



летные испытания НСИ-2000МТ, при перерывах спутниковой информации до ~15 мин. точность определения координат остается на уровне требований RNP-RNAV. Восстановление спутниковой информации после перерывов приводит к полному восстановлению функциональных свойств и точностных характеристик интегрированной системы.

Отмеченная выше способность интегрированной системы сохранять свои точностные характеристики в условиях кратковременных перерывов спутниковой информации имеет еще один важный аспект. Он связан, по сути, с обеспечением целостности GNSS в условиях, когда она недостаточна. При этом на борту программа прогнозирования RAIM (PRAIM) не является обязательной, что также является положительным фактом для соблюдения расписания полетов.

В связи с новыми возможностями программно-математического обеспечения интегрированных систем необходимо упомянуть о сертифицированной технологии АИМЕ (Autonomous Integrity Monitored Extrapolation), разработанной фирмой Litton Aero Products и реализованной

в системе LTN-101 FLAGSHIP [3]. Аналогичный алгоритм осуществлен и в системах НСИ-2000/2000МТ. Эта технология представляет собой алгоритм, реализованный в виде программного обеспечения и направленный на решение проблемы целостности GNSS. Алгоритм основан на совместном анализе доступных спутниковых и инерциальных данных. Если при этом оценка целостности недостаточна, например, вследствие отсутствия достоверных спутниковых данных, АИМЕ для поддержания точности и целостности использует экстраполяцию положения ВС на основе инерциальных данных. Этот алгоритм обеспечивает безопасную навигацию в любое время и в любом месте Земного шара, как на маршруте, так и в аэродромной зоне, при неточном заходе на посадку, при любой погоде без наземных радиосредств и прогнозирующих программ (PRAIM).

При использовании совместно с GPS и системы ГЛОНАСС (в настоящее время 14 рабочих спутников), как это реализовано в НСИ-2000/2000МТ, стопроцентная целостность возможна и при меньшем числе спутников GPS. Следует отметить,

что все сказанное об алгоритме АИМЕ в той либо иной степени относится ко всем интегрированным системам и, в частности, к НСИ-2000МТ.

Еще одним преимуществом интегрированных систем является то, что присущая им избыточность информации позволяет реализовать развитый алгоритм идентификации функциональных отказов с позиций анализа и обеспечения информационной целостности системы. Так, например, в НСИ-2000МТ алгоритм обеспечения целостности выходной информации системы осуществляет формирование, контроль и анализ 22 критериев целостности, что позволяет дополнительно провести отбор спутниковых измерений, предварительно уже прошедших процедуру встроенного контроля самого приемника, с целью недопущения их в последующую обработку.

Положительным результатом такой селекции является, в частности, гарантированно высокая степень защиты информации об угловом положении ВС от недостоверных спутниковых данных. Этот факт позволяет утверждать, что функциональный отказ системы, связанный с недопустимо большой погрешностью формирования углов вертикали, возможен только вследствие аппаратного отказа инерциального блока и идентифицируется с высокой вероятностью встроенными средствами контроля системы.

Таким образом, АИМЕ технология и подобные ей алгоритмы, реализованные в интегрированных системах, позволяют путем докалибровки датчиков в запуске существенно повысить точность инерциального счисле-

Таблица 1

Тип используемых гироскопов	Дрейф, °/ч, исходный / после докалибр. в течение 30 мин. с помощью алгоритма АИМЕ	Продолжительность автономной работы системы с точностью, удовлетворяющей требованиям RNP, мин		
		RNP 0.3	RNP 1	RNP 4
Лазерный	0.01/0.005	30	60	300
ЛГК-200*)	0.05–0.1/0.02–0.03	15	30	70
Волоконно-оптический	1/0.1	10	15	25
МЭМ-1**)	1/0.1	10	20	40
МЭМ-2**)	0.1/0.01	20	35	60

Примечание:

*) данные, добавленные к [3]

***) данные, прогнозируемые на 3–5 лет.

ния. При этом системы с датчиками среднего класса точности после такой докалибровки в последующем автономном режиме могут демонстрировать так называемое инерциальное навигационное качество, присущее ИНС с высокоточными датчиками.

Подводя итог сказанному, отметим, что интегрированная навигационная система, в сравнении с инерциальной системой, корректируемой от GNSS, обладает рядом принципиально отличных свойств. К таким свойствам относятся:

- ✓ более полный контроль качества спутниковой информации;
- ✓ более развитый аппарат анализа функциональных отказов системы и ее подсистем;
- ✓ обеспечение более высоких показателей точности, целостности и непрерывности навигационных определений, чем отдельно взятые инерциальная система и приемник GNSS;
- ✓ возможность адаптации компенсирующей модели ошибок измерений инерциального блока в процессе функционирования системы с

целью повышения точности инерциального счисления.

Реализация указанных свойств возможна только при объединении инерциальной части и спутниковой в рамках единой системы, позволяющей, в частности, синхронизировать с высокой точностью информацию от инерциального блока и приемника GNSS, и обеспечивается специальным программно-математическим обеспечением.

В заключение отметим, что у интегрированных систем, несомненно, большое будущее. Осуществляя в штатных условиях функционирования четырехмерную навигацию с точностью и целостностью, соответствующей современным требованиям, такие системы способны непрерывно функционировать без деградации своих свойств практически длительное время и в любом районе воздушного пространства. Важно при этом отметить, что для достижения высокоточного функционирования такие системы не требуют дорогих инерциальных датчиков прецизионного

класса, что делает их привлекательными также и с экономической точки зрения.

Таким образом, являясь сравнительно новым типом оборудования, интегрированные навигационные системы, по-видимому, в ближайшем будущем станут основным достаточным навигационным средством для коммерческих потребителей.

Ссылки:

1. *Рекомендации по подготовке воздушных судов и эксплуатантов гражданской авиации России к полетам в системе точной зональной навигации P-RNAV в Европейском регионе по требованиям RNP-1. Приложение к распоряжению Минтранса России от 04.02.2003 г. № HA-21-р.*
2. *AIME – Solving the GPS Integrity Problem. Litton Aero Products.*
3. **Victor F. Strachan.** *Inertial Measurement Technology in the Satellite Navigation Environment // Journal of Navigation. Cambridge University Press. – 2000. – Vol. 53. – Pp. 247-260.*