эксплуатации данного ВС (Flight Crew Manual)), то ожидаемая длина пробега увеличится с 1600 м на 130–150 % (рис. 1), что может стать причиной АП, поскольку во время пробега система не выдаст требования об уходе на вто-

<sup>10</sup> Flight crew manual for Boeing 777 [Электронный ресурс] // zlibrary. URL: <https://zlibrary.to/pdfs/boeing-777-flight-manual> (дата обращения: 10.06.2022).



**Рис. 1.** Усредненные данные ИКАО по влиянию состояния поверхности ВПП на дистанцию посадочного пробега для ВС среднего размера с реверсивными устройствами средней эффективности

**Fig. 1.** The average ICAO data with reference to the effect of the runway surface condition on the medium-sized aircraft landing roll distance with medium efficiency thrust reversers

рой круг, информируя экипаж только об остаточной длине ВПП и факте достижения конца полосы.

Несколько лет назад на основе системы RAAS корпорацией Boeing было выпущено обновление в виде ПО Runway Situation Awareness Tools (RSAT) [17], в котором дополнительно реализованы следующие функции:

- предварительный расчет посадочной дистанции;
- определение точки ухода на второй круг;
- расчет предельного перелета при приземлении;
- генерация звуковых сообщений на выполнение требуемых процедур.

ПО RSAT может быть установлено на бортовом планшете (Electronic Flight Bag (EFB)) или бортовом компьютере (FMC). Исходными данными для расчета являются:

- вес ВС;
- давление воздуха на высоте аэродрома;
- скорость ветра (встречного или попутного);
- уклон ВПП в процентах;
- температура воздуха;
- расчетная погрешность скорости захода;

- положение закрылков;
- состояние ВПП (сухая/загрязненная);
- выбранный режим торможения (autobrake);
- количество доступных для торможения реверсов;
- режим работы спойлеров (авто или ручной);
- координаты ВС в пространстве;
- абсолютная скорость ВС;
- курс ВС.

Результат расчета выводится на экране планшета в виде двух потребных дистанций (сухая и загрязненная полоса) и подгружается в бортовой компьютер для мониторинга положения ВС и точности захода. В случае не выдерживания точности захода (перелет точки касания) система выдает предупреждение и рекомендует уход на второй круг и попутно сообщает остаток длины ВПП.

Интеграция RSAT в пакет EFB (достаточно дорогая опция) ограничивает его использование авиакомпаниями. Кроме того, система по-прежнему не учитывает динамику движения ВС по ВПП.

Первой системой, непрерывно анализирующей динамику движения ВС по ВПП, стала система Runway Overrun Prevention System (ROPS)<sup>11</sup>, созданная Airbus в 2010 году для A380 и A350. Функционально ROPS делится на две подсистемы:

1) подсистему предупреждения о выкатывании с ВПП (Runway Overrun Warning (ROW));

2) подсистему защиты от выкатывания с ВПП (Runway overrun Protection (ROP)).

ROW активируется на высоте 500 футов и остается активной до касания ВС ВПП основными опорами шасси. Система рассчитывает посадочную дистанцию для сухой и мокрой ВПП и в случае недостаточной длины ВПП генерирует предупреждающие звуковые и визуальные сообщения. Исходными данными для ROPS являются:

- координаты ВС в пространстве;
- абсолютная скорость ВС;
- истинная скорость ВС;
- курс ВС;
- тип ВС и двигателя;
- вес ВС;
- температура наружного воздуха;
- конфигурация взлетно-посадочной механизации;
- скорость и направление ветра;
- центровка ВС;
- данные о состоянии полосы (сухая или мокрая).

ROP активируется по касанию ВС ВПП и остается активной до достижения скорости руления, прогнозируя по текущему значению ускорения ВС длину его пробега. В случае выхода прогнозируемого значения длины пробега за ограничения (возникновения риска выкатывания ВС за пределы ВПП) ROP генерирует:

1) визуальное предупреждение на PFD «*максимальное торможение, максимальный реверс*» (выводится красными буквами);

2) звуковое сообщение «*тормоз, максимальное торможение, максимальное тор-*

*можение*» повторяемое до обжатия пилотом педали тормоза;

3) звуковое сообщение «*установить максимальный реверс*» сменяет предыдущее сообщение после обжатия пилотом педали тормоза, если указанный режим не был установлен до этого момента;

4) звуковое сообщение «*держат максимальный реверс*» в случае сохранения риска выкатывания на скорости 70 узлов (рекомендуемой скорости отключения реверса).

Таким образом, ROPS обеспечивает прогноз посадочной дистанции начиная с высоты 500 футов (152 м) для двух состояний ВПП (сухой и мокрой) и контролирует точность рассчитанного прогнозного значения в процессе посадки, уточняя длину пробега исходя из текущего ускорения. Но точность прогноза, очевидно, зависит от точности исходных данных, особенно в части состояния ВПП, атмосферы и собственно ВС, а также от точности выполнения посадочных процедур экипажем, то есть от ключевых факторов, определяющих безопасность полета на посадке. Ниже дана оценка влияния обозначенных погрешностей на посадочную дистанцию:

- больший на 5 узлов попутный ветер, увеличивает посадочную дистанцию на 5 %;
- каждая лишняя секунда на этапе выдерживания увеличивает на 7 % длину посадочной дистанции
- каждая секунда задержки в начале торможения педалями добавляет 7 % к посадочной дистанции;
- задержка в три секунды при выборе максимального реверса на мокрой ВПП увеличивает посадочную дистанцию на 4 %;
- уменьшение коэффициента сцепления от прогнозируемого на 10 % увеличивает посадочную дистанцию на 4 %;
- невыпуск спойлеров может увеличить посадочную дистанцию более чем на 25 %.

Для иллюстрации возможных последствий влияния указанных факторов рассмотрим гипотетическую посадку самолета Airbus A350-900 в аэропорту Сочи (Адлер) на полосу 06/24 длиной 2895 м при допустимой по-

<sup>11</sup> Runway overrun prevention system (ROPS) [Электронный ресурс] // skybrary. URL: <https://skybrary.aero/articles/runway-overrun-prevention-system-rops> (дата обращения: 10.06.2022).

садочной массе, попутном ветре в 5 узлов и сухой ВПП. Посадка в таких условиях является безопасной, значит система ROPS не выдаст предупреждающих сообщений. Предположим, однако, что во время выравнивания начался сильный дождь (коэффициент сцепления снизился до 0,5) и ветер усилился до 10 узлов (подобные условия посадки находятся в рамках ограничения Flight crew manual)<sup>12</sup>. Исходя из данных рис. 1, длина пробега в этом случае возрастет на 130–150 %, что при средних значениях длины пробега A350-900 в 1500 м<sup>8</sup> может стать причиной АП. Риск выкатывания будет обнаружен ROPS во время пробега и потребует от экипажа или ухода на второй круг, или выполнения дополнительных действий по торможению ВС. Очевидно, что к подобной ситуации может привести не только резкое изменение погодных условий, но и некорректное определение коэффициента сцепления, а также неправильные (неточные) действия экипажа при управлении ВС. Как уже было отмечено выше, именно человеческий фактор в 45 % случаев является причиной АП. Поэтому перспективным представляется повышение точности систем подобных ROPS за счет:

- 1) учета при расчете прогнозного значения посадочной дистанции человеческого фактора;
- 2) использования реального значения коэффициента сцепления.

Для оценки (повышения) точности передаваемого на борт ВС значения коэффициента сцепления может быть задействована разработанная Airbus и Navblue функция Braking Action Computation Function (BACF) [18], обеспечивающая сбор, выдачу экипажу (диспетчерам УВД) и аккумулирование на специальном сервере данных об эффективности работы систем торможения ВС (спойлеры, реверс, колесные тормоза) на пробеге. Таким образом BACF позволяет авиакомпании и (или) аэропорту накапливать данные по торможению на всех

рейсах всех ВС, оперативно обнаруживая ошибки в определении коэффициента сцепления. Уже сегодня информация из системы BACF в режиме реального времени поступает в RunwaySense – сервис Navblue<sup>13</sup>, формирующий отчеты о состоянии ВПП вплоть до ее отдельных участков.

Очевидно, что оперативное использование данных RunwaySense при работе ROPS будет способствовать снижению риска выкатывания ВС за пределы ВПП. Для учета человеческого фактора при расчете прогнозного значения посадочной дистанции перспективным представляется подход, предложенный в [19]. Подход лежит в русле концепции подготовки персонала на основе анализа фактических данных (ЕВТ) и предполагает построение модели пилота для выявления ошибок пилотирования и прогнозирования возможных рисков в различных ситуациях полета, а также выявления потенциальных областей для улучшения и корректировки профессиональных компетенций пилота. Исходными данными для модели пилота являются данные средств объективного контроля ВС и тренажеров ВС. Очевидно, что развитие указанного подхода в части определения и учета при прогнозировании посадочной дистанции текущего психофизиологического состояния пилота позволит снизить долю человеческого фактора среди причин АП на посадке за счет более точного прогноза таких параметров, определяющих посадочную дистанцию, как время выдерживания ВС, моменты включения реверса и начала торможения, координаты точки касания ВС и др.

## Заключение

В настоящее время задача снижения количества авиационных событий, связанных с выкатыванием ВС является по-прежнему актуальной. Действенным способом решения указанной задачи является внедрение на бор-

<sup>12</sup> Aircraft flight crew. Maintenance manual for Airbus A350 [Электронный ресурс] // airbus. URL: <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2021-11/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A350-900-1000.pdf> (дата обращения: 10.06.2022).

<sup>13</sup> Runway overrun prevention system (ROPS+) [Электронный ресурс] // NAVBLUE. URL: <https://www.navblue.aero/products/rops-plus/> (дата обращения: 10.06.2022).

ту ВС систем, обеспечивающих информирование экипажа о нештатных ситуациях во время выполнения взлета/посадки и необходимых для предотвращения АП в этих ситуациях действиях экипажа. Указанные системы постоянно совершенствуются и в настоящее время являются весомым фактором, способствующим обеспечению безопасности полета на взлете/посадке, осуществляя непрерывный расчет прогнозных значений посадочной дистанции ВС во время посадки. Однако до последнего момента данные системы не учитывали в должной мере два важнейших фактора, определяющих риск выкатывания ВС за пределы ВПП: человеческий фактор и коэффициент сцепления. Поэтому перспективным представляется разработка методик, алгоритмов и программного обеспечения, обеспечивающий учет в необходимой степени указанных факторов в работе бортовых систем предотвращения выкатываний ВС за пределы ВПП.

## Список литературы

1. **Shao Q.** Fire risk analysis of runway excursion accidents in high-plateau airport / Q. Shao, M. Yang, C. Xu, H. Wang, H. Liu [Электронный ресурс] // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 204400–204416. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3035894 (дата обращения: 10.06.2022).
2. **Ayra E.S., Insua D.R., Cano J.** Bayesian network for managing runway overruns in aviation safety [Электронный ресурс] // Journal of aerospace information systems. 2019. Vol. 16, no. 12. Pp. 546–558. DOI: 10.2514/1. I010726 (дата обращения: 10.06.2022).
3. **Valdes R.M.A.** The development of probabilistic models to estimate accident risk (due to runway overrun and landing undershoot) applicable to the design and construction of runway safety areas / R.M.A. Valdes, F.G. Comendador, L.M. Gordun, F.J.S. Nieto // Safety Science. 2011. Vol. 49, iss. 5. Pp. 633–650. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.09.020
4. **Heymsfield E.** Predicting aircraft stopping distances within an EMAS // Journal of Transportation Engineering. 2013. Vol. 139, iss. 12. Pp. 1184–1193. DOI:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000600
5. **Heymsfield E., Hale W.M., Halsey T.L.** Aircraft response in an airfield arrestor system during an overrun // Journal of Transportation Engineering. 2012. Vol. 138, iss. 3. Pp. 284–292. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000331
6. **Gandhewar P., Hemantkumar S.** Runway excursion: A problem // Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2014. Vol. 11. Pp. 75–78. DOI: 10.9790/1684-11327578
7. **Белогрудова Д.Ю., Сайфутдинов Р.А.** Автоматизированные системы предупреждения опасности выкатывания воздушных судов за границы взлетно-посадочной полосы // Вестник УлГТУ. 2021. № 2 (94). С. 55–60.
8. **Hindson W.S.** A Pilot rating scale for evaluating failure transients in electronic flight control systems [Электронный ресурс] // In: 17th Atmospheric Flight Mechanics Conference, 20–22 August 1990, Portland, OR, U.S.A. DOI: 10.2514/6.1990-2827 (дата обращения: 10.06.2022).
9. **Gawron V.J.** Human performance, workload, and situational awareness measures handbook. 2nd ed. Florida: CRC Press, 2008. 296 p. DOI: 10.1201/9781420064506
10. **Мозоляко А.В., Акимов А.Н., Воробьев В.В.** Проблемы предотвращения выкатывания гражданских воздушных судов на этапе пробега по ВПП // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 204. С. 74–77.
11. **Коваленко Г.В., Жданович А.М.** Методика предотвращения выкатывания тяжелых воздушных судов с ВПП // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2017. № 3 (16). С. 16–32.
12. **Евдокимова Т.А., Бузаева С.В., Шагарова А.А.** Оценка влияния неблагоприятных метеорологических условий на работу диспетчера ОРВД // Символ науки: международный научный журнал. 2022. № 9-1. С. 64–69.
13. **Ong G.P., Fwa T.F.** Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: Modeling // Journal of Transportation Engineering. 2007.

Vol. 133, iss. 10. Pp. 113–125. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2007)133:10(590)

**14. Baby C.K., George B.** A capacitive ice layer detection system suitable for autonomous inspection of runways using an ROV // In: 2012 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments Proceedings. Magdeburg, Germany, 2012. Pp. 127–132. DOI: 10.1109/ROSE.2012.6402627

**15. Белогрудова Д.Ю., Сайфутдинов Р.А.** Метод прогнозирования авиационных происшествий в системе менеджмента безопасности авиационной деятельности // Вестник УлГТУ. 2021. № 1 (93). С. 49–54.

**16. Бородин С.Ф.** Современные методы предотвращения выкатываний воздушных судов за пределы взлетно-посадочной полосы / С.Ф. Бородин, А.И. Волынчук, Ш.Ф. Ганиев, М.А. Киселев, И.А. Носатенко // Научный Вестник МГТУ ГА. 2022. Т. 25, № 2. С. 8–19. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-2-8-19

**17. Goodwill S.** Runway situation awareness tools (RSAT) [Электронный ресурс] // Flight Technical and Safety the Boeing Company 2014. URL: [https://www.icao.int/SAM/Documents/2014-UNSTAPPCH/BOEING%20Runway%20situation%20awareness%20tools%20\(RSAT\).pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/2014-UNSTAPPCH/BOEING%20Runway%20situation%20awareness%20tools%20(RSAT).pdf) (дата обращения: 10.06.2022).

**18. Tuncal A., Uslu S., Erdal D.** A milestone to enhance runway safety: the new global reporting format // Revista de Investigaciones Universidad del Quindío. 2021. Vol. 33. Pp. 168–178. DOI: 10.33975/riuq.vol33n1.551

**19. Барабаш А.Д.** Методика повышения уровня безопасности полетов на основе модели пилота / А.Д. Барабаш, С.Ф. Бородин, М.А. Киселев, Ю.В. Петров // Научный Вестник МГТУ ГА. 2021. Т. 24, № 3. С. 8–20. DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-3-8-20

## References

**1. Shao, Q., Yang, M., Xu, C., Wang, H., Liu, H.** (2020). Fire risk analysis of runway excursion accidents in high-plateau airport. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 204400–204416. DOI:

10.1109/ACCESS.2020.3035894 (accessed: 10.06.2022).

**2. Ayra, E.S., Insua, D.R., Cano, J.** (2019). Bayesian network for managing runway overruns in aviation safety. *Journal of aerospace information systems*, vol. 16, no. 12, pp. 546–558. DOI: 10.2514/1.I010726 (accessed: 10.06.2022).

**3. Valdes, R.M.A., Comendador, F.G., Gordun, L.M., Nieto, F.J.S.** (2011). The development of probabilistic models to estimate accident risk (due to runway overrun and landing undershoot) applicable to the design and construction of runway safety areas. *Safety Science*, vol. 49, issue 5, pp. 633–650. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.09.020

**4. Heymsfield, E.** (2013). Predicting aircraft stopping distances within an EMAS. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 139, issue 12, pp. 1184–1193. DOI:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000600

**5. Heymsfield, E., Hale, W.M., Halsey, T.L.** (2012). Aircraft response in an airfield arrestor system during an overrun. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 138, issue 3, pp. 284–292. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000331

**6. Gandhewar, P., Hemantkumar, S.** (2014). Runway excursion: A problem. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 11, pp. 75–78. DOI: 10.9790/1684-11327578

**7. Belogrudova, D.Y., Saifutdinov, R.A.** (2021). Automated systems for preventing the danger of running air-craft over the border of a running. *Bulletin of Ulyanovsk State Technical University*, no. 2 (94), pp. 55–60. (in Russian)

**8. Hindson, W.S.** (1990). A pilot rating scale for evaluating failure transients in electronic flight control systems. In: *17th Atmospheric Flight Mechanics Conference*, 20–22 August 1990, Portland, OR, U.S.A. DOI: 10.2514/6.1990-2827 (accessed: 10.06.2022).

**9. Gawron, V.J.** (2008). Human performance, workload, and situational awareness measures handbook. 2nd ed. CRC Press, Florida, 296 p. DOI: 10.1201/9781420064506

**10. Mozolyako, A.V., Akimov, A.N., Vorobyev, V.V.** (2014). Status and development of runway overrun prevention systems.

*Nauchnyy Vestnik MGTU GA*, no. 204, p. 74–77. (in Russian)

**11. Kovalenko, G.V., Zhdanovich, A.M.** (2017). The method avoidance runway overrun of heavy transport aeroplane. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoj aviatsii*, no. 3 (16), pp. 16–32. (in Russian)

**12. Evdokimova, T.A., Buzaeva, S.V., Shagarova, A.A.** (2022). Impact assessment of adverse meteorological conditions on the work of the ATC. *Symbol of Science: International Scientific Journal*, no. 9-1, pp. 64–69. (in Russian)

**13. Ong, G.P., Fwa, T.F.** (2007). Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: Modeling. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 133, issue 10, pp. 113–125. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2007)133:10(590)

**14. Baby, C.K., George, B.** (2012). A capacitive ice layer detection system suitable for autonomous inspection of runways using an ROV. In: *2012 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments Proceedings. Magdeburg, Germany*, pp. 127–132. DOI: 10.1109/ROSE.2012.6402627

**15. Sayfutdinov, R.A., Belogradova, D.Y.** (2021). Method for forecasting aviation

accidents in the system of safety management of aviation activities. *Bulletin of Ulyanovsk State Technical University*, no. 1 (93), pp. 49–54. (in Russian)

**16. Borodkin, S.F., Volynchuk, A.I., Ganiev, Sh.F., Kiselev, M.A., Nosatenko, I.A.** (2022). Modern methods of preventing aircraft overrunning the runway. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 25, no. 2, pp. 8–19. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-2-8-19

**17. Goodwill, S.** (2014). Runway situation awareness tools (RSAT). *Flight Technical and Safety the Boeing Company*. Available at: [https://www.icao.int/SAM/Documents/2014-UNSTAPPCH/BOEING%20Runway%20situation%20awareness%20tools%20\(RSAT\).pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/2014-UNSTAPPCH/BOEING%20Runway%20situation%20awareness%20tools%20(RSAT).pdf) (accessed: 10.06.2022).

**18. Tuncal, A., Uslu, S., Erdal, D.** (2021). A milestone to enhance runway safety: the new global reporting format. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, vol. 33, pp. 168–178. DOI: 10.33975/riuq.vol33n1.551

**19. Barabash, A.D., Borodkin, S.F., Kiselev, M.A., Petrov, Yu.V.** (2021). Flight safety level improvement methodology based on the pilot model. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 24, no. 3, pp. 8–20. DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-3-8-20

## Сведения об авторах

**Бородкин Сергей Филиппович**, кандидат технических наук, доцент кафедры аэродинамики конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, [s.borodkin@mstuca.aero](mailto:s.borodkin@mstuca.aero).

**Волинчук Алексей Игоревич**, аспирант кафедры аэродинамики конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, [aleksej\\_vol@mail.ru](mailto:aleksej_vol@mail.ru).

**Киселев Михаил Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой аэродинамики конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, [m.kiselev@mstuca.aero](mailto:m.kiselev@mstuca.aero).

**Петров Юрий Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики и инженерной графики МГТУ ГА, [doctor561@rambler.ru](mailto:doctor561@rambler.ru).

## Information about the authors

**Sergey F. Borodkin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aerodynamics, Design and Aircraft Strength Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, [s.borodkin@mstuca.aero](mailto:s.borodkin@mstuca.aero).

**Alexey I. Volynchuk**, Postgraduate Student of the Aerodynamics, Design and Aircraft Strength Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, [aleksej\\_vol@mail.ru](mailto:aleksej_vol@mail.ru).

**Mikhail A. Kiselev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, The Head of the Aerodynamics, Design and Aircraft Strength Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, m.kiselev@mstuca.aero.

**Yuriy V. Petrov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, The Head of the Technical Mechanics and Engineering Graphics Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, doctor561@rambler.ru.

Поступила в редакцию 30.12.2022  
Принята в печать 25.05.2023

Received 30.12.2022  
Accepted for publication 25.05.2023