

УДК 621.396.96

**УТОЧНЕНИЕ АЛГОРИТМА FDE, КАК МЕТОД БОРЬБЫ С
«УМНЫМИ ПОМЕХАМИ» В ПРИЕМНИКАХ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ
ГРАЖДАНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ
В СОВМЕЩЕННОМ РЕЖИМЕ ГЛОНАСС/GPS**

А.М. ГАЛЬЯМОВ

Статья представлена профессором доктором технических наук В.Д.Рубцовым

В статье рассматривается возможный способ борьбы с «умными помехами» в приемнике спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS, сутью которого является уточнение существующих алгоритмов поиска и устранения неисправностей.

Ключевые слова: ГНСС, ГЛОНАСС, GPS, помехозащищенность, FDE

Для воздушных судов гражданской авиации принято считать, что вероятность появления непреднамеренных и преднамеренных источников помех в воздушном пространстве крайне мала, а значительно более вероятным источником помех может служить наземный источник. Наиболее распространенной гипотезой о зоне максимально вероятной для постановки помех считается зона аэродрома, где воздушное судно производит высокоточные маневры. При этом можно отметить, что необходимость использования спутниковых навигационных технологий объясняется рядом факторов, в том числе:

- в соответствии с концепцией внедрения перспективных систем связи, навигации, наблюдения и организации воздушного движения CNS/ATM международной организации гражданской авиации (ИКАО) предусматривается внедрение до 2016г. навигации, основанной на характеристиках (PBN), где в качестве основного средства навигационного обеспечения полетов воздушных судов (ВС) предусматривается использование глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС);
- обеспечением неточных заходов на посадку, а также точных заходов на посадку по ГНСС по I и II категориям ИКАО, в перспективе и III категории, как в зарубежных, так и российских аэропортах.

При построении моделей помех необходимо учитывать то, что помеха может попадать в основной лепесток диаграммы направленности приемной антенны, также необходимо отталкиваться от норм ИКАО, которые регламентируют устойчивость бортового оборудования спутниковой навигации к импульсной помехе, однако, в нормах приведены требования только к отдельным режимам ГЛОНАСС или GPSи ничего не сказано про совмещенный режим. Некоторую информацию о требованиях к совмещенному режиму ГЛОНАСС/GPS можно получить из Квалификационных требований КТ-34-01 (ред. 4), КТ-253(ред. 2) и КТ-229.

Однако, в выше приведенных документах, нет информации о уводящих сигналах «умных помех», которые могут быть:

1. Сформированы и переданы с малоразмерных транспортных средств тип беспилотных летательных аппаратов;
2. Целенаправленно сформированы и переданы через спутники одной из группировок;
3. Получены из-за стечения обстоятельств.

Проблема противодействия «умным помехам» в гражданской авиации, вызванная усилением террористической опасности, недоверием к навигационным средствам, находящимся в ведении отдельных государств и другими специфическими ситуациями, встала также остро, как и в военной.

Возможные методы борьбы с «умными помехами» в гражданской авиации:

1. Использование систем поддержки SBASи GBAS;
2. Использование режима внутренней поддержки ABAS;
3. Уточнение алгоритмов поиска и устранения неисправностей.

Первый метод показывает хорошие результаты, однако его проблемой является то, что средства передачи данных для коррекции могут быть заблокированы (решением проблемы блокировки может быть применение дополнительных навигационных полей) и необходима доработка эксплуатируемых ВС, что связано с большими затратами.

Второй метод является наименее точным по сравнению с первым и для его решения на ВС, находящихся в эксплуатации, данная процедура может быть очень дорогостоящей, так как требует пересмотра всей идеологии построения навигационного комплекса.

Третий метод. В настоящее время в приемниках спутниковой навигации применяются алгоритмы поиска и устранения неисправностей, работающие в режиме поиска и исключения спутников, однако эти алгоритмы не могут решать проблему уводящих сигналов, так как работают по принципу исключения меньшинства (исключаются те спутники, которые не попадают под «общую картину»). При возникновении проблем с целым созвездием (работа в совмещенном режиме ГЛОНАСС/GPS), оборудование с существующими алгоритмами поиска и устранения неисправностей не сможет распознать проблему с одним из созвездий.

Приемник спутниковой навигации, использующий алгоритм поиска и устранения неисправности, должен соответствовать требованиям обеспечения целостности навигационных данных. При этом вероятность необнаружения превышения допустимой ошибки навигации для условий полета до НРА включительно должны возникать с вероятностью – $P < 10^{-5}$ 1/час. При этом вероятность необнаружения превышения допустимой ошибки навигации определяется:

1. Надежностью навигационной аппаратуры на борту воздушного судна - вероятностью возникновения в приемнике отказа, влияющего на ошибку навигации и не выявляемого средствами контроля приемника – P_{rx1}

2. Вероятностью возникновения отказав одном из видимых НКА, приводящего к превышению допустимой ошибки навигации - P_{mfsv_1/n_2}

3. Вероятностью необнаружения отказа из пункта 2, алгоритмом RAIM FDE – P_{md}

4. Вероятностью возникновения в СНС отказа, не выявляемого средствами контроля приемника (множественные отказы НКА, отказы, связанные с закладкой наземным сегментом неверной информации в несколько НКА и т.д.) – $P_{mf_m/n}$.

Для приемника, работающего в режиме ГЛОНАСС/GPS, вероятность необнаружения превышения допустимой ошибки будет:

$$P_{mdNAV} = P_{rx1} + (P_{mfsvGPS_1/n} + P_{mfsvGLN_1/n}) * P_{mdGPS+GLN} + P_{mfGPS_m/n} + P_{mfGLN_m/n}$$

При этом вероятность отказа $P_{mf_m/n}$ не может быть рассчитана путем пересчета интенсивности отказов одного спутника системы, что связано с природой возникновения отказов системы.

Возможным решением по уточнению алгоритма поиска и устранения неисправностей при использовании совмещенного режима ГЛОНАСС/GPS могло бы стать сравнение навигационных решений, полученных по сырым данным (метод 30 проверок). При этом каждая попытка получения данных считается независимой. Таким образом, данные полученные при проведении такой проверки можно считать биномиально распределенными.

Применение метода «30-и проверок» позволяет экономить ресурсы вычислителя и время проведения проверки. Общая вероятность прохождения (30 проверок). Эта концепция позволяет обнаруживать «умную помеху». Таблица 1 показывает вероятность прохождения проверки в целом после каждого этапа (10-сегментов) для приемника, работающего в режиме ГЛОНАСС/GPS.

Таким образом, сама проверка сводится к следующему:

1. Получение навигационного решения по спутниковой группировке ГЛОНАСС ($R_{GLONASS,t}$) и GPS ($R_{GPS,t+m}$) где t – время получения навигационного решения, m – период времени между навигационными решениями по ГЛОНАСС и по GPS;

Уточнение алгоритма FDE, как метод борьбы с «умными помехами» в приемниках спутниковой навигации гражданского применения, работающих в совмещенном режиме ГЛОНАСС/GPS

2. Повторение a и b 10 раз с частотой n (определяется для конкретного приемника спутниковой навигации в зависимости от частоты обновления навигационной информации);

Таблица 1

Отбор по критерию прошел/не прошел

Испытания	Совокупные провалы	Проверка
Первые десять (10) Испытаний	Ноль (0) Один (1) Два (2) или более	Пройдена Выполнить еще Десять (10) Не пройдена
Вторые Десять (10) Испытаний	Ноль (0) Один (1) Два (2) или более	Пройдена Выполнить еще Десять (10) Не пройдена
Заключительные Десять (10) Испытаний	Ноль (0) Один (1) или более	Пройдена Не пройдена

2. Определение $\Delta_n = ([R]_{GLONASS,n} - [R]_{GLONASS,n+1}) - ([R]_{GPS,n+m} - [R]_{GPS,n+m+1})$, где $n=0...10$, m –период времени между навигационными решениями ГЛОНАСС и GPS.

3. Если Δ_n укладывается в установленные для каждого конкретного этапа полета пределы, то проверка считается пройденной.

4. Для установления прохождения или не прохождения проверки см. Таблицу 1.

По результатам проверки, если оборудование обнаружило «умную помеху», то оно должно сформировать предупреждение экипажу.

Таким образом, при внедрении метода улучшения алгоритма поиска и устранения неисправности можно определять наличие «умной помехи» и информировать экипаж о ее присутствии.

Литература

1. MOPSDO-316 «Минимальные эксплуатационные характеристики оборудования GPS/ABAS», RTCA, 2012.
2. Doc.9613 AN/937 «Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN)» (4-ое изд.), ИКАО, 2012

UPDATEALGORITHMFDE, AS METHOD OF DEALING WITH "SMART INTERFERENCE" IN THE SATELLITE NAVIGATION RECEIVER GLONASS / GPS

Galyamov A.M.

The article discusses a possible way to deal with the "intelligent interference" in the receiver GLONASS / GPS, the essence of which is to clarify the existing algorithms and troubleshooting.

Keywords: GNSS, GLONASS, GPS, noise immunity, FDE

REFERENCES

1. MOPSDO-316 «Minimal'nye ekspluatatsionnye harakteristiki oborudovaniya GPS/ABAS», RTCA, 2012.
2. Doc.9613 AN/937 «Rukovodstvo po navigatsii, osnovannoy na harakteristikah (PBN)» (4-oe izd.), ICAO, 2012

Сведения об авторе

Гальямов А.М. 1987г.р., окончил Московский Авиационный Институт (2010), ведущий инженер по летным испытаниям воздушных судов Филиала "НИИ Аэронавигации" ФГУП ГосНИИ ГА, область научных интересов -радиотехнические средства навигации, galand@atminst.ru