



### Литература

1. Козлов, А.Ю. Информационная поддержка принятия решений при управлении организационно-технической системой [Текст] / Современные информационные технологии. Выпуск №10 // А.Ю. Козлов, Р.А. Стройков. – Пенза: ПГТА, 2009. – с. 84...85.
2. Ерусалимский, Я.М. Дискретная математика: теория, задачи, упражнения. 3-е издание [Текст]. – М.: Вузовская книга, 2000. – 280 с.
3. Губко, М.В. Математические модели оптимизации иерархических структур [Текст]. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 264 с.

Н.В. Решетникова, И.Г. Криволапчук

### СИСТЕМА ТОРМОЖЕНИЯ С ОПТИМИЗАЦИЕЙ ОСВОБОЖДЕНИЯ ВПП

(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения)

Высокая загруженность крупных аэропортов является одной из серьезных проблем современной гражданской авиации. Анализ трафика наиболее загруженных аэропортов[1] показывает, что достаточно часто их деятельность происходит с временными соотношениями близкими к минимально допустимым. В особенности это проявляется при выполнении посадочных операций, так как здесь взаимное влияние воздушного и наземного трафика выражено более сильно.

Согласно федеральными авиационными правилами США (документ Ю 7110.65) минимальный продольный интервал на посадочной прямой для воздушных судов (ВС) среднего класса установлен равным 3 nm (навигационным милям). Российские нормативные документы[2] устанавливают минимально допустимую дистанцию 5 км, что составляет примерно 2.7 nm. Во временном выражении интервал для диапазона скоростей захода на посадку 230÷270 км/ч составляет 65÷80 с. За это время ВС должно приземлиться, закончить торможение и освободить взлётно-посадочную полосу или уйти на минимально допустимую дистанцию от входного порога на момент прохода над ним следующего ВС. В случае невыполнения перечисленных условий посадка очередному борту будет запрещена. Очевидно, что для исключения сбоев на завершающем участке полёта необходимо каким-то образом оптимизировать движение ВС на этапе пробега и освобождения взлётно-посадочной полосы. Так как регламентирующие документы УВД не предполагают вмешательство диспетчера на этом этапе, решение проблемы возлагается на экипаж или системы управления ВС.

Рассмотрим часть инфраструктуры аэродрома, связанной с посадкой, пробегом и последующим рулением. Для региональных аэропортов со сравнительно низкой интенсивностью полётов характерна конфигурация, показанная на рис.1а. В этом варианте единственная взлетно-посадочная полоса (ВПП) соединяется одной-двумя рулёжными дорожками (РД) с перроном. Рулёжные до-



рожки также могут располагаться вблизи торцов ВПП, образуя петли для разворота ВС и для возможного ожидания освобождения ВПП. Отличительной чертой аэропортов с интенсивным движением является наличие так называемых магистральных рулѐжных дорожек (МРД), располагающихся параллельно ВПП и служащих для быстрого перемещения ВС (рис.1б). Если для обычных РД разрешенная скорость руления составляет 10-20 км/ч, то для магистральных РД разрешенная скорость руления составляет 50-60 км/ч. Магистральная дорожка соединена с ВПП рядом соединительных РД в местах наиболее вероятного окончания пробега. Часть РД выполняется в виде так называемых скоростных, давая возможность освободить ВПП на повышенной скорости.

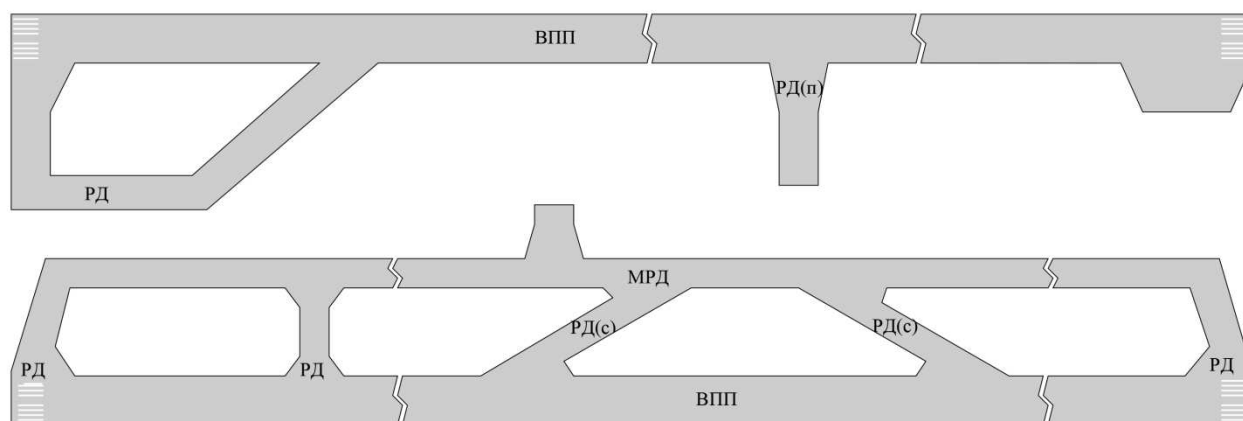


Рис. 1. Элементы инфраструктуры аэродрома

Таким образом, решение задачи по оптимизации движения ВС на пробеге может быть сведено к обеспечению возможности достижения требуемой скорости вблизи от точки соединения РД с ВПП. Наиболее распространенные в настоящий момент системы автоматического торможения не обеспечивают такой возможности. Алгоритм их работы сводится к поддержанию заданного фиксированного значения замедления для зарубежных систем[3] (3-4 ступени для ВС типа Boeing 737 или Airbus A320) или торможению с максимальным развиваемым замедлением при ограничении давления в тормозной магистрали для отечественных (2-3 уровня для ВС Ту-2х4 и Ту-334). Для получения нужного результата требуется система, реализующая торможение по некоторой программе, формируемой при посадке на конкретную ВПП. Создать такую программу – профиль торможения – возможно только на основе информации о положении ВС относительно выходов на РД. Следовательно, необходима интеграция системы управления торможением с основной системой самолѐтовождения[4,5]. Имеющаяся в этой системе навигационная база позволит получать информацию о расположении РД, а средства позиционирования – о положении ВС относительно этих дорожек.

Структура предлагаемой системы представлена на рис.2. На рисунке приняты следующие обозначения: САТ – селектор-датчик системы автоматического торможения, БУИ – блок управления и индикации, КСЭИС – индикатор комплексной системы электронной индикации и сигнализации, СГП – оборудо-



вание системы глобального позиционирования, ВСС – вычислительная система самолетовождения, БОС – блок оценки и селекции, БРКЗ – блок расчета и коррекции замедления, К – коммутатор задатчика замедления, БУТ/АБ – блок управления торможением и антиблокировочная система, КТ – колесные тормоза, ИОС – инерциальная опорная система.

Как видно из рисунка, система состоит из трёх функциональных секций: контура управления торможением с системой предотвращения блокировок колёс, вычислительной системы, формирующей программу торможения, и интерфейса с экипажем. Основное отличие от существующих систем состоит в интеграции системы торможения и ВСС.

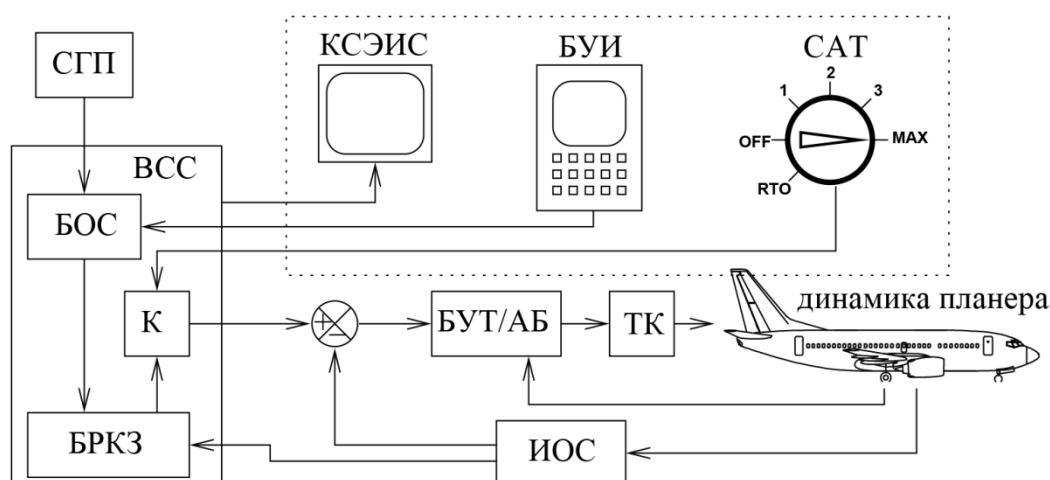


Рис. 2. Структура системы автоматического торможения

Для построения профиля торможения необходимо определить границы допустимых значений ускорения. При определении нижней границы будем рассматривать процесс торможения как равноускоренное (равнозамедленное) движение, используя базовые уравнения движения. Тогда величина минимального потребного ускорения будет определяться выражением

$$a_{\text{потрmin}} = -\frac{V_{HT}^2 - V_P^2}{2L_m},$$

где  $V_{HT}$  – скорость начала торможения,  $V_P$  – скорость руления,  $L_m$  – дистанция торможения, определяемая по координатам самолета, получаемым основным полетным компьютером от систем спутниковой и инерциальной навигации, и координатам точек начала руления из навигационной базы данных. В качестве верхней границы допустимых ускорений может быть принято минимальное из трёх значений: ускорение, определяемое задатчиком системы автоматического торможения; максимально допустимое ускорение по условиям комфорта пассажиров; максимальное располагаемое ускорение, определяемое погодными условиями и сцеплением колёс с ВПП.

Процесс расчета потребных ускорений и селекции рулѐжных дорожек, для которых возможно выполнить автоматическое торможение по заданным условиям, иллюстрирует рис.3. После приземления в точке “П” производится



оценка качества сцепления и величины развиваемого замедления. Данная оценка может быть получена по результатам обработки информации, получаемой в процессе приземления[6], или на основании информации АТИС, содержащей оценку коэффициента сцепления. Здесь же происходит выпуск аэродинамических средств торможения, способствующих более полному прижатию ВС к поверхности ВПП и начальному снижению скорости. При достижении скорости начала работы колёсных тормозов (точка “НТ”) -  $V < 250$  км/ч, блоком БОС производится оценка положения ВС на ВПП относительно располагаемых или заданных целевых точек и предварительная селекция рулѐжных дорожек по списку, сформированному экипажем на пульте БУИ, или полному списку для используемой ВПП. В примере на рисунке для скоростной дорожки РД1 минимальное потребное ускорение (красная линия) оказывается больше, чем допустимый лимит (пунктирная линия). Для дорожки РД2 (зеленая линия) условие выполнимо, и для нее может быть построен профиль торможения с выходом на заданную рулѐжную скорость в точке входа в поворот на РД.

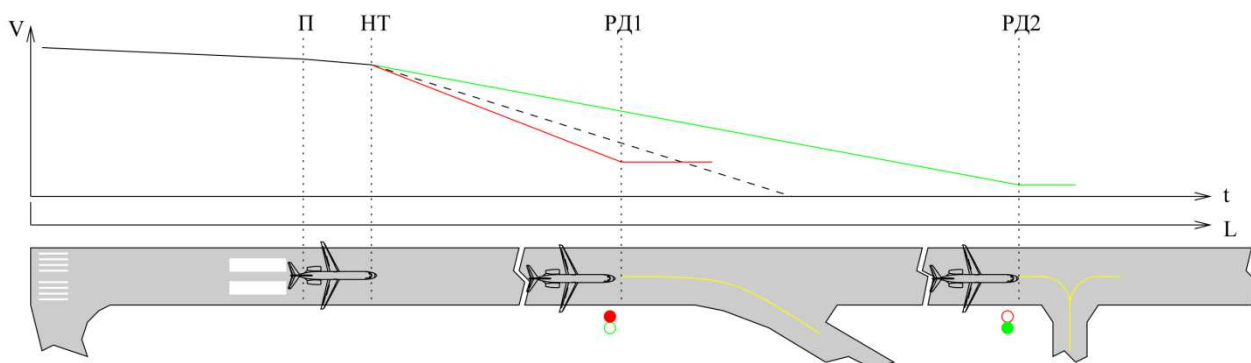


Рис. 3. Селекция РД по потребному замедлению

Для первой отобранной точки блоком БРКЗ формируется профиль торможения с учетом применения всех доступных средств, условно разделяемый на “быстрый” и “медленный” участки. На первом участке производится интенсивное снижение скорости до уровня  $\sim 100$  км/ч, при котором происходит выключение реверсивных устройств авиадвигателей и перестает оказывать заметное влияние аэродинамика планера, включая и средства торможения (спойлеры). Второй участок предполагает плавное снижение замедления до нулевого уровня с достижением заданного значения рулѐжной скорости в целевой точке.

В процессе пробеге БРКЗ отслеживает следование ВС программе торможения, корректируя её при необходимости. Если обнаруживается невозможность выполнения текущей программы, происходит переход к следующей возможной точке освобождения ВПП с перерасчетом профиля торможения. Экипаж ВС сохраняет стандартную возможность перевода системы в “ручной” режим обжатием тормозных педалей.

При использовании на аэродромах с развитой инфраструктурой рулѐжных дорожек описываемая система позволяет не только повысить стабильность посадочного трафика за счет более эффективного торможения, но



и существенно сократить избыточный пробег, тем самым положительно влияя на экологическую обстановку, экономию топлива и ресурса авиадвигателей за счет исключения увеличения режимов для обеспечения последующего движения. На аэродромах, соответствующих структуре рис.1а, при благоприятном сочетании направления посадки и расположения перронной РД возможно существенное сокращение дистанции руления. Кроме того, система позволяет несколько повысить комфорт пассажиров за счет более плавного торможения и сократить нагрузку на экипаж в процессе пробега.

### Литература

1. Airports Council International, <http://www.aci.aero/Data-Centre>
2. Федеральные авиационные правила “Организация воздушного движения в Российской Федерации”, 3-я редакция от 12.05.2014 г.
3. Brady Chris, The Boeing 737 Technical Guide. Tech Pilot Services Ltd., 2009.
4. Krivolapchuk I., The designing concept of a plane's braking control system. Proc 5<sup>th</sup> Int. Conf. Advanced Computer Systems. Szczecin, Poland, Nov 19-20, 1998, pp. 382-389.
5. Aircraft stop-to-position autobrake control system. US Patent № 5968106, Oct. 19, 1999.
6. Krivolapchuk I., Plane's braking system adaptation to the landing conditions. Proc 7<sup>th</sup> Int. Conf. Advanced Computer Systems. Szczecin, Poland, Oct 23-25, 2000, pp. 282-285.

Н.В. Рузанов, В.А. Печенин, М.А. Болотов, И.А. Грачев

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева)

Контроль геометрических параметров деталей является необходимым условием для создания качественной продукции авиационной отрасли. Эффективность этапа контроля напрямую влияет на эффективность всего производственного цикла изготовления продукции – от производства составных узлов до конечной сборки готового изделия. Точность измерений и скорость их проведения являются одними из ключевых параметров контроля геометрической формы деталей. Для повышения данных параметров все большее применение находят координатно – измерительные машины (КИМ), которые позволяют достичь высокой точности измерения и зачастую способны автоматизировать процесс проведения измерения. В настоящее время наибольшее распространение получили координатно – измерительные машины контактного типа. Прин-