

ПРОВЕДЕНИЕ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ АСТРОИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.С. Болотнов

bolotnovas@student.bmstu.ru

SPIN-код: 2102-2943

И.И. Фомин

vanyafofin@yandex.ru

SPIN-код: 4427-0800

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены вопросы проведения рекогносцировки района полигонных испытаний астроинерциальной навигационной системы, подготовки маршрута движения подвижной лаборатории в топогеодезическом отношении и оформления полученных результатов. Показана методика оценки погрешности определения геодезических координат встроенного ГЛОНАСС/GPS-модуля промышленного компьютера. Проанализирован район полигона для проведения испытаний, проверены соответствия параметров выбранного участка требованиям к району проведения полигонных испытаний, выбраны ориентиры и проведена их топографическая привязка. Приведены основные результаты, полученные в ходе рекогносцировки, подготовлены предложения и рекомендации по обеспечению проведения полигонных испытаний.

Ключевые слова

навигация, астроинерциальная навигационная система, бесплатформенная инерциальная навигационная система, рекогносцировка, методика, маршрут, геодезические координаты, полигонные испытания, ориентир, погрешность, топографическая привязка

Поступила в редакцию 15.10.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Введение. Используя методы комплексирования бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) с измерителями, работающими на основе других физических принципов (например, с астрономическими датчиками), можно добиться лучших качественных характеристик [1–3]. Такое объединение позволит получить принципиально новый измерительный комплекс, обладающий более высокими характеристиками точности, помехоустойчивости, непрерывности и надежности по сравнению с отдельными измерителями. Астрономическая навигация позволяет сформировать корректирующую поправку по координате для компенсации, нарастающей во времени погрешности позиционирования БИНС, а также обеспечивает высокую точность угловых измерений [4, 5].

По результатам разработки и изготовления экспериментального образца астроинерциальной навигационной системы (АИНС) проводятся лабораторные, стендовые и полигонные испытания [6]. И если лабораторные и стендовые испытания — это методы контроля изделия на соответствие его техническим требованиям в условиях, имитирующих реальные, то полигонные испытания

проводятся в условиях реальной эксплуатации. Такой вид испытаний реализуется на испытательном полигоне — специально отведенной для их проведения площадке или территории.

Испытательный полигон [7] состоит из участков, каждый из которых выбирают таким образом, чтобы охватить и проверить как можно больше пунктов требований. При определении наиболее подходящего участка или нескольких участков составляют технические требования, проводят рекогносцировочные работы и оценивают пригодность для реализации тех или иных требований технического задания. Подготовка к проведению полигонных работ является серьезной научно-технической задачей, от которой напрямую зависит получение результата испытаний, а в конечном счете, и всей работы в целом.

Целью настоящей работы является разработка методики проведения рекогносцировочных работ для проведения полигонных испытаний разработанной астроинерциальной системы и проверка результатов работы на соответствие программе и методике полигонных испытаний объекта.

К задачам проведения рекогносцировочных работ можно отнести:

- проверку участка полигона на соответствие разработанным для него техническим требованиям;
- определение места остановки для осмотра технического состояния средств обеспечения испытаний, проведения монтажно-демонтажных работ АИНС, проведения работ с ней в стационарных условиях;
- выбор наземных ориентиров маршрута и проведение их топографической привязки с помощью спутниковых навигационных систем.

При проведении рекогносцировочных работ оценивают следующие показатели:

- соответствие выбранного участка предъявленным требованиям, качество дорожного покрытия, наличие опасных участков на маршруте движения;
- места остановки полевой подвижной лаборатории для проведения технологических и проверочных работ с астронавигационной системой;
- геодезическая широта и геодезическая долгота выбираемых ориентиров;

Определение точностных характеристик встроенного ГЛОНАСС/GPS-модуля со встроенной антенной промышленного планшетного компьютера.

Начальная задача рекогносцировочных работ на выбранных участках — определение ориентиров или контрольных точек. На каждой из них в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.736–2011 [8] выполнены работы по измерению геодезических координат. Измерения проводили в следующем порядке с помощью планшетного компьютера МТ-1200 «Гранат».

1. Вычисляли среднее арифметическое значение измеряемой величины \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где x_i — i -й результат измерений; n — количество измерений.

2. Находили абсолютную погрешность отдельного измерения Δx_i

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}. \quad (2)$$

3. Определяли среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценка измеряемой величины) S_x

$$S_x = \frac{1}{\sqrt{n(n-1)}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}. \quad (3)$$

4. Находили доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины по формуле

$$\varepsilon = t S_x = \frac{t}{\sqrt{n(n-1)}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}, \quad (4)$$

где t — коэффициент Стьюдента, зависящий от числа результатов измерений n и доверительной вероятности P .

Для $n = 21$ и $P = 0,95$ табличное значение коэффициента Стьюдента $t = 2,086$. Тогда формулу (4) можно записать следующим образом:

$$\varepsilon = t S_x = \frac{2,086}{\sqrt{420}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}.$$

5. Определяли систематическую погрешность измерений $\varepsilon_{\text{сист}}$

$$\varepsilon_{\text{сист}} = x_{\text{обр}} - \bar{x}, \quad (5)$$

где $x_{\text{обр}}$ — образцовое значение геодезической величины контрольного пункта (значение из Карточки топопривязки контрольных пунктов);

6. Вычисляли погрешность результата измерения Δx

$$\Delta x = \sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{t_\infty}{3}\right)^2 \varepsilon_{\text{сист}}^2}, \quad (6)$$

где t_∞ — предельное значение коэффициента Стьюдента, для $P = 0,95$ $t_\infty = 1,96$.

Тогда

$$\Delta x = \sqrt{\varepsilon^2 + \frac{3,8416}{9} \varepsilon_{\text{сист}}^2}.$$

Окончательный результат измерений записывается в виде

$$x = \bar{x} \pm \Delta x. \quad (7)$$

Оценена относительная погрешность результата серии измерений

$$\delta = \pm \frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \% . \quad (8)$$

В соответствии с выражениями:

$$X = (N + H) \cos B \cos L; \quad (9)$$

$$Y = (N + H) \cos B \sin L; \quad (10)$$

$$Z = [(1 - e^2)N + H] \sin B, \quad (11)$$

где X, Y, Z — пространственные прямоугольные координаты точки; B, L, H — геодезические координаты точки; N — радиус кривизны первого вертикала; e — эксцентриситет эллипсоида, проведены преобразования образцовых значений геодезических координат контрольных пунктов и значений, полученных в ходе проверки, в пространственные прямоугольные координаты.

7. Вычисляли абсолютную погрешность определения координат

$$\Delta_i = \sqrt{(X_{\text{обр}i} - X_{\text{планш}i})^2 + (Y_{\text{обр}i} - Y_{\text{планш}i})^2 + (Z_{\text{обр}i} - Z_{\text{планш}i})^2},$$

где $X_{\text{обр}i}, Y_{\text{обр}i}, Z_{\text{обр}i}$ — образцовые пространственные прямоугольные координаты контрольных пунктов; $X_{\text{обр}i}, Y_{\text{обр}i}, Z_{\text{обр}i}$ — средние арифметические значения результатов измерения планшетом местоположения контрольных пунктов в пространственных прямоугольных координатах.

8. Проверяли условие выполнения технических требований к планшету для его в полигонных (полевых) испытаниях

$$\Delta_i < \pm 5 \text{ м}. \quad (13)$$

При выполнении условия (13) планшет может быть допущен для подготовки и проведения полигонных (полевых) испытаний навигационного прибора. В качестве значений точностных параметров планшета следует принять максимальное значение абсолютной погрешности Δ_i определения координат местоположения и соответствующие значения относительной погрешности определения геодезических координат.

Общая характеристика исследуемого участка полигона испытаний. Выбранный участок проведения полигонных испытаний располагается на Варшавском шоссе (дорога А-130) (рис. 1).

Начальная точка маршрута — западная окраина населенного пункта Рыляки (геодезические координаты: широта $54^\circ 44' 9,26''$, долгота $35^\circ 12' 12,05''$). Конечная точка маршрута — мемориальный комплекс «Зайцева гора» (геодезические координаты: широта $54^\circ 29' 37,98''$, долгота $34^\circ 26' 47,35''$). Рельеф выбранного участка полигона представляет собой равнинно-холмистую местность.

Основные параметры полигона испытаний. Общие сведения о полигоне:

– основное направление: в прямом направлении юго-западное; в обратном северо-восточное;

- разрешенная скорость движения автомобилей на участке не более 90 км/ч;
- участок испытаний разбит на три подучастка, имеющие различные дирекционные углы и длины.

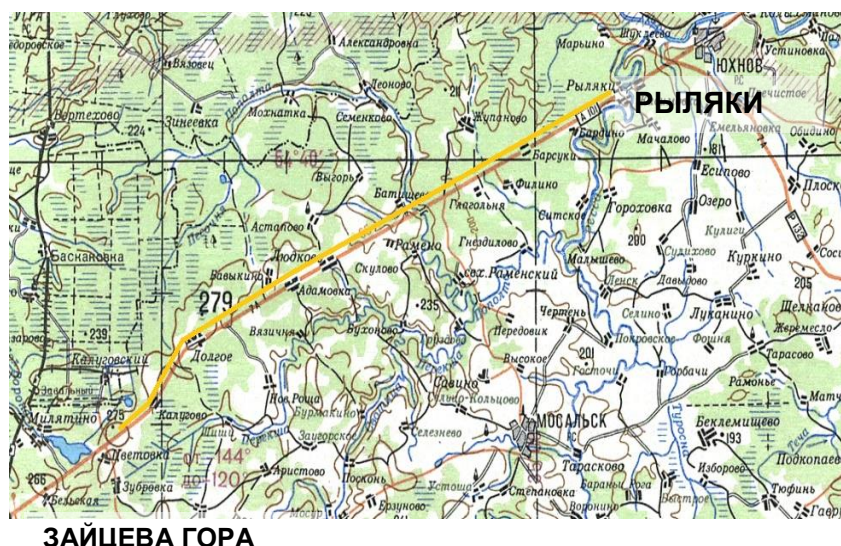


Рис. 1. Выбранный маршрут движения полевой подвижной лаборатории

Параметры первой части участка (населенный пункт Рыляки — населенный пункт Долгое):

- значение дирекционного угла направления составляет 245° ;
- длина участка 49 км.

Параметры второй части участка (населенный пункт Долгое — населенный пункт Калугово):

- значение дирекционного угла направления 225° ;
- длина участка 5 км;

Параметры третьей части участка (населенный пункт Калугово — мемориальный комплекс «Зайцева гора»):

- значение дирекционного угла направления 240° ;
- длина участка 2,5 км.

Максимальные уклоны дороги:

- продольный уклон дороги 4° ;
- поперечный уклон дороги 3° .

Контрольные точки маршрута и ориентиры для них выбирали на удалении между ними не более 8...10 км. Определение мест для остановки полевой подвижной лаборатории осуществляли с учетом наличия в дорожной сети площадок, удобных для размещения используемой автомобильной техники, совершения ее маневров.

Результаты рекогносцировки полигона проведения испытаний. Маршрут движения представлен на рис. 2.

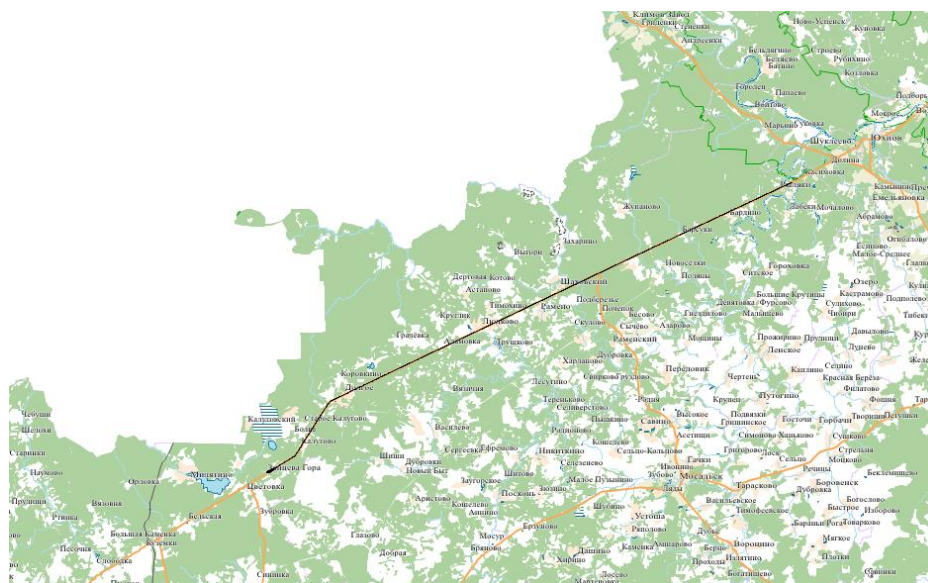


Рис. 2. Траектория движения машины при рекогносцировочных испытаниях

Результаты топографической привязки ориентиров представлены в таблице.

Топографические координаты контрольных точек маршрута движения при полигонных испытаниях АИНС-Н

Номер точки маршрута	Ориентир, расположенный справа	Направление обзора на ориентир	Пикет автомобильной дороги	Координаты ориентира	
				Широта	Долгота
1	Знак «Обгон запрещен» Перед мостом через реку	На Десногорск	Калужская область, А-130, 217 км	54°42'40,69"	35°07'31,36"
2	Знак «Примыкание второстепенной дороги»	На Медынь	Калужская область, А-130, 223 км	54°41'12,28"	35°2'4,57"
3	Указатель «Ситское 5,6»	На Десногорск	Калужская область, А-130, 225 км	54°40'55,06"	35°1'0,64"
4	Указатель «р. Шмея»	На Десногорск	Калужская область, А-130, 231 км	54°39'30,55"	34°55'50,03"
5	Три столба над водопропускной трубой	На Десногорск	Калужская область, А-130, 238 км	54°37'35,95"	34°48'52,83"
6	Деревянная церковь	На Медынь	Калужская область, А-130, 246 км	54°36'5,85"	34°43'25,91"
7	Указатель «Бавыкино 3»	На Десногорск	Калужская область, А-130, 252 км	54°34'42,89"	34°38'25,76"
8	Автобусная остановка «Долгое»	На Десногорск	Калужская область, А-130, 258 км	54°33'08,18"	34°32'43,36"
9	Автобусная остановка «Калутово»	На Медынь	Калужская область, А-130, 265 км	54°30'42,29"	34°29'13,39"
10	Военно-исторический музей «Зайцева гора»	На Десногорск	Калужская область, А-130, 268 км	54°29'37,98"	34°26'47,35"

Маршрут в основном соответствует требованиям к району проведения полигонных испытаний АИНС. Фактическое расстояние, преодоленное транспортным средством при проведении рекогносцировочных работ, составило 576 км.

Выводы. В процессе проведения рекогносцировочных работ были полностью решены поставленные для подготовки к полигонным испытаниям задачи в части:

- проверки участка полигона на соответствие разработанным для него техническим требованиям;
- определения места остановки для осмотра технического состояния средств обеспечения испытаний, проведения монтажно-демонтажных работ АИНС, проведения работ с ней в стационарных условиях;
- выбора наземных ориентиров маршрута и проведение их топографической привязки с помощью спутниковых навигационных систем.

Выбранный участок полигона испытаний АИНС соответствует техническим требованиям к району проведения полигонных испытаний.

Геодезическая привязка ориентиров контрольных точек позволяет обеспечить выполнение работ в соответствии с программой и методиками проведения полигонных испытаний навигационного прибора.

Литература

- [1] Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Куркина А.Н. и др. Принципы построения астроинерциальной системы авиационного применения. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2013, т. 10, № 2, с. 9–20.
- [2] Болотнов С.А., Брайткрайц С.Г., Герасимчук Ю.Н. и др. Астроинерциальная навигационная система. Патент РФ 141801. Заявл. 13.12.2013, опубл. 10.06.2014.
- [3] Salychev O. Inertial systems in navigation and geophysics. Bauman MTSU Press, 1998.
- [4] Питтман Д. Инерциальные системы управления. М., Воениздат, 1964.
- [5] Алешин Б.С., Веремеенко К.К., Черноморской А.И., ред. Ориентация и навигация подвижных объектов. М., Физматлит, 2006.
- [6] ГОСТ 16504-1981. Система государственных испытаний продукции. Основные термины и определения. М., Стандартинформ, 2011.
- [7] Приказ Министра обороны РФ ОТ 25.10.2001 N 431 «Об утверждении федеральных авиационных правил по организации полигонной службы в государственной авиации».
- [8] ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения, М., Стандартинформ, 2019.

Болотнов Альберт Сергеевич — студент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Фомин Иван Игоревич — студент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Леднев Анатолий Константинович, начальник отдела, главный специалист ООО «НПК «Электрооптика», Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Болотнов А.С., Фомин И.И. Проведение рекогносцировочных работ для подготовки полигонных испытаний астроинерциальной навигационной системы. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 11(52). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-11-655>

RECONNAISSANCE WORK FOR THE PREPARATION OF FIELD TESTS OF THE ASTROINERTIAL NAVIGATION SYSTEM

A.S. Bolotnov

bolotnovas@student.bmstu.ru

SPIN-code: 2102-2943

I.I. Fomin

vanyaafomin@yandex.ru

SPIN-code: 4427-0800

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

This paper is devoted to the issues of reconnaissance of the area of astroinertial navigation system testing, preparation of the topogeodetic movement route of the mobile laboratory and registration of the results. The method is shown of error estimation in determining the geodetic coordinates of the built-in GLONASS/GPS-module of an industrial computer. The authors analyzed the area of the test site, checked the compliance of the selected site parameters with the requirements for the test site area, selected landmarks and carried out their topographic reference. The main results obtained during the reconnaissance are presented, proposals and recommendations for ensuring the conduct of field tests are prepared.

Keywords

Navigation, astroinertial navigation system, strapdown inertial navigation system, reconnaissance, technique, route, geodetic coordinates, polygon tests, landmark, error, topographic referencing

Received 15.10.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

References

- [1] Avanesov G.A., Bessonov R.V., Kurkina A.N., et al. The principles of creating airborne stellar-inertial system. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 2013, vol. 10, no. 2, pp. 9–20 (in Russ.).
- [2] Bolotnov S.A., Braytkraayts S.G., Gerasimchuk Yu.N., et al. Astroinertsial'naya navigatsionnaya sistema [Stellar inertial navigation system]. Patent RU 141801. Appl. 13.12.2013, publ. 10.06.2014 (in Russ.).
- [3] Salychev O. Inertial systems in navigation and geophysics. Bauman MTSU Press, 1998.
- [4] Pitman G.R. Inertial guidance. Wiley, 1962. (Russ. ed.: Inertsial'nye sistemy upravleniya. Moscow, Voenizdat Publ., 1964.)
- [5] Aleshin B.S., Veremeenko K.K., Chernomorskoy A.I., eds. Orientatsiya i navigatsiya podvizhnykh ob'ektov [Orientation and navigation of moving objects]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006 (in Russ.).
- [6] GOST 16504-1981. Sistema gosudarstvennykh ispytaniy produktsii. Osnovnye terminy i opredeleniya [State standard 16504-1981. The state system of testing products. Product test and quality inspection. General terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2011 (in Russ.).
- [7] Prikaz Ministra oborony RF ot 25.10.2001 N 431 "Ob utverzhdenii federal'nykh aviatsionnykh pravil po organizatsii poligonnoy sluzhby v gosudarstvennoy aviatsii" [RF Department of Defense decree of 25.10.2001 no. 431 "On adoption of aviation regulations of range service organization in state aviation"] (in Russ.).

- [8] GOST R 8.736-2011. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy (GSI). Izmereniya pryamyie mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmereniy. Osnovnyie polozheniya [State standard R 8.736-2011. State system for ensuring the uniformity of measurements. Multiple Direct measurements. Methods of measurement results processing. Main positions]. Moscow, Standartinform Publ., 2019 (in Russ.).

Bolotnov A.S. — Student, Department of Radioelectronic Systems and Devices, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Fomin I.I. — Student, Department of Radioelectronic Systems and Devices, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Lednev A.K., Head of Department, Chief Specialist of LLC NPK Electrooptika, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Bolotnov A.S, Fomin I.I. Reconnaissance work for the preparation of field tests of the astroinertial navigation system. *Politekhnicheskii molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 11(52). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-11-655.html> (in Russ.).