

УДК 629.783:629.7.07

© В. И. Бабуров, Т. Б. Гальперин, А. В. Маслов, А. А. Рогова, О. И. Саута, 2015

Расширение функциональных возможностей бортовой системы предупреждения столкновения летательного аппарата с землей

Рассмотрены дополнительные функции бортовой системы предупреждения столкновения летательного аппарата с землей: своевременный переход от отображения угловых отклонений от глиссады к отображению линейных отклонений при посадке и движении после приземления; формирование речевого предупреждения о недопустимом боковом отклонении от оси взлётно-посадочной полосы при пробеге; отображение озвучиваемых значений оставшегося расстояния до конца взлётно-посадочной полосы, проекций векторов требуемого и фактического торможения, параллельных оси взлётно-посадочной полосы, и расчётной точки остановки летательного аппарата.

Ключевые слова: система предупреждения столкновения летательного аппарата с землей, система информационного оповещения о приближении к взлётно-посадочной полосе, отклонения от плоскостей курса и глиссады.

В аэропортах с большой интенсивностью движения наибольший риск возникновения аварийных ситуаций существует при посадке летательных аппаратов (ЛА) на взлётно-посадочную полосу (ВПП). Ведущими зарубежными фирмами – изготовителями авионики по этому вопросу в минувшем десятилетии был получен ряд патентов [1-4]. Особое внимание уделяется функции системы информационного оповещения о ВПП (*RAAS – Runway Awareness and Advisory System*) на конечном участке захода на посадку. Оповещения формируются при выполнении определённых условий по дальности до середины порога ВПП [5], высоте ЛА над ВПП и заданному диапазону углов снижения.

Способ [6], существенно развивающий способы [1-4], на этапе полёта до граничной высоты формирует адаптированное к типу ЛА оповещение о выборе ВПП, а также предупреждения об отклонениях ЛА от заданной траектории и об отклонениях прогнозируемой точки посадки от заданной.

Однако на следующих этапах посадки – полёте ниже граничной высоты, приземлении и движении по ВПП – способ [6], обобщённая блок-схема которого приведена на рис. 1, недостаточно надёжен в связи с отсутствием определения и отображения с достаточной точностью отклонений ЛА от заданной траектории посадки (далее – глиссады) и от оси ВПП, так как не рассматривался вопрос снижения точности определения отклонений ЛА от заданной глиссады в угловых единицах, традиционно отображаемых на приборной доске, например,

вертикальной (курсовой) и горизонтальной (глиссадной) планками на приборе навигационном плановом (ППП). Этот вопрос актуален для спутниковых систем посадки, в которых ошибка вычисления угловых отклонений увеличивается по мере приближения ЛА к порогу ВПП, при постоянном значении среднеквадратической ошибки определения координат ЛА навигационной системой. Решение этой проблемы подробно рассматривается в [7].

Авторами предложен способ оповещения о расположении ЛА относительно ВПП при заходе на посадку и при движении после приземления, запатентованный в [8] (рис. 2, 3).

На основе информации о динамическом состоянии ЛА, полученной от его бортовых датчиков, и информации аэронавигационной базы данных выбирается ВПП для захода на посадку. Для ВПП, над которыми при снижении ЛА не достигнута граничная высота, проверяются условия оповещения о выборе нескольких ВПП и в случае выполнения этих условий выдается оповещение. После выбора одной ВПП и достижения ЛА граничной высоты выполняется расчёт расстояния до конца ВПП по информации бортовых датчиков и базы данных, и после прохождения половины ВПП формируется оповещение об оставшемся расстоянии до конца ВПП.

В случае отсутствия сигнала «шасси опущено» на основании информации от бортовых датчиков о координатах ЛА, информации от пилота о номере назначенной для посадки ВПП и информации аэронавигационной базы данных о параметрах ВПП рассчитываются па-

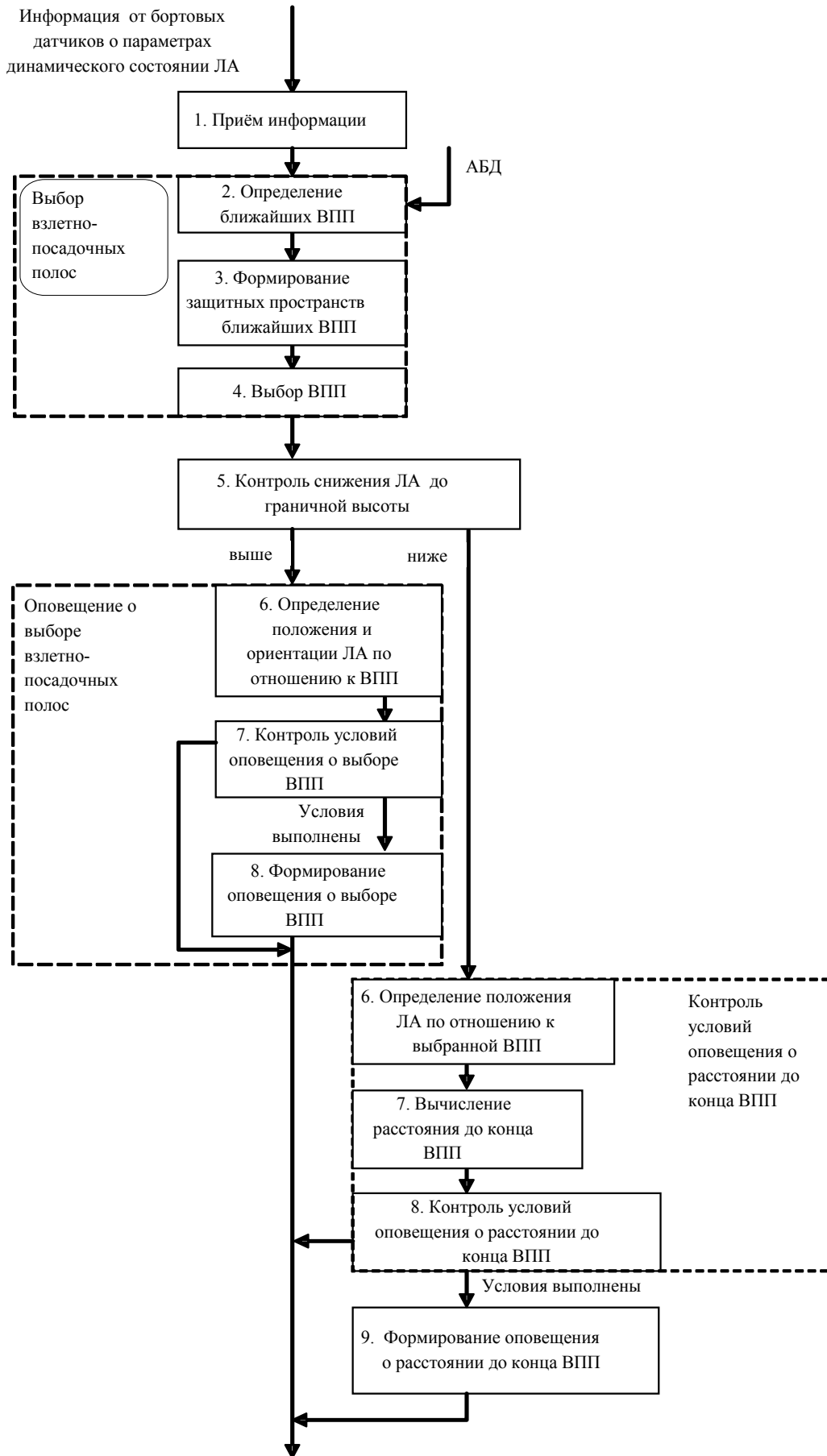
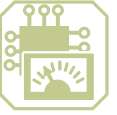


Рис. 1. Блок-схема алгоритма выдачи оповещений при заходе на посадку и при движении по ВПП после приземления





Информация от бортовых датчиков о параметрах динамического состояния ЛА

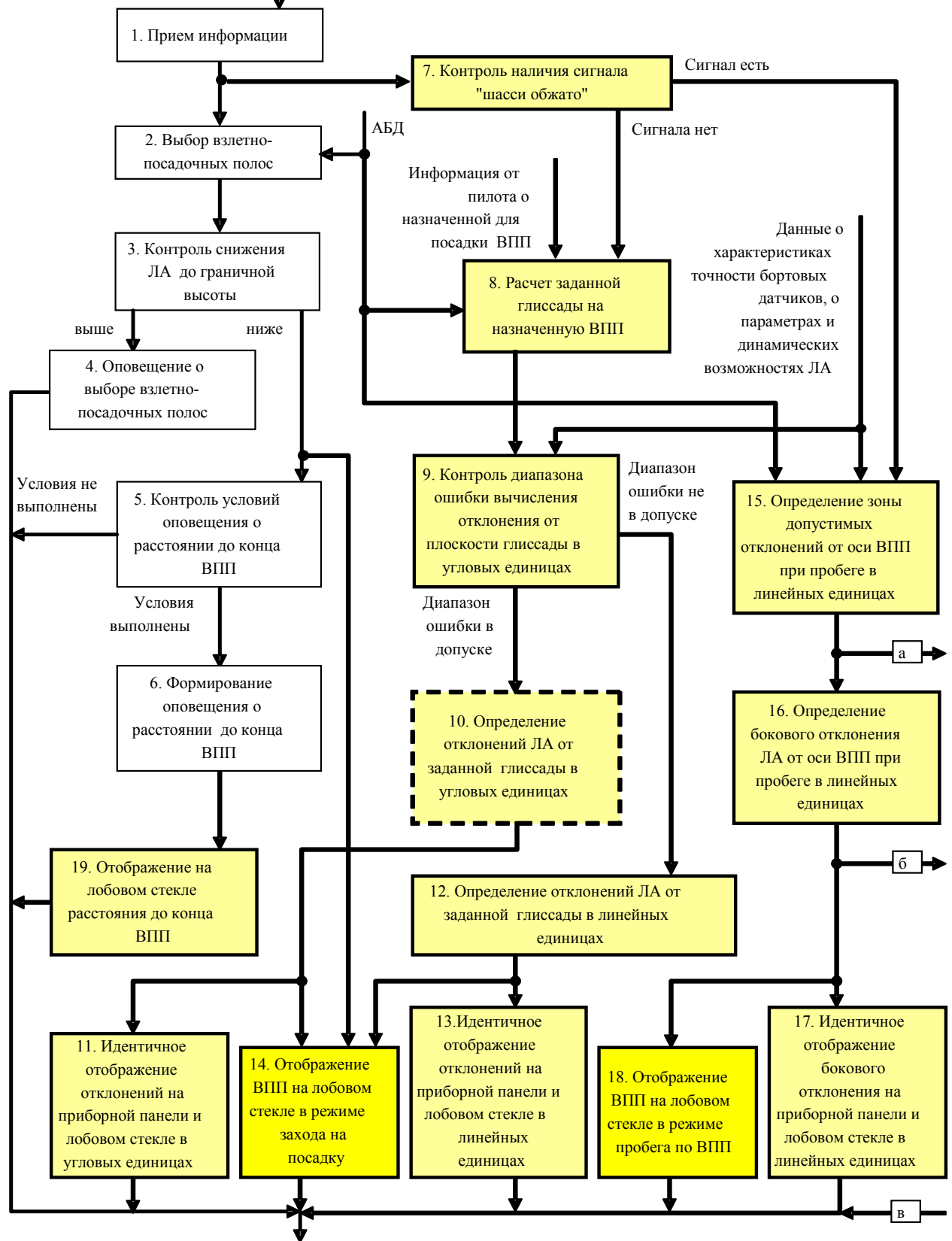


Рис. 2. Блок-схема усовершенствованного алгоритма работы авиационной бортовой системы

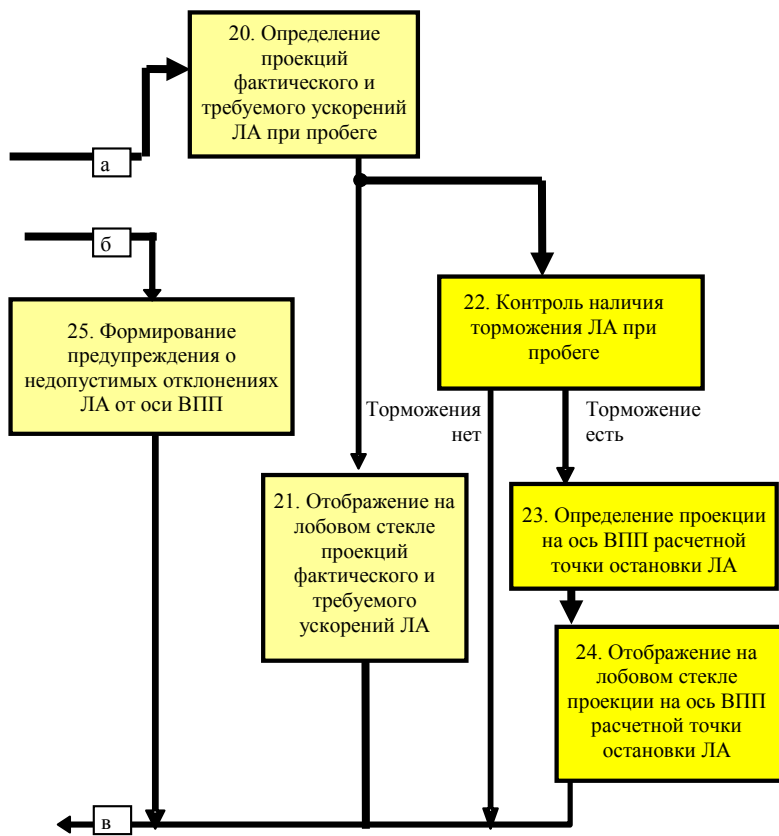


Рис. 3. Блок-схема усовершенствованного алгоритма работы авиационной бортовой системы (продолжение рис. 2)

раметры глиссады для выбранной ВПП.

Затем определяется граничное расстояние до порога ВПП, на котором диапазон относительной ошибки определения углового отклонения ВС от плоскостей курса и глиссады начинает превышать допустимую величину. До достижения граничного расстояния отклонения ЛА от плоскостей курса и глиссады определяются в угловых, а после достижения граничного расстояния – в линейных единицах.

В кабине индицируется признак выдачи линейных отклонений от заданной глиссады. При наличии сигнала «шасси обжато» на основе информации аэронавигационной базы данных, параметров и динамических возможностей ЛА определяется зона допустимых боковых отклонений от оси ВПП в линейных единицах. Боковые отклонения ЛА от оси ВПП, вычисленные в линейных единицах, отображаются на приборной панели и на лобовом стекле в идентичных графических ориентирах.

До приземления как угловое, так и линейное отклонение ЛА от заданной глиссады, отображаются на приборной панели, например, на

работающем в режиме посадки ПНП, в котором боковое отклонение ЛА от плоскости курса отображается положением курсовой планки, а отклонение ЛА от плоскости глиссады отображается положением глиссадной планки (рис. 4–6).

После приземления боковое отклонение ЛА от оси ВПП отображается на приборной панели в линейных единицах и на лобовом стекле – положением курсовой планки (рис. 7) в виде ПНП, работающего в режиме навигации.

Ниже граничной высоты и до момента остановки после пробега по ВПП на лобовом стекле, помимо отклонений ЛА от заданной глиссады и оси ВПП, отображается вид ВПП, соответствующий реальному виду ВПП из кабины. При нулевом боковом отклонении отображение ВПП имеет вид равнобедренной

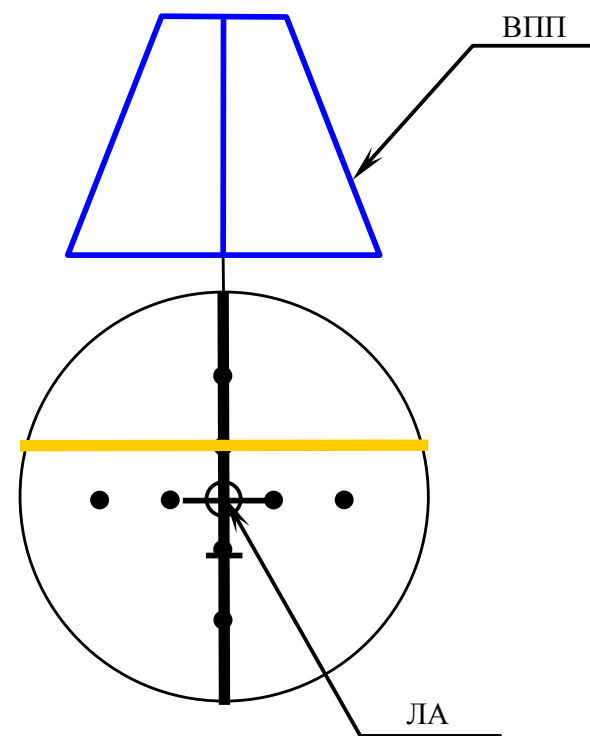


Рис. 4. Изображение на лобовом стекле ЛА с нулевым угловым боковым отклонением и с угловым отклонением вниз от глиссады



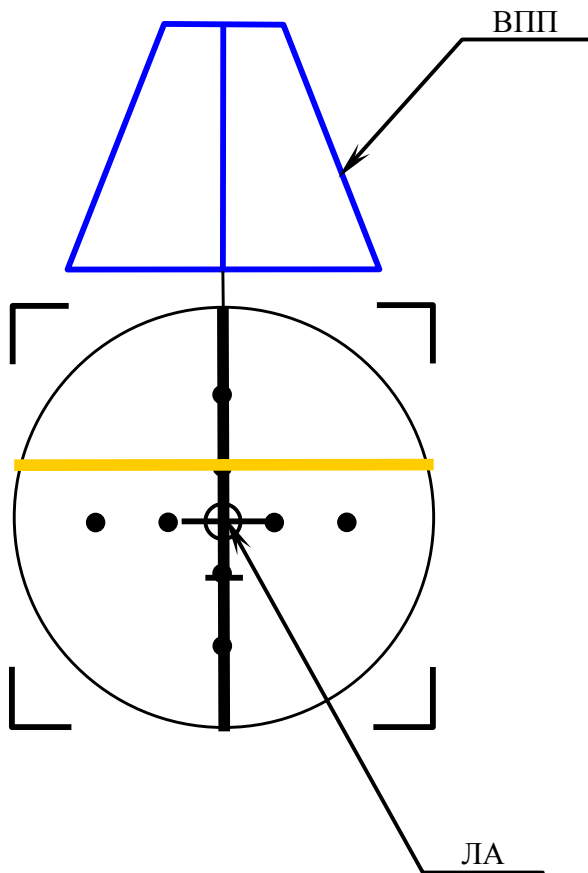
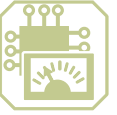


Рис. 5. Изображение на лобовом стекле ЛА на конечном участке с нулевым линейным боковым отклонением и с линейным отклонением вниз от глissады

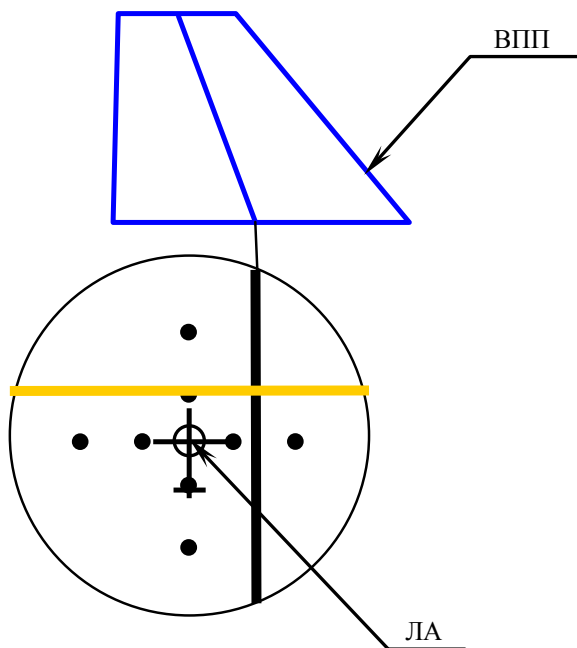


Рис. 6. Изображение на лобовом стекле ЛА на конечном участке с угловым отклонением влево и вниз от заданной глissады

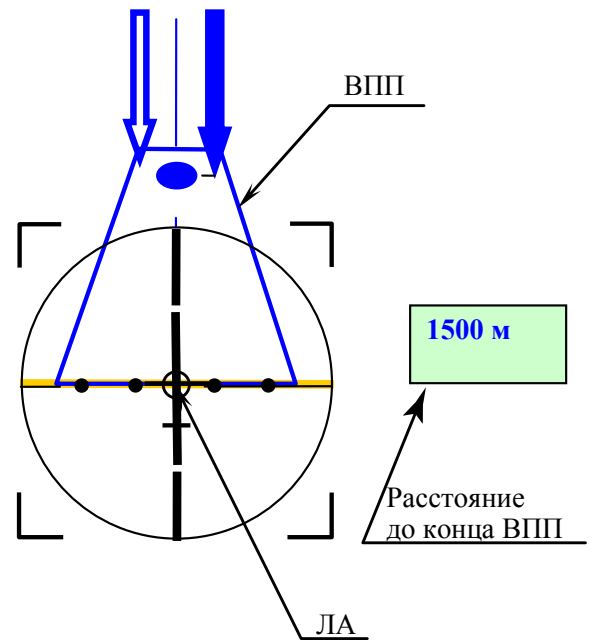


Рис. 7. Изображение на лобовом стекле ЛА при пробеге с достаточным по величине торможением и нулевым линейным боковым отклонением от оси ВПП трапеции, ось симметрии которой представляет собой ось ВПП, а середина основания лежит на одной вертикали с отображением курсовой планки. В случае ненулевого линейного бокового отклонения отображение ВПП имеет вид неравносторонней трапеции, середина основания которой лежит на одной вертикали с отображением курсовой планки при ненулевом линейном боковом отклонении (рис. 8).

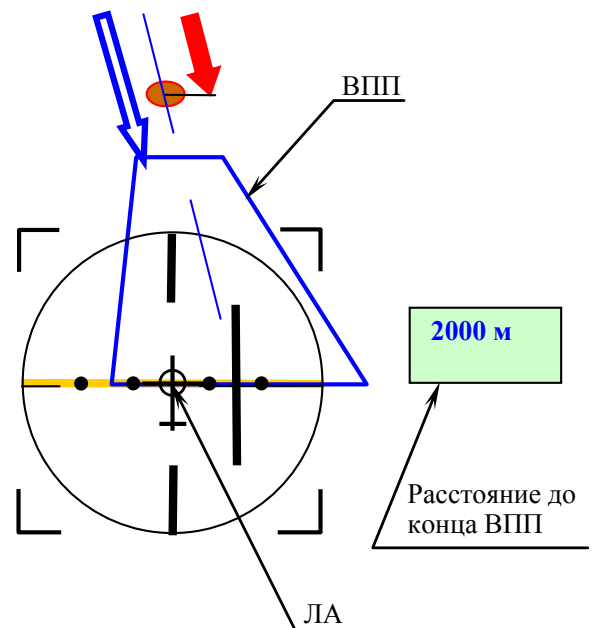


Рис. 8. Изображение на лобовом стекле ЛА при пробеге с недостаточным по величине торможением и линейным отклонением влево от оси ВПП

Для облегчения управления ЛА при пробеге по сигналу «шасси обжато» на лобовом стекле отображаются составляющие векторов фактического и требуемого ускорения, параллельные оси ВПП. При этом величина требуемого ускорения определяется из условия остановки ЛА в пределах длины ВПП (рис. 7–9).

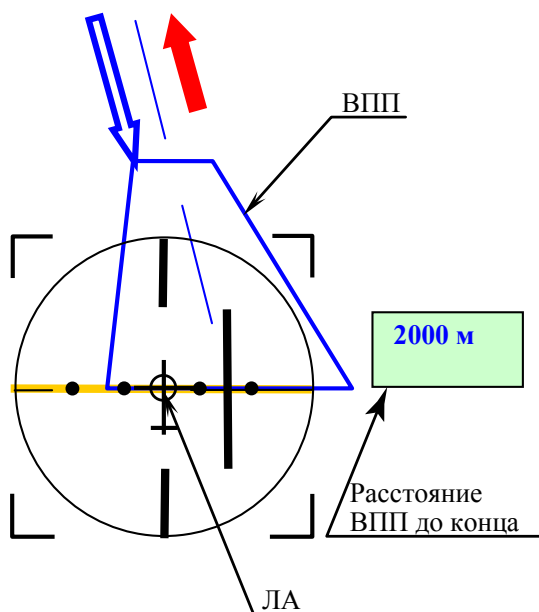


Рис. 9. Изображение на лобовом стекле ЛА при пробеге с разгоном и линейным отклонением влево от оси ВПП

При наличии фактического ускорения, соответствующего торможению ЛА при пробеге по ВПП, определяется и отображается на лобовом стекле проекция на ось ВПП расчётной точки остановки ЛА. Проекция расчётной точки остановки за пределами длины и в пределах длины ВПП отображается разным цветом (рис. 7, 8).

Составляющая вектора фактического ускорения, противоположно направленная посадочному курсу ВПП и соответствующая торможению ЛА при пробеге, отображается на лобовом стекле таким образом, чтобы конец составляющей находился на одном горизонтальном уровне с проекцией расчётной точки остановки ЛА на ось ВПП. Составляющая вектора фактического торможения отображается сплошной стрелкой, а составляющая вектора требуемого торможения – контурной стрелкой. После прохождения середины ВПП на лобовом стекле с заданным интервалом отображается цифровое значение расстояния до конца ВПП (рис. 7-9).

При торможении ЛА составляющая вектора фактического ускорения и проекция расчётной точки остановки отображаются одним цветом, изменяющимся при выходе расчётной точки за пределы длины ВПП. В случае внештатной ситуации составляющая вектора фактического ускорения, совпадающая по направлению с посадочным курсом ВПП и соответствующая разгону ЛА при пробеге, а также нулевая составляющая, отображаемая точкой и соответствующая равномерному движению ЛА при пробеге, отображаются тем же цветом, что и в случае выхода расчётной точки остановки за пределы длины ВПП при торможении (рис. 8, 9).

При пробеге по ВПП формируется предупреждение о превышении допустимой величины бокового отклонения от оси ВПП в линейных единицах, например, в виде речевого сообщения.

Предлагается оценивать опасность выкатывания ЛА за пределы ширины ВПП по характеру перемещения курсовой планки положения ЛА относительно оси ВПП, индицируемой при пробеге по ВПП на лобовом стекле и приборной панели, а также по формируемой предупреждающей сигнализации о недопустимом линейном смещении ЛА от оси ВПП при пробеге.

Условия формирования предупреждающей сигнализации о недопустимом линейном боковом отклонении от оси ВПП при пробеге иллюстрирует рис. 10. Нижние границы срабатывания сигнализации зон А, Б, В, Ж, З и верхние границы срабатывания сигнализации зон Г, Д, Е, Ж, З имеют наклон, т. к., если ЛА смещается с увеличением линейного бокового отклонения, то, чем больше абсолютная величина составляющей скорости увеличения бокового отклонения ЛА V_y , тем при меньшей величине линейного бокового отклонения срабатывает сигнализация, предупреждающая о недопустимой величине линейного бокового отклонения, а если ЛА смещается с уменьшением линейного бокового отклонения, то, чем больше абсолютная величина составляющей скорости уменьшения бокового отклонения ЛА V_y , тем при большей величине линейного бокового отклонения срабатывает упомянутая



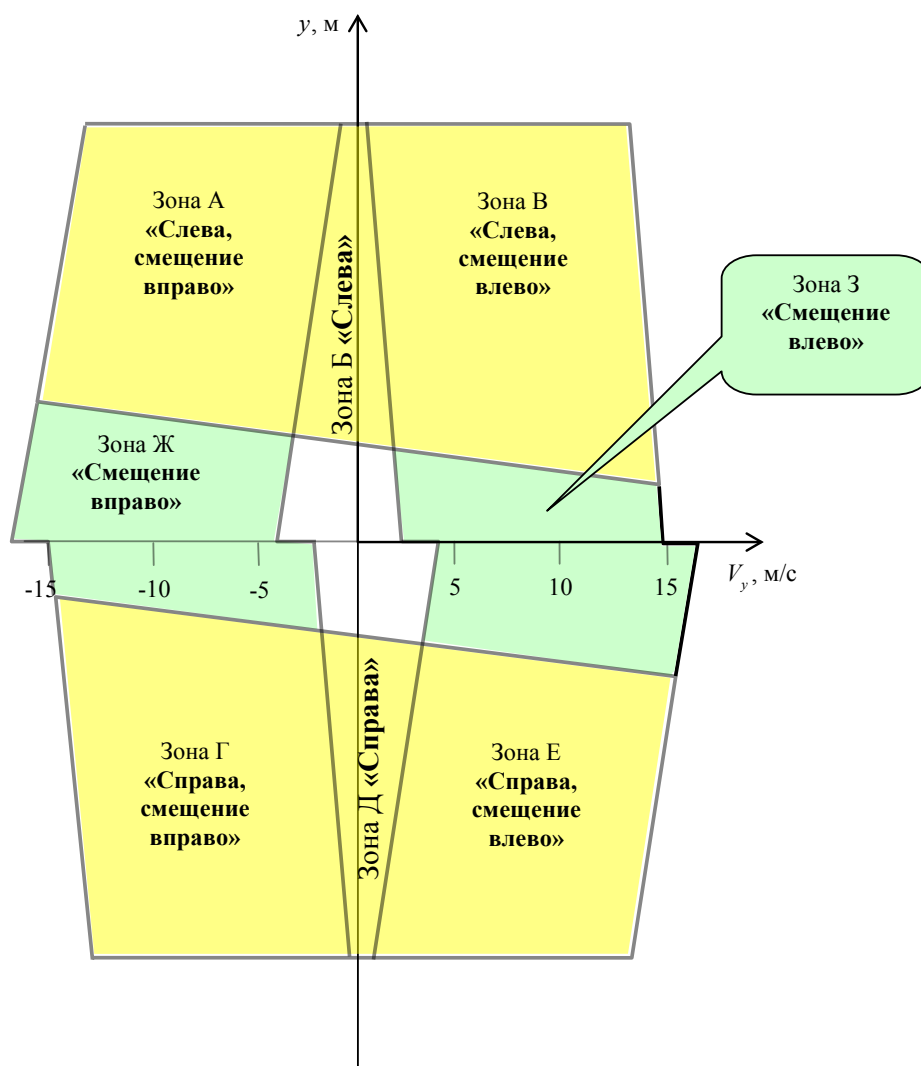
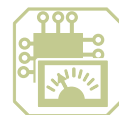


Рис. 10. Зоны срабатывания предупреждающей сигнализации о недопустимой величине линейного бокового отклонения от оси ВПП при пробеге в системе координат «линейное боковое отклонение – скорость изменения линейного бокового отклонения»

сигнализация. Зоны Б и Д имеют наклонные боковые границы и несимметричны относительно оси y . Наклон границ зон Б и Д обусловлен тем, что с ростом абсолютной величины линейного бокового отклонения допустимая величина скорости бокового смещения всегда уменьшается, а несимметричность зон Б и Д относительно оси y обусловлена тем, что при смещении ЛА с увеличением линейного бокового отклонения допустима меньшая скорость смещения, чем при смещении ЛА, приводящем к уменьшению линейного бокового отклонения. Положение границ зон срабатывания зависит также от параметров ЛА, его динамических возможностей и характеристик точности бортовых датчиков.

Сигнализация о недопустимом боковом отклонении ЛА от оси ВПП и отображение в наглядной форме на лобовом стекле проекций на ось ВПП векторов фактического и требуемого торможений, а также проекции расчётной точки останова помогут пилоту вовремя оценить параметры движения ЛА при пробеге и, при необходимости, своевременно внести в управление коррективы, требуемые для завершения пробега ЛА в пределах ВПП.

Выводы

1. Риски возникновения аварийных ситуаций при заходе на посадку, посадке и пробеге ЛА по ВПП могут быть снижены путём расширения функциональных возможностей бортовой системы предупреждения столкновения летательного аппарата с землей следующими

способами:

отображение линейных отклонений вместо угловых отклонений от плоскостей курса и глissады по достижении заданного порога угловой ошибки;

отображение на приборной панели и на лобовом стекле в идентичных геометрических ориентирах отклонений ЛА от заданной глissады до момента обжатия шасси и отклонений ЛА от оси ВПП при пробеге;

формирование речевого предупреждения о недопустимом боковом отклонении от оси ВПП при пробеге;

отображение на лобовом стекле озвучиваемых значений расстояния, оставшегося до конца ВПП;

отображение параллельных оси ВПП проекций векторов требуемого и фактического торможения;

отображение проекции на ось ВПП расчётной точки останова ЛА.

2. Согласно экспертным оценкам, предложенные способы позволят снизить аварийность при посадке в сложных метеоусловиях на 10–15 %.

Список литературы

1. Ground operations and imminent landing runway selection: Пат. 6 983 206 США, МПК G01S19/15, G08B23/00, G01S5/14, G01S19/20, G01S19/40, G01S19/48, G08G5/02, G08G5/04, G08G5/06, G01S13/91; Заявлено 15.05.2003; Оpubл. 03.01.2006 Англ.

2. Ground operations and imminent landing runway selection: Пат. 7 079 951 США, МПК G01S19/15, G08B23/00, G01S5/14, G01S19/20, G01S19/40, G01S19/48, G08G5/02, G08G5/04, G08G5/06, G01S13/91; Заявлено 10.12.2004; Оpubл. 18.07.2006 Англ.

3. Ground operations and imminent landing runway selection: Пат. 7 206 698 США, МПК G01S19/15, G08B23/00, G01S5/14, G01S19/20, G01S19/40, G01S19/48, G08G5/02, G08G5/04, G08G5/06, G01S13/91; Заявлено 10.12.2004; Оpubл. 17.04.2007 Англ.

4. Ground operations and imminent landing runway selection: Пат. 7 363 145 США, МПК

G01S19/15, G08B23/00, G01S5/14, G01S19/20, G01S19/40, G01S19/48, G08G5/02, G08G5/04, G08G5/06, G01S13/91; Заявлено 10.12.2004; Оpubл. 22.04.2008 Англ.

5. МВК НГЭ СССР Министерство гражданской авиации СССР Нормы годности к эксплуатации в СССР гражданских аэродромов (НГЭА СССР). Издание третье. М.: «Воздушный транспорт», 1992. 132 с.

6. Способ оповещения о расположении летательного аппарата относительно взлетно-посадочных полос при заходе на посадку: Пат. 2 410 753 Россия, МПК G08G5/00 (2006.01), G08B23/00 (2006.01), 2009148560/11; Заявлено 18.12.2009; Оpubл. 27.01.2011 Рус.

7. *Бабуров В. И., Гальперин Т. Б., Маслов А. В., Рогова А. А., Саута О. И.* Способ сопряжения угловых и линейных отклонений в бортовом оборудовании спутниковой системы посадки // Вестник Концерна ПВО «Алмаз – Антей». 2013. № 1. С. 27–32.

8. Способ оповещения о расположении летательного аппарата относительно взлетно-посадочных полос при заходе на посадку и при движении после приземления: Пат. 2 465 652 Россия, МПК G08G5/00 (2006.01), 2011113706/11; Заявлено 04.04.2011; Оpubл. 27.10.2012 Рус.

Поступила 14.07.14

Бабуров Владимир Иванович – доктор технических наук, директор НТЦ «Навигатор» ОАО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: авионика.

Гальперин Теодор Борисович – кандидат технических наук, заслуженный изобретатель России, главный специалист ЗАО «ВНИИРА-Навигатор», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радиолокационные и радионавигационные системы летательных аппаратов.

Маслов Александр Викторович – ведущий инженер НТЦ «Навигатор» ОАО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: алгоритмы бортовых систем предупреждения столкновений летательных аппаратов с рельефом.

Рогова Анна Александровна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НТЦ «Навигатор» ОАО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: алгоритмы бортовых комплексов спутниковых систем навигации и посадки летательных аппаратов.

Саута Олег Иванович – доктор технических наук, начальник научно-исследовательского сектора НТЦ «Навигатор» ОАО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: наземные и бортовые комплексы спутниковых систем навигации и посадки летательных аппаратов.

