

УДК 351.814.33

ББК 39.57-5

**КОМПЛЕКСЫ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ НАБЛЮДЕНИЯ И
КОНТРОЛЯ АЭРОДРОМНОГО ДВИЖЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АЗН-В**

Александр Юрьевич Княжский

кандидат технических наук

**научный сотрудник АО «Ордена Трудового Красного Знамени
Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»**

knjagskij@mail.ru

Санкт-Петербург, Россия

Александр Петрович Плясовских

доктор технических наук

**главный конструктор научно-технического центра организации
воздушного движения (НТЦ ОрВД) АО «Ордена Трудового Красного
Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт**

радиоаппаратуры»

vniira@yandex.ru

Санкт-Петербург, Россия

Егор Сергеевич Щербаков

**зам. ген. конструктора АО «Ордена Трудового Красного Знамени
Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»**

Санкт-Петербург, Россия

egor.shcherbakov@gmail.com

В комплекс средств автоматизации наблюдения и контроля аэродромного движения и комплекс средств автоматизации управления воздушным движением предлагается включить аппаратуру функционального дополнения автоматически зависимого наблюдения-вещания. Добавление в комплексы аппаратуры функционального дополнения позволяет оценить погрешность координат, выдаваемых автоматически зависимым наблюдением-вещанием, и в случае ее медленного изменения компенсировать. При быстром изменении характеристик погрешности, не позволяющем осуществить достаточно точную компенсацию, информация со спутниковой радионавигационной системы не учитывается.

Ключевые слова: СРНС, АЗН-В, погрешность, аэродромное движение, управление воздушным движением, автоматизация.

**THE AUTOMATION SYSTEMS OF SURVEILLANCE AND
CONTROL OF AERODROME TRAFFIC AND AIR TRAFFIC
MANAGEMENT BASED ON ADS-B**

Aleksandr Yur'yevich Knyazhskiy

Candidate of Technical Sciences

Researcher of JSC All-Russian Research Institute of Radio

Equipment awarded with the Order of Red Banner

knjagskij@mail.ru

Saint Petersburg, Russia

Aleksandr Petrovich Plyasovskikh

Doctor of Engineering Science

**Chief designer of the scientific and technical center of air traffic
management JSC All-Russian Research Institute of Radio Equipment awarded**

with the Order of Red Banner

vniira@yandex.ru

Saint Petersburg, Russia
Egor Sergeevich Shcherbakov
Deputy gen. designer of JSC All-Russian Research Institute of Radio
Equipment awarded with the Order of Red Banner
Saint Petersburg, Russia
egor.shcherbakov@gmail.com

An equipment of functional augmentation automatically dependent surveillance-broadcasting are encouraged to include in the automation systems of surveillance and control of aerodrome traffic and automation systems of air traffic control. This augmentation to the equipment complexes allows estimating the error of the coordinates issued automatically by dependent surveillance - broadcasting and to compensate in case of its slow changing. The information from the satellite radio navigation system is not taken into account in case of a rapid change in the error characteristics which are not allowing for sufficiently accurate compensation.

Keywords: SRNS, ADS-B, error, aircraft movement, air traffic control, automation.

Комплексы средств автоматизации (КСА) наблюдения и контроля аэродромного движения (НКАД) и управления воздушным движением (УВД) являются неотъемлемыми составляющими системы организации воздушного движения. Данные комплексы должны удовлетворять требованиям системы НКАД (Advanced-Surface Movement Guidance and Control System – A-SMGCS) второго уровня внедрения по классификации международной организации гражданской авиации (ИКАО) [Руководство по усовершенствованным системам, 2004].

КСА НКАД предназначен для информирования диспетчеров руления, старта и посадки о параметрах движения воздушных судов и транспортных средств, находящихся в их зоне ответственности. КСА УВД предназначен для

приема, обработки, интеграции и отображения информации о воздушных судах, плановой, метеорологической и аэронавигационной информации. Оба комплекса интегрируют информацию от нескольких радиолокационных станций, обзорного аэродромного радиолокатора, многопозиционной системы наблюдения и средств автоматического зависимого наблюдения-вещания (АЗН-В). Информация наблюдения так же интегрируется с плановой, метеорологической информацией и состоянием покрытия взлетно-посадочной полосы (ВПП).

Во множестве руководящих отечественных документов по спутниковым технологиям в авиации описаны технические требования к спутниковым системам навигации, процедуре захода на посадку, необходимость внедрения локальной контрольно-корректирующей станции [Указ Президента Российской Федерации от 17.05.2007 г. №638; Федеральная целевая программа по использованию ГЛОНАСС для гражданской авиации, 2003; План внедрения дифференциальных средств глобальных навигационных спутниковых систем, 2004; Распоряжение Минтранса РФ от 25 января 2002 г. № НА-36-р; Постановление Правительства РФ от 25 августа 2008 г. № 641; Распоряжение Федерального Агентства воздушного транспорта Министерства транспорта Российской Федерации № АЮ-142-р от 19 мая 2006 г.].

Преимущества АЗН-В заключаются в том, что он обеспечивает обмен данными между всеми ВС, находящимися в зоне ответственности аэропорта (точность измерений составляет порядка 10 м). Недостатки – достаточно высокая вероятность снижения целостности информации [Руководство по усовершенствованным системам, 2004]. Помимо параметров полета других ВС летчики получают информацию об ухудшении погоды и сложной местности. Информация отображается графически в таком же виде, как и на экране диспетчера. Так же выдаются текстовые полетные рекомендации.

Использование АЗН-В позволяет получать информацию об обстановке в аэродромной зоне при отсутствии обзорного радиолокатора и многопозиционной системы наблюдения (МПСН). Обзорный локатор и МПСН

отсутствуют на многих аэропортах из-за их высокой стоимости, а обычный радиолокатор не видит целей, находящихся к нему ближе 5 км.

АЗН-В, производимый АО «ВНИИРА», передает информацию на расстоянии не менее 470 км. АЗН-В предоставляет лётчикам такие услуги, как графическое отображение погодных условий и текстовые полётные рекомендации при более низкой себестоимости, чем было ранее, без платных подписок на подобные услуги.

АЗН-В определяет координаты ВС с помощью спутниковой радионавигационной системы (СРНС). Координатная информация дополняется информацией о векторах скоростей ВС, его номере, типе, рейсе и широкоэвентально передается с частотой раз в секунду. Наземные станции объединяют информацию, полученную от разных АЗН-В устройств и наземных радаров, и передают ее обратно на ВС.

СРНС помимо определения координат и скорости ВС синхронизирует часы потребителей. Аппаратура пользователя работает в пассивном режиме. В качестве СРНС могут использоваться GPS, ГЛОНАСС или GALILEO. Типовая погрешность гражданской приемной аппаратуры (1σ) составляет приблизительно 1.5-10 м для системы GPS и 5-15 м для системы ГЛОНАСС [Samama, 2008; Спутниковые навигационные системы, 2004; Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, 2008; Соловьев, 2000].

Погрешность СРНС возникает по следующим причинам: ионосферные и тропосферные задержки сигнала; ошибка часов приемника; многолучевой прием; геометрия видимых спутников, определяемая взаимным расположением спутников в каждый момент времени; эфемеридные ошибки, т.е. погрешности знания положений и скоростей движения навигационных спутников, собственные шумы навигационных приемников; намеренное загроуление сигнала.

Далее под объектом будем понимать воздушное судно, транспортное средство, либо другой объект, оснащенный транспондером АЗН-В. В работе предлагается повысить точность оценки координат объекта, находящегося на

аэродроме, за счет компенсации квазипостоянной погрешности с помощью АФД, либо фиксировать факт некорректности передачи информации, в случае постановки активных помех.

НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КСА НКВД

В настоящее время связь между экипажем и диспетчером обычно осуществляется по речевому каналу. Приемопередатчики обычно работают в диапазоне очень высоких частот, из-за чего непосредственный обмен информацией возможен только в пределах прямой видимости. Вне пределов прямой видимости для осуществления радиосвязи необходимо использовать оператора радиобюро. Недостаток существующей системы связи заключается в отсутствии автоматизации обмена информацией между бортовым и наземным оборудованием, из-за чего пропускная способность таких каналов ограничена скоростью произношения речевых сообщений.

Контроль наземного аэродромного движения практически всегда осуществляется в пределах прямой видимости. Но для осуществления безопасного управления ВС при высокой интенсивности движения необходимо перейти от речевой связи к цифровому обмену закодированными данными о параметрах движения и ВС.

Наблюдение за аэродромным движением осуществляется вблизи большого количества нерадиопрозрачных объектов, переотражающих радиоволны и искажающих сигнал. В результате возникают ложные отметки и пропуски наблюдаемых объектов. При разработке алгоритмов объединения информации наблюдения о движении наземных объектов необходимо учитывать эти особенности.

Проблемами использования АЗН-В являются слабая защищенность формата передачи данных, допускающая искажение содержания сообщений внешним воздействием (чувствительность к кибератакам) и необходимость использования спутниковой связи, имеющей высокую чувствительность к активным помехам. В связи с этим не допускается ее использование в государственной авиации.

Главные задачи КСА НКВД: оценка и предоставление информации наблюдения о наземных объектах, выработка рекомендаций по управлению объектами, в том числе с учетом расчета оптимальных траекторий движения.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КСА НКВД ЗА СЧЕТ ДОБАВЛЕНИЯ АФД И ФУНКЦИИ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ

Схема переоценки измеренных АЗН-В координат с помощью АФД показана на рисунке 1.

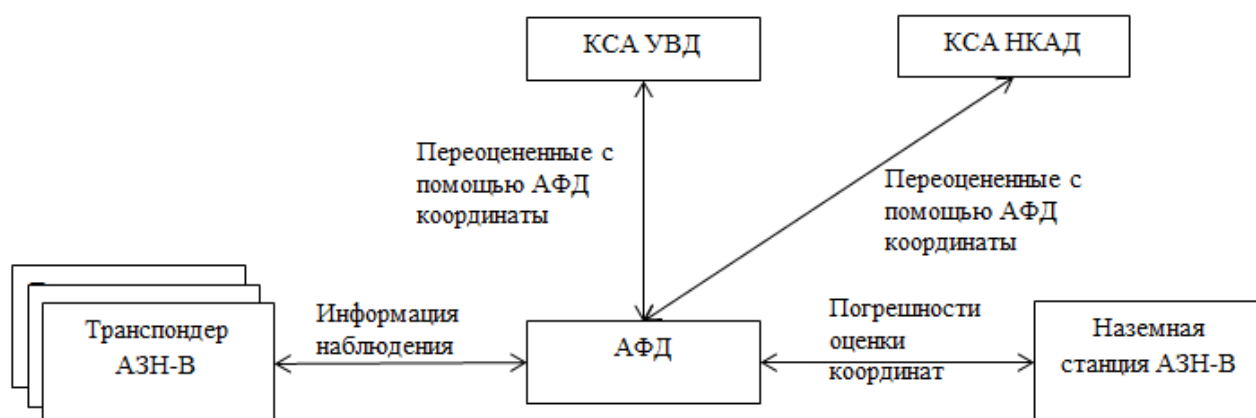


Рисунок 1 – Переоценка координат с помощью АФД

Определим вектор координат

$$X = [x \ y \ h]^T,$$

где x , y и h – координаты объекта в декартовой, географической, либо геоцентрической системе координат.

Для повышения точности оценки координат объектов, АФД принимает информацию наблюдения с транспондеров АЗН-В, установленных на подвижных объектах, $X_{об}^*$ и с АЗН-В, установленного на наземной станции, $X_{наз}^*$. Погрешность оценки координат ΔX определяется по разности оцененных с помощью СНС координат $X_{наз}^*$ и известных координат наземной станции $X_{наз}$.

$$\Delta X = X_{наз}^* - X_{наз}$$

Координаты, передаваемые с транспондеров АЗН-В, корректируются по формуле

$$X_{об}^* = X_{об} - \Delta X$$

Контроль целостности координатной информации от СРНС осуществляется с помощью алгоритма Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM). Основной задачей RAIM является обнаружение и исключение неверных измерений. Измерение может быть неверным в случае неисправности спутника, плохих условий приема навигационного сигнала со спутника или влияния активных помех. RAIM позволяет определить неисправность спутника в течение 1-й минуты. Суть алгоритма заключается в отбрасывание измерений расстояний между объектом и спутником, сильно отличающихся от общей выборки, что возможно при избыточности информации.

Имитационное моделирование показало, что за счет добавления АФД в КСА НКВД погрешность АЗН-В может быть существенно снижена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложено использовать аппаратуру функционального дополнения для корректировки координат объекта, проверки целостности информации и отбрасывания некорректной информации, принимаемой с АЗН-В. За счет этого в несколько раз повышается целостность и точность информации.

Библиографический список

1. План внедрения дифференциальных средств глобальных навигационных спутниковых систем на воздушном транспорте, утвержденный первым заместителем министра транспорта в 2004 г.
2. Постановление Правительства РФ от 25 августа 2008 г. №641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS // [Электронный ресурс]. – 2008 URL: <http://base.garant.ru/12162134/> (дата обращения: 10.05.2019).
3. Руководство по усовершенствованным системам управления наземным движением и контроля за ним (A-SMGCS). Международная организация гражданской авиации. Doc 9830, издание первое, 2004, 100 с.
4. Распоряжение Минтранса РФ от 25 января 2002 г. №НА-36-р «О введении в действие Технических требований по обеспечению и выполнению процедур неточного

захода на посадку методом зональной навигации по спутниковой навигационной системе // [Электронный ресурс]. –

2002 URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=EXP;dst=100055;n=304897;req=doc#031463312658073606> (дата обращения: 10.05.2019).

5. Распоряжение Федерального Агентства воздушного транспорта Министерства транспорта Российской Федерации №АЮ-142-р от 19 мая 2006 г. «О принятии на оснащение наземной локальной контрольно-корректирующей станции комбинированной спутниковой системы ГЛОНАСС/GPS ЛККС-А-2000» // [Электронный ресурс]. – 2006 URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=EXP&n=370826&req=doc#06365676540817182> (дата обращения: 10.05.2019).

6. Спутниковые навигационные системы. Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет). МАИ каф. 604. 2004. 338 с.

7. *Соловьев Ю. А.* Системы спутниковой навигации. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000, 270 с.

8. Указ Президента Российской Федерации от 17.05.2007 г. №638 «Об использовании глобальной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Российской Федерации» // [Электронный ресурс]. – 2007 URL: <http://base.garant.ru/72219686/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 10.05.2019).

9. Федеральная целевая программа по использованию ГЛОНАСС для гражданской авиации, утвержденная Постановлением Правительства России №1435 от 16.11.2003 // [Электронный ресурс]. – 2003 URL: <http://base.garant.ru/1569200/> (дата обращения: 10.05.2019).

10. Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard: 4th Edition, USA, Washington, September 2008, 160 p.

11. *Samata N.* Global Positioning: Technologies and Performance. – John Wiley & Sons, 2008, 376 p. – ISBN 0-470-24190-X.

References

1. Plan of implementation of differential means of global navigation satellite systems in air transport, approved by the first Deputy Minister of transport in 2004. (In Russian).

2. Resolution of the Government of the Russian Federation of August 25, 2008 No. 641 " on equipping vehicles, technical means and systems with GLONASS or GLONASS/GPS // satellite navigation equipment [electronic resource]. – 2008 URL: <http://base.garant.ru/12162134/> (date of access: 10.05.2019).

3. Guide to advanced ground traffic management and control systems (a-SMGCS). International Civil Aviation Organization. Doc 9830, first edition, 2004, 100 p. (In Russian).
4. The order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of January 25, 2002 №NA-36-R "On the introduction of Technical requirements for the provision and implementation of procedures for inaccurate approach by zonal navigation satellite navigation system // [electronic resource]. – 2002 URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=EXP;dst=100055;n=304897;req=doc#031463312658073606> (date of access: 10.05.2019).
5. The order of Federal Agency of Air Transport of Ministry of Transport of the Russian Federation No. AYU-142-R of May 19, 2006 "On adoption of the local equipment ground control-correcting stations combined satellite system GLONASS/GPS LCCS-A-2000" // [electronic resource]. – 2006 URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=EXP&n=370826&req=doc#06365676540817182> (date of access: 10.05.2019).
6. Satellite navigation system. Moscow Aviation Institute (National Research University). MAI dep. 604. 2004. 338 p. (In Russian).
7. Soloviev Y. A. (2000) Satellite Navigation System. M.: ECO-TRENDS, 2000, 270 p.
8. Decree of the President of the Russian Federation of 17.05.2007 №638 "On the use of the Global Satellite System GLONASS in the interests of socio-economic development of the Russian Federation" // [electronic resource]. – 2007 URL: <http://base.garant.ru/72219686/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (date of access: 10.05.2019).
9. Federal target program for the use of GLONASS for civil aviation, approved by Russian Government Resolution No. 1435 of 16.11.2003 // [electronic resource]. – 2003 URL: <http://base.garant.ru/1569200/> (date of access: 10.05.2019).
10. Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard: 4th Edition, USA, Washington, September 2008, 160 p. (In English).
11. Samama N.(2008) Global Positioning: Technologies and Performance. – John Wiley & Sons, 2008, 376 p. – ISBN 0-470-24190-X. (In English).