

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТНОГО КАНАЛА РАДИОВЫСОТОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ КОНФИГУРИРОВАНИЕМ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ

А.В. Васильева, Н.Н. Калмыков, С.А. Мельников

АО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь»,
г. Каменск-Уральский, Россия

Представлены результаты исследования влияния конфигурации антенной системы на работу скоростного канала радиовысотомерной системы. Предложен способ снижения погрешностей измерения составляющих вектора скорости путем модернизации исходной антенной системы. Эффективность предложенного способа подтверждена посредством моделирования работы скоростного канала радиовысотомерной системы с различной конфигурацией антенных систем.

Ключевые слова: радиовысотомерная система, составляющие вектора скорости, антенная система, корреляционный метод.

Введение

Данная статья посвящена особенностям работы скоростного канала радиовысотомерной системы (РВС), и в частности, снижению погрешностей измерения продольной V_x и поперечной V_z составляющих вектора скорости путем изменения конфигурации антенной системы (АС).

Радиовысотомерная система предназначена для измерения высоты полета и составляющих вектора скорости полета летательного аппарата (ЛА) в связанной системе координат [1].

В состав РВС входят:

- антенная система;
- приёмопередающее устройство;
- многофункциональный блок обработки сигналов;
- блок питания.

Исходная АС РВС представляет собой антенную систему из трёх идентичных микрополосковых антенн с продольным и поперечным разномом между соседними антеннами (рис. 1) [2].

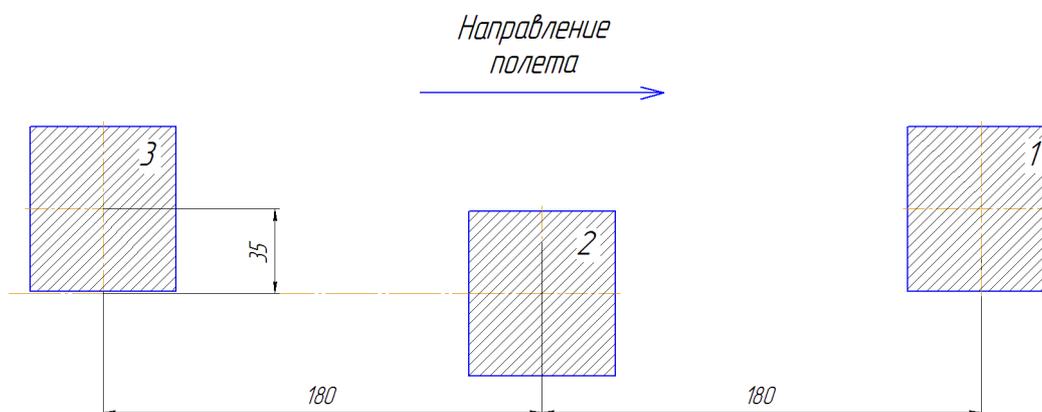


Рис. 1. Геометрия исходной АС

В основу работы высотомерного канала РВС положен импульсный радиолокационный метод измерения высоты со статистической обработкой отраженных сигналов посредством микропроцессорного вычислителя.

В основу работы скоростного канала РВС положен корреляционный метод измерения [3, 4]. Составляющие вектора скорости определяются по положению максимума взаимной корреляционной функции (ВКФ) пространственно-разнесенных между собой отраженных от подстилающей поверхности сигналов, принимаемых разнесенными антеннами, расположенными на ЛА, с учетом геометрии АС РВС. Таким образом, геометрия АС является одним из многочисленных звеньев, обеспечивающих точность измерения составляющих вектора скорости полета ЛА.

Способ снижения погрешностей измерения составляющих вектора

Одним из направлений работы над улучшением тактико-технических характеристик РВС является обеспечение работоспособности скоростного канала над поверхностями с узкой диаграммой обратного рассеяния (ДОР).

Рассматриваемый в данной статье способ решения вышеназванной проблемы предлагает модернизацию РВС путем изменения конфигурации АС (увеличение поперечной базы) с целью снижения погрешности измерения скоростного канала.

В качестве антенной системы для РВС предлагается АС, представленная на рис. 2. АС содержит одну передающую антенну 6 и пять приемных антенн 1–5 [5].

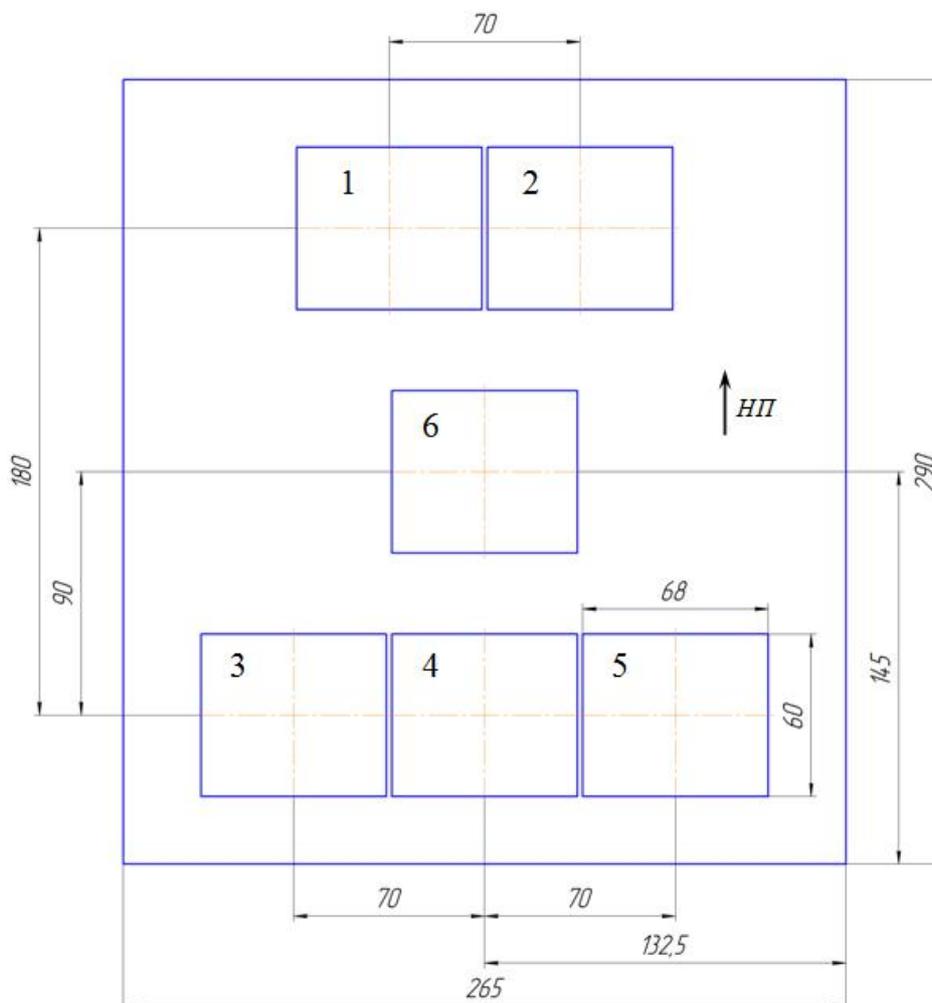


Рис. 2. Геометрия модернизированной АС

Для оценки эффективности предлагаемой АС в математической среде MATLAB было проведено моделирование работы скоростного канала РВС с учетом геометрии модернизированной АС, включающее в себя:

- моделирование отражающей поверхности, представляющей собой классическую фасетную модель;
- моделирование режима излучения сигнала, отраженного от подстилающей поверхности;
- реализацию алгоритмов вычисления составляющих вектора скорости полета ЛА.

Моделирование проводилось при имитации полета ЛА с характеристиками, приведенными в табл. 1, для двух вариантов подстилающей поверхности:

- однородная поверхность типа «лес», ДОР = 30°;
- однородная поверхность типа «вода», ДОР = 3°, 2°, 1,5°.

Таблица 1

Характеристики имитируемого полета ЛА

Высота полета ЛА, $H_{эт}$, м	Продольная составляющая вектора скорости ЛА, $V_{x_{эт}}$, м/с	Поперечная составляющая вектора скорости ЛА, $V_{z_{эт}}$, м/с	Угол сноса, β , °
300	200	10	3
		20	6
		30	9

Примечание. Приведенные характеристики соответствуют условиям полета ЛА в натурной работе.

При полете ЛА над поверхностью с достаточно широкой ДОР для получения оценок составляющих вектора скорости предлагается использовать одну из троек модернизированной АС (см. рис. 2), образующих равнобедренный треугольник, в основании которого две рядом расположенные антенны, например, антенны 1, 3, 4 [4].

Результаты, полученные в ходе моделирования работы скоростного канала РВС с тройкой антенн 1, 3, 4 при полете ЛА над поверхностью с широкой ДОР, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты моделирования

АС	Исходная АС	Модернизированная АС (тройка антенн 1, 3, 4)
СКО V_x	0,38	0,37
СКО V_z	0,64	0,49

По данным, приведенным в табл. 2, следует, что над поверхностью с широкой ДОР РВС с тройкой антенн 1, 3, 4 модернизированной АС работает идентично РВС с исходной антенной (см. рис. 1).

Поскольку предлагаемая АС содержит дополнительные приемные антенны, появляется возможность уменьшить погрешность измерения составляющих вектора скорости. Действительно, выбрав для сравнения корреляционных характеристик сигналов две тройки антенн 1, 3, 4 и 2, 4, 5, можно получить две независимые оценки составляющих вектора скорости. И в соответствии с теорией случайных погрешностей [6] две независимые оценки составляющих вектора скорости позволят уменьшить погрешности измерения параметров в $\sqrt{2}$ раз.

Результаты проверки возможности уменьшения погрешности измерения составляющих вектора скорости РВС путем получения двух независимых оценок составляющих вектора скорости приведены на рис. 3 и в табл. 3.

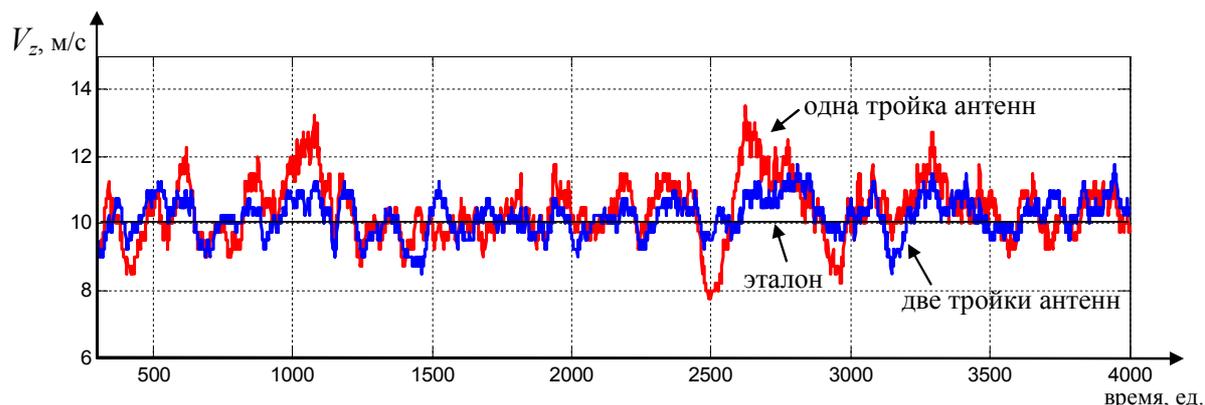


Рис. 3. Поперечная составляющая вектора скорости (ДОР = 30°)

Таблица 3

Результаты моделирования

АС \ SKO	Тройка антенн 1, 3, 4	Две тройки антенн 1, 3, 4 и 2, 4, 5	Отношение $\frac{SKO_{134}}{SKO_{134+245}}$
SKO V_x	0,325	0,326	0,997
SKO V_z	0,733	0,432	1,697

По данным, приведенным на рис. 3 и в табл. 3, следует, что над поверхностью с широкой ДОР путем получения двух независимых оценок составляющих вектора скорости для двух троек антенн 1, 3, 4 и 2, 4, 5:

- погрешность измерения продольной составляющей вектора скорости V_x остаётся неизменной;
- погрешность измерения поперечной составляющей вектора скорости V_z уменьшается более чем в $\sqrt{2}$.

Таким образом, в силу симметричного расположения названных выше троек антенн возможные медленно меняющиеся погрешности боковой составляющей скорости, вызванные взаимным влиянием антенн (отклонение оси диаграммы направленности антенны, увеличение расстояния между фазовыми центрами), противоположны по знаку и компенсируются при усреднении полученных двух оценок.

Максимальные погрешности измерения поперечной составляющей вектора скорости возникают при полете над поверхностями с узкой ДОР, поскольку ВКФ сигналов при этом расширяются, а дискриминационная характеристика становится очень чувствительной (рис. 4).

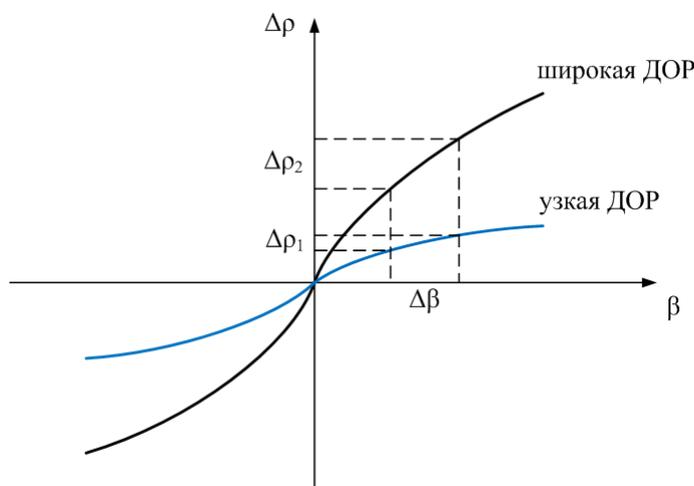


Рис. 4. Дискриминационная характеристика

При использовании модернизированной АС появляется возможность снижения погрешности поперечной составляющей вектора скорости V_z над такими поверхностями путем увеличения поперечного разноса антенн, сигналы которых сравниваются. Таким образом, выбрав пары антенн 1, 5 и 2, 3, построив их ВКФ, получим увеличение поперечного параметра Z_0 АС в три раза, соответственно во столько же раз должна уменьшиться погрешность определения параметра V_z [7].

Результаты моделирования работы скоростного канала РВС с расширенной поперечной базой АС (пары антенн 1, 5 и 2, 3) над поверхностью с узкой ДОР приведены на рис. 5 и в табл. 4.

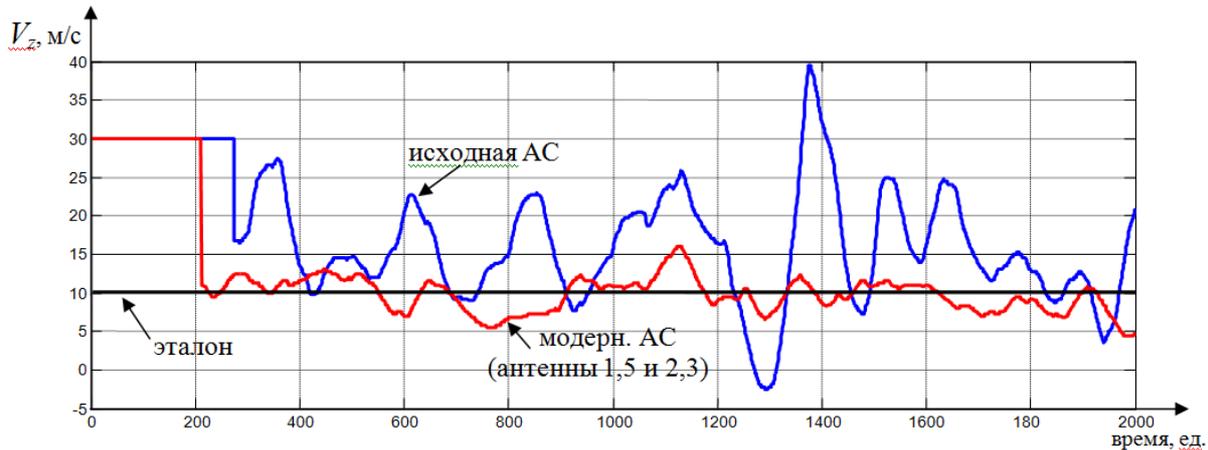


Рис. 5. Поперечная составляющая вектора скорости (ДОР = 1,5°)

Таблица 4

Результаты моделирования

СКО \ АС	Исходная АС	Модернизированная АС (пары антенн 1, 5 и 2, 3)	Ширина ДОР
СКО_ V_z	7,06	2,18	1,5°
	4,29	1,49	2°
	2,75	1,43	3°

По данным, приведенным на рис. 5 и в табл. 4, следует, что при узкой ДОР погрешности измерения поперечной составляющей вектора скорости РВС с модернизированной АС снижаются почти в 3 раза по сравнению с РВС с исходной АС.

Заключение

Таким образом, по результатам моделирования были подтверждены теоретические постулаты по модернизированной антенной системе [7]:

– над поверхностью с широкой ДОР эффективно использовать АС с обычной поперечной базой (тройка антенн 1, 3 и 4). При этом усреднение двух независимых оценок составляющих вектора скорости для двух троек антенн 1, 3, 4 и 2, 4, 5 дает дополнительный выигрыш по погрешностям измерения параметра V_z более чем в $\sqrt{2}$.

– над поверхностью с узкой ДОР целесообразно применять АС с расширенной поперечной базой (пары антенн 1, 5 и 2, 3). Следует отметить, что данный способ снижения погрешности поперечной составляющей скорости V_z будет эффективен только над гладкими поверхностями (ДОР порядка 1,5–3°) при расширении ВКФ.

В настоящее время рассмотренная в данной статье АС закладывается в разрабатываемые предприятием изделия. В частности, данная АС входит в состав РВС перспективного авиационного комплекса дальней авиации.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 8.2538.2017/4.6).

Литература

1. Пат. 2498344 Российская Федерация, МПК G 01 S 13/60. Корреляционный измеритель высоты и составляющих вектора путевой скорости / Н.Н. Калмыков, В.И. Вербицкий, В.В. Соловьев, С.А. Мельников, Н.А. Дядьков. – Заявл. 11.01.2012; опублик. 10.11.2013.
2. А.с. 01689897 СССР, МПК G 01 S 13/48. Приемная антенная система корреляционного измерителя скорости и угла сноса летательного аппарата / В.М. Банников, Н.А. Дядьков. – Заявл. 10.05.1989; опублик. 07.11.1991.
3. Оптимизация алгоритмов оценки поперечной составляющей вектора скорости в корреляционных радиолокационных измерителях / Н.А. Дядьков, В.И. Вербицкий, Н.Н. Калмыков, С.А. Мельников // Сборник научных трудов УГТУ-УПИ. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – Вып. 3. – С. 109–114.
4. Корреляционные измерители путевой скорости и угла сноса летательных аппаратов / М.Н. Боркус, А.Е. Чёрный. – М.: Сов. радио, 1973. – 169 с.
5. Пат. 2601441 Российская Федерация, МПК G 01 S 13/60. Антенное устройство радиовысотометрической системы с повышенной точностью измерения поперечной составляющей скорости / Н.Н. Калмыков, С.А. Мельников, В.В. Соловьев, А.В. Васильева, Д.П. Седов. – Заявл. 22.09.2015; опублик. 10.11.2016.
6. Рабинович, С.Г. Погрешности измерений / С.Г. Рабинович. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.
7. Борбошин, К.С. Повышение точностных характеристик поперечного канала КРИ конфигурированием антенной системы / К.С. Борбошин, А.В. Васильева, В.В. Косоруков // Люльевские чтения: материалы девятой межрегион. отраслевой науч.-техн. конф., «ОКБ «Новатор», 19–20 марта 2014 года. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 80–82.

Васильева Анна Валерьевна, инженер-конструктор 1 категории, АО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь», г. Каменск-Уральский; solovjev@nexcom.ru.

Калмыков Николай Николаевич, заместитель главного конструктора, начальник научно-исследовательского отделения, АО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь», г. Каменск-Уральский; solovjev@nexcom.ru.

Мельников Сергей Андреевич, ведущий конструктор, АО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь», г. Каменск-Уральский; solovjev@nexcom.ru.

Поступила в редакцию 27 июня 2017 г.

DOI: 10.14529/ctcr170406

INCREASING ACCURACY OF THE MEASUREMENTS OF SPEED CHANNEL ALTIMETER'S SYSTEM BY CONFIGURATION OF ANTENNA SYSTEM

A.V. Vasil'eva, N.N. Kalmykov, S.A. Mel'nikov

Ural design bureau "Detal" JSC, Kamensk-Ural'skiy, Russian Federation
solovjev@nexcom.ru

In article are presented results of the study of the influence configuration of the antenna system on operation the speed channel of altimeter's system. Also the way is offered of the reduction of accuracy measurement of the components of velocity vector by modernizations of the source antenna system. Efficiency of the offered way is confirmed by means of modeling of the functioning the speed channel of altimeter's system with different configurations of the antenna systems.

Keywords: altimeter's system, components of velocity vector, antenna system, correlation method.

The research was executed by the grant of the Ministry of education and science of the Russian Federation (project no. 8.2538.2017/4.6).

References

1. Kalmykov N.N., Verbickij V.I., Solov'ev V.V., Mel'nikov S.A., Dyad'kov N.A. *Korrelyatsionnyy izmeritel' vysoty i sostavlyayushchikh vektora putevoy skorosti* [Correlating Measurer of the Height and Forming Vector of Actual Speed]. Patent RF, no. 2498344, 2013.
2. Bannikov V.M., Dyad'kov N.A. *Priemnaya antennaya sistema korrelyatsionnogo izmeratelya skorosti i ugla snosa letatel'nogo apparata* [Receiving Antenna System of Correlating Measurer of Velocity and Rake Angle of Aircraft]. Patent USSR, no. 01689897, 1991.
3. Dyad'kov N.A., Verbickij V.I., Kalmykov N.N., Mel'nikov S.A. [Optimization Algorithm Estimations Transverse Forming Vector of Velocities in Correlation Radar Meter]. *Collect. of Scient. Works*. Ekaterinburg, UGTU-UI Publ., 2009, issue 3, pp. 109–114. (in Russ.)
4. Borkus M.N., Chyornyj A.E. *Korrelyatsionnye izmeriteli putevoy skorosti i ugla snosa letatel'nykh apparatov* [Correlating Measurer of Velocity and Rake Angle of Aircraft]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1973. 169 p.
5. Kalmykov N.N., Mel'nikov S.A., Solov'ev V.V., Vasil'eva A.V., Sedov D.P. *Antennoe ustroystvo radiovysotomernoy sistemy s povyshennoy tochnost'yu izmereniya poperechnoy sostavlyayushchey skorosti* [Antenna Device of Altimeter's System with Raised Measurement Accuracy of the Transverse Forming Velocities]. Patent RF, no. 2601441, 2016.
6. Rabinovich S.G. *Pogreshnosti izmereniy* [Inaccuracy of the Measurements]. Leningrad, Energy Publ., 1978. 262 p.
7. Borboshin K.S., Vasil'eva A.V., Kosorukov V.V. [Increasing of Accuracy Features of the Transverse Channel of Correlating Measurer by Configuration of Antenna System]. *Lyul'evskie chteniya: materialy devyatoj mezhregion. otraslevoy nauch.-tekhn. konf.* [Proc. of the Ninth Interregional Research Conference]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2014, pp. 80–82. (in Russ.)

Received 27 June 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Васильева, А.В. Повышение точностных характеристик скоростного канала радиовысотометрической системы конфигурированием антенной системы / А.В. Васильева, Н.Н. Калмыков, С.А. Мельников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 47–53. DOI: 10.14529/ctcr170406

FOR CITATION

Vasil'eva A.V., Kalmykov N.N., Mel'nikov S.A. Increasing Accuracy of the Measurements of Speed Channel Altimeter's System by Configuration of Antenna System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 47–53. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr170406