

УДК 629.7.621.396

Муштина И. В.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ

Институт информационно-диагностических систем Национального авиационного университета

Исследование навигационных данных, снятых со спутникового приемника в лабораторных условиях, установление зависимостей показателей качества функционирования от различных условий и факторов.

Постановка проблемы

Непрерывный рост деловой активности человечества влечет за собой необходимость стремительного совершенствования средств обслуживания жизненных потребностей мирового сообщества, в котором авиационное движение играет едва ли не первую роль. Обеспечение быстрого, безопасного авиационного движения в условиях постоянного роста интенсивности передвижений населения является первоочередной задачей международного авиационного сообщества. Важным и, возможно, самым трудным этапом полета является процесс захода на посадку воздушного судна (ВС). На этом этапе выдвигаются особенно жесткие требования к показателям качества функционирования систем посадки ВС. В рамках утвержденного ИКАО плана о переходе к обеспечению полетов на основе Глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS – по терминологии ICAO) особенно актуальным становится вопрос об оценке показателей качества и эффективности спутниковых систем посадки в условиях ее конкуренции с предлагаемой к внедрению микроволновой системы посадки [3].

Анализ последних исследований

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) особенно акцентирует внимание на трех основных видах систем посадки: ILS, MLS, GNSS. Касательно каждой из этих систем посадки существуют свои положительные и отрицательные доводы.

Инструментальная система посадки широко применяется во всем мире, однако не обеспечивает заход на посадку по

криволинейным траекториям, параметры функционирования зависят от погоды, рельефа и подстилающей поверхности [3].

Микроволновая система посадки находится в стадии сертификации и внедрения. И соответственно возникает вопрос о конкретных преимуществах и более эффективных показателях функционирования для целесообразности ее дальнейших разработок и внедрения в рамках перехода к глобальным навигационным системам.

Касательно использования спутниковых систем посадки ситуация обстоит следующим образом: функциональные возможности при использовании дополнений отвечают соответствующим требованиям к точности, непрерывности, целостности и готовности для посадок по первой категории метеоминимума. Возможность удовлетворить показателям 2-ой и 3-ей категории посадки сейчас интенсивно прорабатывается и планируется к экспериментальным испытаниям не ранее 2010-2015 годов.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) определила перечень требований к системам посадки и стратегию развития аэронавигационных средств обеспечения посадки ВС. Согласно этой стратегии определен постепенный переход к спутниковым средствам навигации на этапе полета и захода на посадку. В перспективе, по мере внедрения необходимых наземных дополнительных систем и оснащения ВС аппаратурой спутниковой навигации и посадки, традиционные средства инструментальной системы посадки будут вытесняться, некоторые операции во все большей мере будут выполняться на основе совместной или

спутниковой навигационной информации. В дальнейшем спутниковая навигация должна эволюционно вытеснить традиционные средства навигации.

В ходе перехода к обеспечению полетов на основе GNSS предусматривается три уровня использования спутниковой навигации на борту ВС:

- спутниковые навигационные средства используются как дополнительное средство навигации, т.е. совместно с системой, применяемой в качестве единственного средства навигации. При этом система должна отвечать требованиям по точности и целостности обслуживания, предъявляемым при данной полетной операции. Требования по готовности и непрерывности обслуживания могут не выполняться;

- спутниковые навигационные средства используются как основное средство навигации. При этом система должна отвечать требованиям по точности и целостности обслуживания. Требования по готовности и непрерывности обслуживания могут выполняться не в полном объеме. Безопасность полетов при этом обеспечивается путем введения ограничений на выполнение полетов во времени и с помощью соответствующих процедурных ограничений. Навигационного средства для подстраховки спутниковых средств на борту не требуется;

- спутниковые навигационные средства используются как единственное средство навигации. В этом случае система должна соответствовать всем требованиям по точности, целостности, готовности и непрерывности обслуживания.

Формулирование целей статьи

Таким образом, для выбора и обоснования перехода к той или иной системе посадки необходимо учесть большое количество факторов и ограничений. Общими показателями качества навигационной системы являются требования к зоне действия системы, точности местоопределения ВС, доступности, целостности и непрерывности системы. Финансо-

вые затраты, необходимые для достижения необходимых технических характеристик и параметров соотнесенные к годам авиационных потребителей дадут представление об эффективности спутниковой системы посадки. Такие параметры можно получить и для эксплуатируемой в данный момент инструментальной системы посадки ИЛС и для внедряемой микроволновой системы посадки. Стратегия оценки эффективности будет заключаться в сравнительной оценке приведенных выше параметров для различных систем посадки в условиях внедрения и эксплуатации в конкретных условиях на территории Украины.

Дополнительно следует проанализировать параметр стоимости внедрения, ввода в эксплуатацию и дальнейшего обслуживания.

Изложение основного материала

Указанные выше показатели качества имеют четко определенные количественные значения оговоренные в международных стандартах и рекомендуемой практике ИКАО [3].

При посадках по 1-ой категории ответственность за выдерживание минимумов установленных ИКАО лежит в основном на пилоте. При посадках по 3-ей категории для оценки успешности захода на посадку необходимо рассматривать систему "измерительная система – пилот – воздушное судно" как единое целое.

Никакая существующая аппаратура не способна обеспечить движение ВС в процессе захода на посадку точно по линии глиссады, не отклоняясь от нее. Если существует некоторое априорное отклонение, то задача пилота заключается в исправлении его и выводе ВС на линию глиссады. Тем не менее из-за инерционности ВС, невозможно вывести и точно "зафиксировать" ВС на прямой. Для этого нужно было бы мгновенно исключить все составные скорости ВС, кроме направленной по линии глиссады. Изменение скорости возможно лишь постепенно,

т.е. если боковая составляющая скорости ВС направлена к глиссаде, то по достижению линии глиссады эта составляющая исчезает не мгновенно, а за некоторое время. На протяжении этого времени ВС отклоняется от глиссады в противоположную сторону, возникает новое боковое отклонение, которое снова необходимо устранить.

Итак, движение ВС относительно глиссады на этапе посадки носит итеративный характер. Учитывая инерционные свойства ВС, на исправление любого отклонения нужно время. Существует лишь ограниченная область величин отклонений, находясь в которой ВС может совершить безопасный заход и посадку. Область допустимых отклонений зависит от маневренных характеристик ВС и от расстояния до ВПП. Она представляет собой некоторую область, описанную вокруг линии глиссады. Границы этой области зависят от предельной управляемости данного ВС и сужаются по мере приближения к ВПП.

Рассмотрев такие маневренные характеристики ВС разных типов, ИКАО сформировал статистику про границы предельной управляемости ВС и определил, таким образом, размеры туннелей, в пределах которых управляющая система должна удерживать ВС на этапе захода на посадку.

Для безопасного процесса посадки выдвигается требование к вероятности нахождения ВС в пределах области допустимых отклонений не менее 95%. А риск выходу за пределы внешнего туннеля не должен превышать 10^{-7} .

Для определения положения ВС, т.е. факта его присутствия в области допустимых отклонений, необходимо исследовать аппаратуру спутниковой навигационной

системы, в частности точностные характеристики системы, ее адекватного местоопределения координат ВС для анализа возможности посадки ВС путем математического сопоставления графиков предельной управляемости ВС и распределения ошибок спутниковой системы посадки.

В качестве экспериментального оборудования использован спутниковый приемник *NOVATELL* и программное обеспечение. Суть исследований заключается в программной обработке, извлечении необходимых параметров и данных и их последующем анализе. В чистом виде данные, поступающие со спутников и принимаемые спутниковым оборудованием имеют следующий вид (рис. 1).

Где параметр **#BESTPOSA** содержит координаты местоположения спутникового приемника в координатах *B* – широта, *L* – долгота, *H* – высота в системе *WGS84*; **#BESTXYZA** – те же координаты в системе *XYZ*; **\$GPGSA** – доступные спутники и метеорологические данные.

Вид программного обеспечения, работающего со спутниковым оборудованием и окна программы, предоставляющие определенные виды информации представлены на рисунках 2, 3.

На рис. 2 представлен результат обработки данных, оценка ошибки местоопределения собственного положения спутникового приемника. По приведенным данным ошибка составляет приблизительно 17-19 метров, что соответствует теоретическим данным о точности спутниковых систем без внесения функциональных дополнений, в частности наземных функциональных дополнений *GBAS*, что позволит организовать дифференциальный режим спутниковой системы и будет составлять следующий этап исследований.

```
#BESTPOSA,COM1_6,0,58.5,FINESTEERING,1311,116710.000,00000000,5941,1250;SOL_COMPUTED,SIN
GLE,50.43903187246,30.42960121232,187.0242,24.3968,WGS84,1.6420,1.4073,3.4681,"",0.000,0.000,9
,9,0,0,0,0,0*cd8cb314
#BESTXYZA,COM1_6,0,58.5,FINESTEERING,1311,116710.000,00000000,06e1,1250;SOL_COMPUTED,SIN
GLE,3509770.5962,2061608.3558,4894198.9041,2.2165,1.6942,2.9868,SOL_COMPUTED,DOPPLER_VELOCITY,
0.0181,-0.0162,0.0029,0.2649,0.2025,0.3570,"",0.150,0.000,0.000,9,9,0,0,0,0*1afa7c5c
$GPGSA,M,3,05,16,06,21,25,10,17,30,02,,,,,1.7,1.2,1.5*39
#METDATAA,COM1_6,0,47.0,FINESTEERING,1311,116711.000,00000000,352c,1250;0*bce0e08e
```

Рис. 1. Формат данных поступающих на вход спутникового приемника

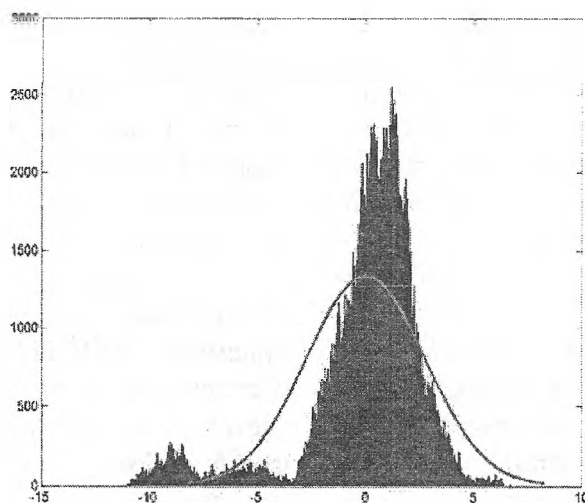


Рис. 2. Ошибка измерения координат спутникового приемника

Выводы

Таким образом, имея набор значе- ний определения собственных координат спутникового приемника, можно прове- сти целый ряд исследований:

Оценив полученные данные по кри- териям оценки определить закон распре- деления ошибок местоопределения спут- никового приемника.

Установить зависимость точностных характеристик от погодных условий, вре- мени суток, положения спутников и гео- магнитных излучений.

Полученные законы распределения ошибок местоопределения спутникового оборудования сопоставить с областями управляемости ВС и сделать вывод о воз- можности успешного захода на посадку и посадки для конкретного типа ВС, в оп- ределенных территориальных и погодных условиях. Подобные исследования могут быть проведены для параметров аэропор- та Борисполь.

Оценить непрерывность спутнико- вого оборудования, анализируя снятые данные на непрерывных отрезках време- ни величиной 15 секунд и руководствуясь требованиями ИКАО о том, что вероят- ность потери сигнала на этапе захода на посадку не должна превышать $1-8 \cdot 10^{-6}$ за любые 15 секунд.

Оценка и исследование этих пара- метров, математическое моделирование законов распределения, среднеквадрати- ческих отклонений и доверительных ин- тервалов, построение областей управляе- мости ВС с графическим и математиче- ским определением зоны пересечения ха- рактеристик и точек этих пересечений со- ставляют основное направление даль- нейших исследований.

Список литературы

1. *Беляевський Л. С., Сібрук Л. В., Харченко В. П.* Стратегія розвитку та ви- бору систем посадки повітряних кораблів. Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. – 1998. – №1. – С. 42-43.
2. *Харченко В. П., Сібрук Л. В., Алексеев В. М.* Визначення показників якості функціонування супутникових сис- тем посадки повітряних кораблів. Вісник центрального наукового центру транспорт- ної академії України. – 1998. – №1. – С. 56-59.
3. *Авиационная электросвязь: При- ложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации.* – Т.1. – Кана- да: МОГА, 1996.
4. *Белгородский С. Л.* Автоматиза- ция управления посадкой самолета. – М.: Транспорт, 1972. – 352 с.