

УДК 629.7.05:621.3

## РАСШИРЕНИЕ ПОЛЯ СРНС С ПОМОЩЬЮ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ АЗН-В

И.Н. ШЕСТАКОВ, Г.А. КРЫЖАНОВСКИЙ

Предложен способ позиционирования объектов в поле СРНС с использованием сигналов наземных станций АЗН-В. Способ позволяет решать задачи позиционирования в зонах с неполным покрытием СРНС, с плохо обусловленной системой, с недостаточной точностью определения координат и т.п.

**Ключевые слова:** алгоритм, навигация, аэронавигация, спутниковые радионавигационные системы, ошибки позиционирования, автоматическое зависимое наблюдение, мультilaterация, точность, целостность, непрерывность, доступность.

### Введение

Внедрение СРНС в практику гражданской авиации позволило значительно продвинуться в решении задачи траекторного управления, а точное определение координат ЛА стало основой обеспечения безопасности аэронавигации. Спутниковые технологии сформировали основные направления концепции CNS\ATM [1] и определили тенденции технологического развития аэронавигации, опирающегося на PBN [2; 3]. Единое координатно-временное поле, основанное на СРНС, позволяет интегрировать бортовые и наземные способы наблюдения воздушного движения и по каналам связи передавать координатную информацию потребителям [4; 5; 6], расширяя полётную осведомлённость.

Опыт эксплуатации показывает, что имеются зоны полётов ЛА, где точность, целостность, непрерывность или доступность определения координат в среде СРНС не достаточны для выполнения требуемой задачи траекторного управления [7]. Нарращивание спутниковых систем и их группировки не дают требуемой эффективности наблюдения, особенно в полярных районах. Улучшить ситуацию с определением координат ЛА в этих зонах, по мнению авторов, могут наземные станции (НС) радиовещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В), установка которых началась в России с трёх пилотных проектов: «Ямал-АЗН», «Москва-МВЗ» и «Балтика-АЗН», а вскоре планируется покрытие всего воздушного пространства РФ.

Известный метод мультilaterации (MLAT) [6] позволяет определять местоположение ЛА с помощью четырёх НС АЗН, объединённых в сеть Wide Area Multilateration (WAM). MLAT/WAM как наземная система наблюдения в настоящее время используется в интересах системы обслуживания воздушного движения. Тем не менее НС АЗН могут быть использованы в качестве дополнительных источников координатной информации в интересах ЛА и дополнить (расширить) поле СРНС, повысив его характеристики (точность, целостность, непрерывность и доступность), что и предлагается в работе.

### Способ позиционирования объектов в поле СРНС и наземных станций АЗН-В

Создание сплошного непрерывного поля АЗН на всех высотах позволит ЛА, имеющим оборудование АЗН, быть в контакте с одной или несколькими НС АЗН. Работа бортового оборудования АЗН-В и НС синхронизируется с точностью 10...20 нс относительно времени UTC [8], которое определяется с помощью опорного времени СРНС. Таким образом, НС в режиме АЗН-В OUT передаёт свои координаты и сообщения в определённое, известное пользователям (ЛА), время. Получается, что ЛА может определить временную задержку приёма сигналов от НС, например, по методу расчета TDOA (Time Difference of Arriva) [6], а затем рассчитать расстояние до этой станции  $D_i = ct_3$ , где  $D_i$  - псевдодальность от ЛА до  $i$ -й НС АЗН-В;

$t_3$  - время запаздывания сигнала, т.е. время прохождения сигнала от  $i$ -й НС АЗН-В до ЛА;  
 $c \cong 3 \cdot 10^8$  м/с - скорость распространения сигнала.

Алгоритм работы бортового оборудования АЗН-В для определения координат ЛА может быть описан так. Пусть на борту имеется приёмник сигналов от НС АЗН-В, работающей в режиме OUT, синхронизируемый с генератором опорной частоты приёмника СРНС, так что  $T_{НС} \equiv T_{БО} \equiv T_{СРНС}$  (рис. 1). Здесь  $T_{НС}$ ,  $T_{БО}$  и  $T_{СРНС}$  - шкалы времени НС АЗН-В, бортового оборудования (БО) АЗН-В и приёмника СРНС соответственно. Архитектура синхронизации времени по СРНС описана в [6]. Тогда координаты ЛА, связанные с псевдодальностью до НС  $D_i$ , могут быть определены  $D_i = \sqrt{(X_{ЛА} - x_i)^2 + (Y_{ЛА} - y_i)^2 + (Z_{ЛА} - z_i)^2}$ , где  $X_{ЛА}$ ,  $Y_{ЛА}$ ,  $Z_{ЛА}$  - координаты ЛА;  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$  - координаты  $i$ -й НС АЗН-В;  $\Delta t$  - смещение бортовой шкалы времени (БШВ) ЛА относительно системного времени СРНС.

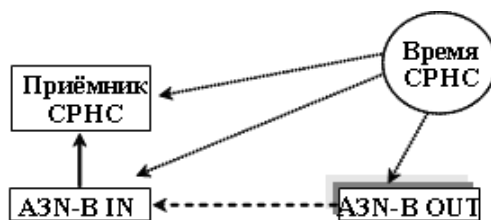


Рис. 1. Синхронизация времени в поле СРНС:

- линия пунктирная - передача координат НС АЗН-В OUT на борт ЛА (АЗН-В IN);
- линия сплошная - передача полученных координат НС АЗН-В в приёмник СРНС;
- линия из точек - передача информации о системном времени СРНС

При такой трактовке НС АЗН-В могут обеспечить новый самостоятельный способ определения координат ЛА или могут использоваться как дополнительный источник информации для определения координат ЛА методом расчёта псевдодальностей во временном поле СРНС.

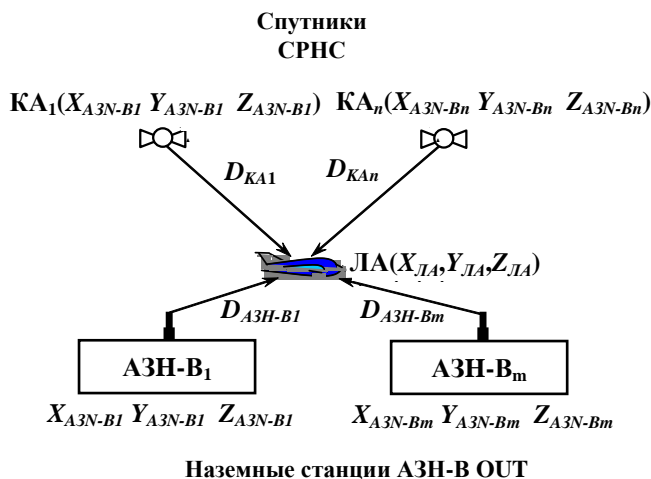


Рис. 2. Схема определения координат ЛА с применением НС АЗН-В OUT

Использование источников информации от космического аппарата (КА) СРНС и НС АЗН-В OUT приводят к следующим формулам для определения координат ЛА:

$$D_{АЗН-В_i} \sqrt{(X_{ЛА} - x_{АЗН-В_i})^2 + (Y_{ЛА} - y_{АЗН-В_i})^2 + (Z_{ЛА} - z_{АЗН-В_i})^2} + c\Delta t, \quad i = \overline{1, m};$$

$D_{КАj} \sqrt{(X_{ЛА} - x_{КАj})^2 + (Y_{ЛА} - y_{КАj})^2 + (Z_{ЛА} - z_{КАj})^2} + c\Delta t$ ,  $j = \overline{1, n}$ , где  $D_{АЗН-Вi}$  - псевдодальность от ЛА до  $i$ -й НС АЗН-В ОУТ;  $D_{КАj}$  - псевдодальность от ЛА до  $j$ -го КА;  $x_{АЗН-Вi}$ ,  $y_{АЗН-Вi}$ ,  $z_{АЗН-Вi}$  - координаты  $i$ -й НС АЗН-В ОУТ;  $m$  и  $n$  - количество НС АЗН-В ОУТ и КА СРНС, находящиеся в зоне приёма ЛА (рис. 2).

### Заключение

Предложение по применению НС АЗН-В в качестве источников координатной информации для приёмников СРНС имеет ряд преимуществ в сравнении с источниками координатной информации от спутников: знание точных координат источника координатной информации и уменьшение трассы распространения сигнала на три порядка. Так точные координаты АЗН-В не содержат погрешности эфемерид, связанные с нестабильностью вращения Земли, с неравномерностью гравитационного поля Земли, с нестабильностью притяжения Солнца и Луны и др., которые присущи координатам спутников СРНС и, следовательно, вносят ошибки в расчёты местоположения ЛА. Распространение сигнала от АЗН-В происходит в нижнем слое атмосферы, что исключает ошибки распространения в ионосфере и тропосфере, которые формируют основные погрешности распространения сигналов СРНС.

При выборе созвездия СРНС для решения задачи позиционирования вероятны случаи, когда система плохо обусловлена или даже вырождена, что возможно при ухудшении геометрического фактора (GDOP), например, в полярных районах земли, в «тоннелях» городских застроек и горных массивов, когда задача позиционирования не решается без использования дополнительной информации. В этом случае НС АЗН-В усилит геометрию (снизит значение GDOP) и поможет разрешить проблему неоднозначности.

Предложенный способ позиционирования объектов в поле СРНС с использованием сигналов НС АЗН-В не ограничивается использованием только НС станций АЗН. Дополнительными источниками координатной информации могут использоваться НС дифференциальных поправок и другие функциональные дополнения СРНС. В [9] при межсамолётной навигации в качестве источников навигационной информации предложено использовать ЛА и наземные навигационные опорные точки (НОТ). Показано, что при использовании двух дополнительных наземных НОТ точность оценки позиционирования ЛА в поле СРНС составляет 3 м. Такая точность позволяет авторам статьи надеяться на эффективность применения предложенного здесь способа и расширение поля СРНС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Doc 9750.** Глобальный аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM. – Монреаль: ИКАО, 2007.
2. **Doc 9613.** Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN). – Монреаль: ИКАО, 2009.
3. **Doc 9905.** Руководство по построению схем на основе санкционированных требуемых навигационных характеристик (RNP AR). – Монреаль: ИКАО, 2010.
4. Авиационная электросвязь. Том IV. Системы наблюдения и предупреждения столкновений. – Монреаль: ИКАО, 2007.
5. **Doc 9863.** Руководство по бортовой системе предупреждения столкновений (БСПС). – Монреаль: ИКАО, 2006.
6. **Doc 9924.** Руководство по авиационному наблюдению. – Монреаль: ИКАО, 2012.
7. **Шестаков И.Н., Мельникова Г.В., Слепченко П.М.** Относительные навигационные определения с ретрансляцией поля СГНС в задачах поиска и спасения // Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем: межвуз. темат. сб. науч. тр. / под ред. Крыжановского Г.А. - СПб.: Академия ГА, 2005. - Т. X.
8. **Одуан К., Гино Б.** Измерение времени. Основы GPS. - М.: Техносфера, 2002.
9. **Скрыпник О.Н.** Межсамолетная навигация при управлении воздушным движением: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – М., 2010.

## EXPANSION OF SRNS FIELD USING ADS-B GROUND STATIONS

**Shestakov I.N., Kryzhanovskij G.A.**

Method of objects' positioning in SRNS field with the help of ADS-B ground stations signals is suggested. Such method makes it possible to solve positioning tasks in areas with incomplete GPS covering, for the cases with poorly specified systems, with insufficient accuracy of coordinate identification and so on.

**Keywords:** algorithm, navigation, aeronavigation, satellite radio-navigational systems, positioning errors, automatic dependent surveillance, multi-lateration, accuracy, integrity, continuity, availability.

### Сведения об авторах

**Шестаков Иван Николаевич**, 1963 г.р., окончил ОЛАГА (1991), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры электросветотехнического обеспечения полётов СПбГУГА, автор более 150 научных работ, область научных интересов - оценка квалификации авиационного персонала на основе рейтингов, использование спутниковых технологий в интересах ОВД, интегрирование бортовых и наземных аэронавигационных процедур.

**Крыжановский Георгий Алексеевич** 1934 г.р., окончил ЛКИ (1958), профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, заведующий кафедрой организации и управления в транспортных системах СПбГУГА, автор более 300 научных работ, область научных интересов - радионавигация.