

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

М.Н. Устюгов, М.А. Щипицына

SIMULATION RESULTS OF THE ERROR IDENTIFICATION PROBLEM OF INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

M.N. Ustyugov, M.A. Shchipitsyna

Изложены результаты численного моделирования процедуры калибровки инерциальной навигационной системы на движущемся объекте, где в качестве критерия точности принята относительная погрешность калибровки платформы и акселерометров, и исследовалось влияние на эту погрешность исходной информации о кинематике объекта, времени калибровки, моментах времени съема сигналов датчиков, расположении на объекте эталонной и калибруемой инерциальных навигационных систем.

Ключевые слова: инерциальная навигационная система, погрешность, ИНС, БИНС, калибровка, подвижное основание.

The results of numerical simulation of calibration of inertial navigation system on a moving target are given. As criterion of accuracy the fractional error of calibration of platform and acceleration indicator was taken. The influence of the source information about object kinematics, time of calibration, moments of reading the sensory data, position of reference and calibrated inertial navigation systems on the object upon this error was researched.

Keywords: inertial navigation system, error, INS, strapdown inertial navigation system (SINS), calibration, moving base.

В работе [1] выполнено математическое описание и составлен алгоритм функционирования имитационной модели процедуры калибровки платформенной инерциальной навигационной системы, позволяющие определять по десять калибровочных коэффициентов для каждого канала стабилизации ее площадки и по десять калибровочных коэффициентов для каждого ее акселерометра на произвольно движущемся в пространстве объекте, а также указан алгоритм решения этой задачи при наличии реальной измерительной информации. В работе [2] выполнено математическое описание и составлен алгоритм функционирования имитационной модели процедуры калибровки подсистемы платформенной инерциальной навигационной системы (ИНС), состоящей из одноосной стабилизированной площадки и установленных на этой площадке двух взаимно ортогональных акселерометров, а также указано, что разработана программа, реализующая указанную имитационную модель.

Используя обозначения, введенные в работе [2], приведем некоторые наиболее существенные результаты численного моделирования для задачи идентификации погрешностей калибруемой ИНС-В.

1. Базовые исходные данные

Введем численные значения исходных данных согласно таблице, которые назовем базовыми и влияние отклонений от которых на точность калибровки будем фиксировать на основе вычислений по указанной программе.

2. Результаты численного моделирования

Результаты численного моделирования задачи идентификации погрешностей ИНС представлены на рис. 1-10 семействами графиков, ординатами каждого семейства являются относительные погрешности калибровки площадки (S^e) и акселерометров (S^A), абсциссой - один из варьируемых параметров, а каждая кривая семейства отражает влияние второго варьируемого параметра.

Устюгов Михаил Николаевич - д.т.н., профессор кафедры систем управления ЮУрГУ; su@susu.ac.ru.

Щипицына Мария Анатольевна - аспирант кафедры систем управления ЮУрГУ; maria_shchipitsyna@rambler.ru.

Ustyugov Mikhail Nikolaevich - PhD, professor of control systems department of SUSU; su@susu.ac.ru.

Shchipitsyna Mariya Anatolievna - post-graduate student of control system department of SUSU; maria_shchipitsyna@rambler.ru.

Закключение

Имеют место следующие результаты анализа влияния варьируемых параметров на точность калибровки площадки и акселерометров ИНС-В (при остальных базовых исходных данных (согласно таблице)):

1. Анализ влияния параметров времени T , Δt на точность калибровки показал, что:

1.1. С увеличением времени T калибровки в интервале от 10 с до 1000 с точность калибровки

- площадки уменьшается, т.е. относительная погрешность S^Q уменьшается на один порядок;
- акселерометров увеличивается, т.е. относительная погрешность S^A уменьшается на один порядок.

1.2. С увеличением шага Δt в интервале от 0,001 с до 0,1 с точность калибровки

- площадки увеличивается, т.е. относительная погрешность S^Q уменьшается от 10^{-1} до 10^{-3} ;
- акселерометров уменьшается, т.е. относительная погрешность S^A увеличивается от 10^{-4} до 10^{-2} .

1.3. Наиболее подходящие для практики интервалы изменения параметров T , Δt следующие: $T \in [400; 1000]$ с, $\Delta t \in [0,01; 0,1]$ с – при которых относительные погрешности $S^Q \in [10^{-3}; 10^{-2}]$; $S^A \in [10^{-4}; 10^{-3}]$.

2. Анализ влияния параметров t_1 , t_2 ($t_3 = 0,9T$; $T = 1000$ с; $\Delta t = 0,01$ с) моментов времени съема информации показал, что:

2.1. Для фиксированного t_2 при увеличении t_1 в интервале от $0,1T$ до $0,5T$ относительные погрешности калибровки S^Q , S^A увеличиваются в пределах одного порядка соответственно $[10^{-3}; 10^{-2}]$ для S^Q , $[10^{-4}; 10^{-3}]$ для S^A .

2.2. Для фиксированного t_1 при увеличении t_2 в интервале от $0,3T$ до $0,8T$ относительные погрешности калибровки S^Q , S^A изменяются в пределах одного порядка соответственно $[10^{-3}; 10^{-2}]$ для S^Q , $[10^{-4}; 10^{-3}]$ для S^A .

2.3. Наиболее подходящие для практики интервалы изменения параметров t_1 , t_2 следующие:

$$t_1 = 0,1T, t_2 = 0,3T;$$

$$t_1 = 0,2T, t_2 = 0,4T;$$

$$t_1 = 0,1T, t_2 = 0,8T,$$

при которых относительные погрешности $S^Q \in [10^{-3}; 10^{-2}]$; $S^A \in [10^{-4}; 10^{-3}]$.

3. Анализ влияния параметров α^Q , ω углового движения объекта показал, что:

3.1. Для фиксированной величины α^Q амплитуды при увеличении частоты колебаний объекта в интервале $[0,1; 1]$ с $^{-1}$:

- относительная погрешность S^Q калибровки площадки увеличивается от величины порядка 10^{-4} до величины порядков 10^{-3} ; 10^{-2} ;

- относительная погрешность S^A калибровки акселерометров увеличивается в пределах порядков 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} .

3.2. Для фиксированной величины ω частота при увеличении амплитуды колебаний объекта в интервале $[0,025; 0,5]$ с $^{-1}$:

- относительная погрешность S^Q калибровки площадки увеличивается от величины порядка 10^{-3} ;
- относительная погрешность S^A калибровки акселерометров увеличивается в пределах порядков 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} .

3.3. Наиболее подходящие для практики интервалы изменения параметров α^Q , ω следующие: $\alpha^Q \in [0,025; 0,1]$ с $^{-1}$; $\omega \in [0,1; 1,0]$ с $^{-1}$, при которых относительные погрешности $S^Q \in [10^{-3}; 10^{-2}]$; $S^A \in [10^{-4}; 10^{-3}]$.

4. Анализ влияния параметров K_{13}^A , K_{23}^A испытываемого движения объекта показал, что:

4.1. Для фиксированных величин $K_{12}^A = 0,1$; $K_{22}^A = 0,3$ и фиксированной величины K_{23}^A при увеличении $K_{13}^A \in [0,01; 0,8]$ относительная погрешность:

- S^Q изменяется в пределах порядка 10^{-2} ;
- S^A изменяется в пределах порядка 10^{-3} .

4.2. Для фиксированных величин $K_{12}^A = 0,1$; $K_{22}^A = 0,3$ и фиксированной величины K_{13}^A при увеличении $K_{23}^A \in [0,01; 3,2]$ относительная погрешность:

- S^Q изменяется в пределах порядка 10^{-2} ;
- S^A изменяется в пределах порядка 10^{-3} .

4.3. Наиболее подходящие для практики величины параметров K_{13}^A , K_{23}^A следующие:

$$K_{13}^A = 0,2, K_{23}^A = 0,4;$$

$$K_{13}^A = 0,8, K_{23}^A = 0,2, 0,4, 0,8,$$

при которых относительные погрешности $S^Q \approx 10^{-3}$; $S^A \approx 10^{-4}$.

5. Анализ влияния параметров L_1^B , L_2^B расположения ИНС В на объекте показал, что:

5.1. Для фиксированных $L_1^A = 10$ м, $L_2^A = 20$ м и фиксированной величине L_1^B в интервале $[10; 640]$ м относительные погрешности S^Q , S^A увеличиваются от порядка 10^{-3} до порядка 10^{-2} .

5.2. Для фиксированных $L_1^A = 10$ м, $L_2^A = 20$ м и фиксированной величине L_1^B при увеличении L_2^B в интервале $[10; 640]$ м относительные погрешности S^Q , S^A увеличиваются от порядка 10^{-3} до порядка 10^{-1} .

5.3. Наиболее подходящие для практики величины параметров L_1^B , L_2^B следующие:

$$L_1^B \in [10; 40] \text{ м};$$

$$L_2^B \in [10; 80] \text{ м},$$

при которых относительные погрешности $S^Q \sim 10^{-3}$; $S^A \sim 10^{-3}$.

6. Анализ влияния моделей калибровочных коэффициентов (КК) площадки ИНС-В показал, что:

6.1. Для фиксированных КК акселерометров и фиксированных $\tilde{P}_0^Q, \tilde{P}_1^Q$ при увеличении \tilde{P}_2^Q от 10^{-10} до 10^{-7} относительная погрешность S^Q увеличивается от 10^{-2} до 10^0 , а относительная погрешность S^A не изменяется.

6.2. Для фиксированных КК акселерометров и фиксированных $\tilde{P}_0^Q, \tilde{P}_2^Q$ при увеличении \tilde{P}_1^Q от 10^{-10} до 10^{-7} относительная погрешность S^Q увеличивается от 10^{-2} до 10^0 , а относительная погрешность S^A не изменяется.

6.3. При увеличении или уменьшении $\tilde{P}_1^Q \in [10^{-10}; 10^{-7}]$, $\tilde{P}_2^Q \in [10^{-10}; 10^{-7}]$ в одинаковое количество раз (на одинаковое количество порядков) относительная погрешность S^Q не изменяется.

7. Анализ влияния моделей КК акселерометров ИНС В показал, что:

7.1. Для фиксированных КК площадки и фиксированных $\tilde{P}_{i0}^A, \tilde{P}_{i1}^A$ при увеличении \tilde{P}_{i2}^A от

10^{-6} до 10^{-3} относительная погрешность S^A увеличивается от 10^{-4} до 10^{-1} , а относительная погрешность S^Q не изменяется.

7.2. Для фиксированных КК площадки и фиксированных $\tilde{P}_{i0}^A, \tilde{P}_{i2}^A$ при увеличении \tilde{P}_{i1}^A от 10^{-6} до 10^{-3} относительная погрешность S^A увеличивается от 10^{-4} до 10^{-1} , а относительная погрешность S^Q не изменяется.

7.3. При увеличении или уменьшении $\tilde{P}_{i1}^A \in [10^{-6}; 10^{-3}]$, $\tilde{P}_{i2}^A \in [10^{-6}; 10^{-3}]$ в одинаковое количество раз (на одинаковое количество порядков) относительная погрешность S^A не изменяется.

Литература

1. Щипицын, А. Г. Математическое описание для процедуры калибровки инерциальной навигационной системы / А. Г. Щипицын // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». - 2007. - Вып. 5, М 7(79). - С. 52-61.

2. Щипицына, М. А. Алгоритм функционирования имитационной модели процедуры калибровки инерциальной навигационной системы. / М. А. Щипицына // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». - 2007. - Вып. 5, № 8(80). - С. 21-25.

Поступила в редакцию 4 октября 2007 г.

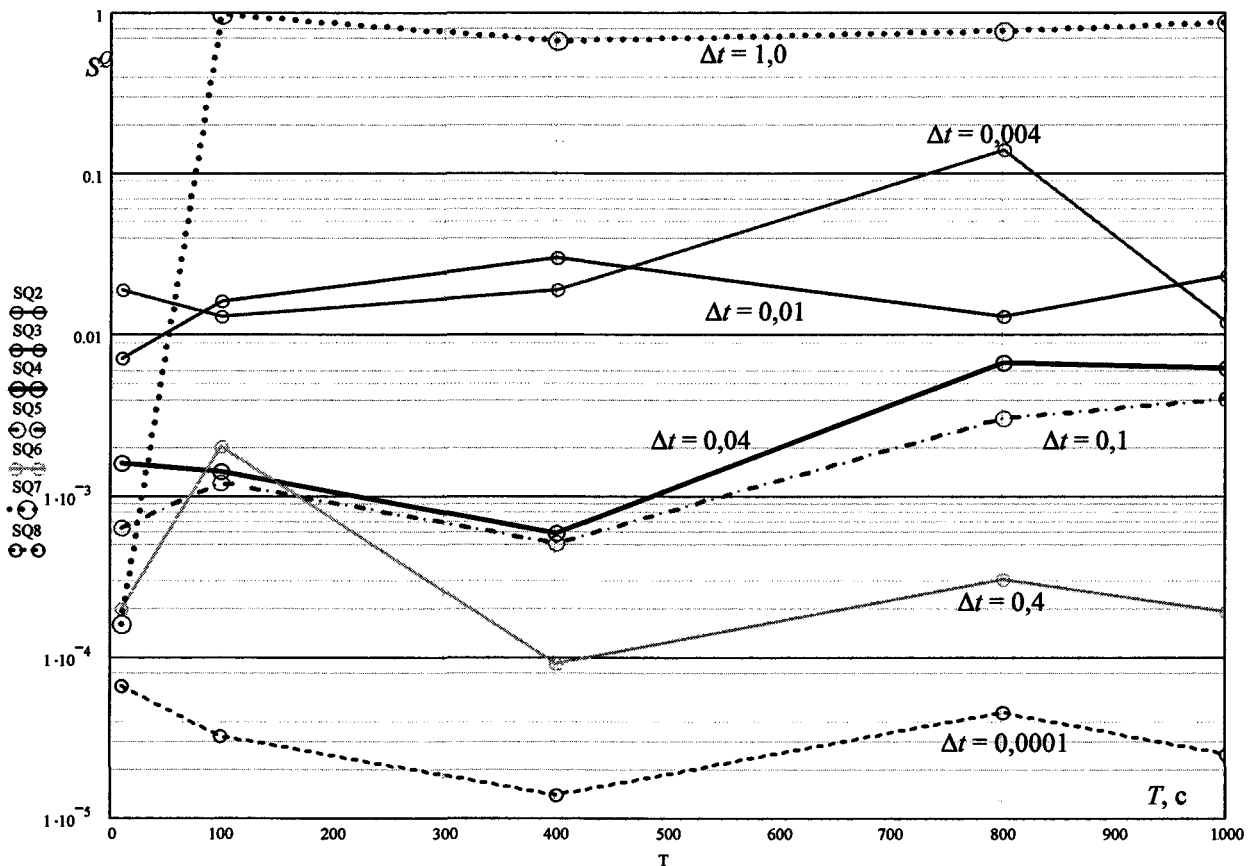


Рис. 1. Зависимость точности определения КК площадки от параметров $T, \Delta t$

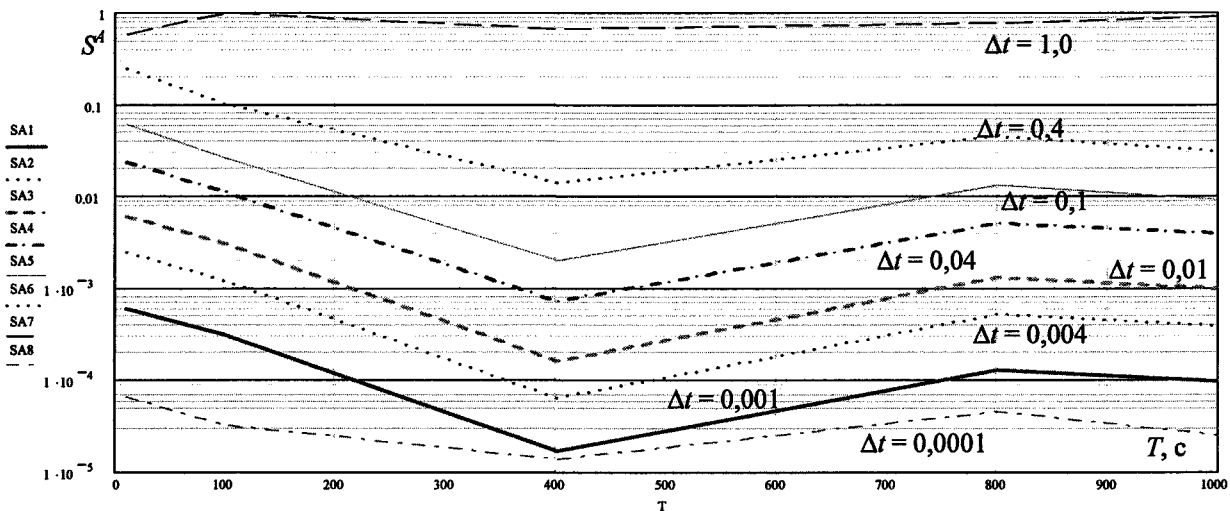


Рис. 2. Зависимость точности определения КК акселерометров от параметров T , Δt

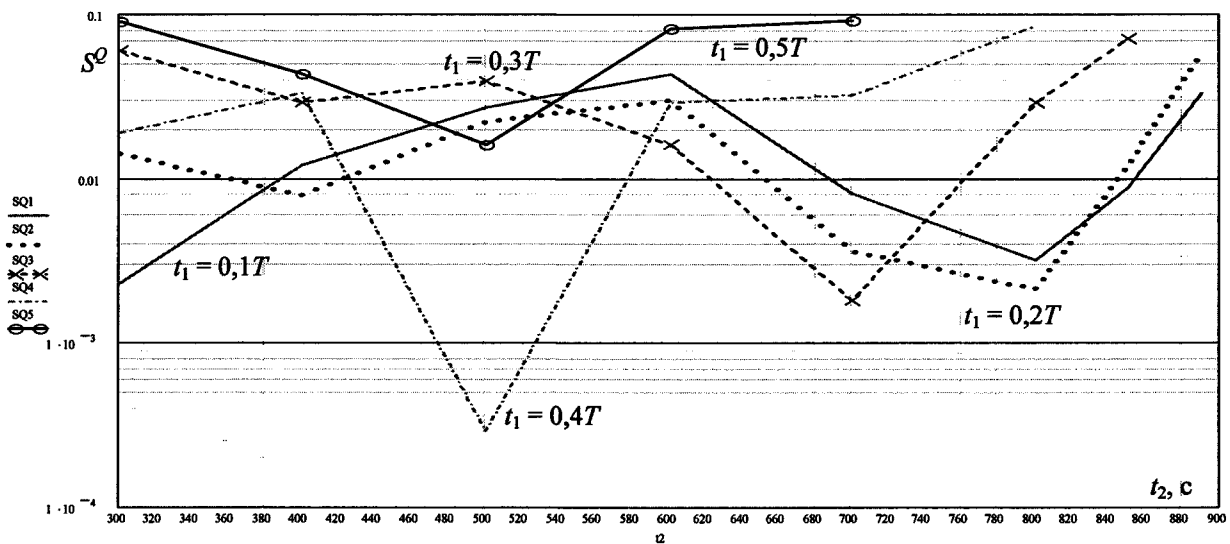


Рис. 3. Зависимость точности определения КК площадки от параметров t_1 , t_2

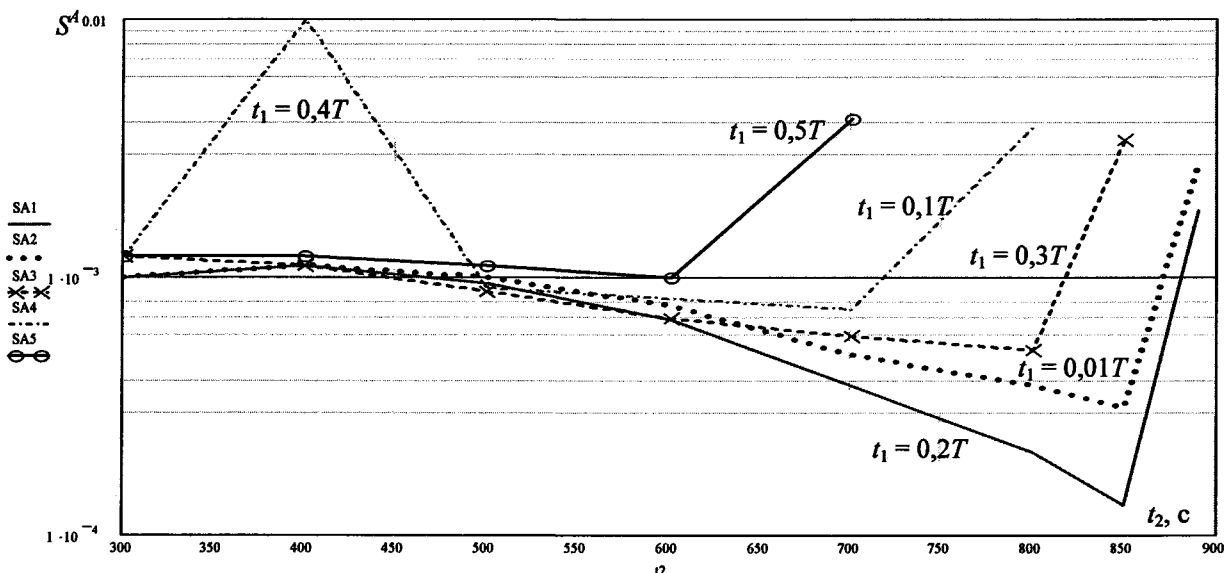


Рис. 4. Зависимость точности определения КК акселерометров от параметров t_1 , t_2

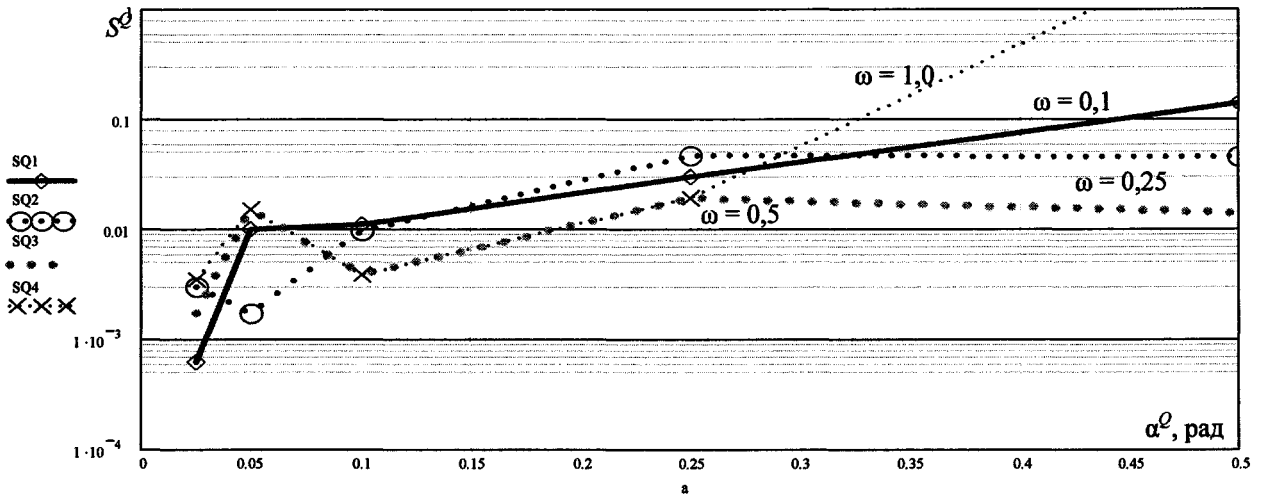


Рис. 5. Зависимость точности определения КК площадки от параметров
углового движения объекта α^Q, ω

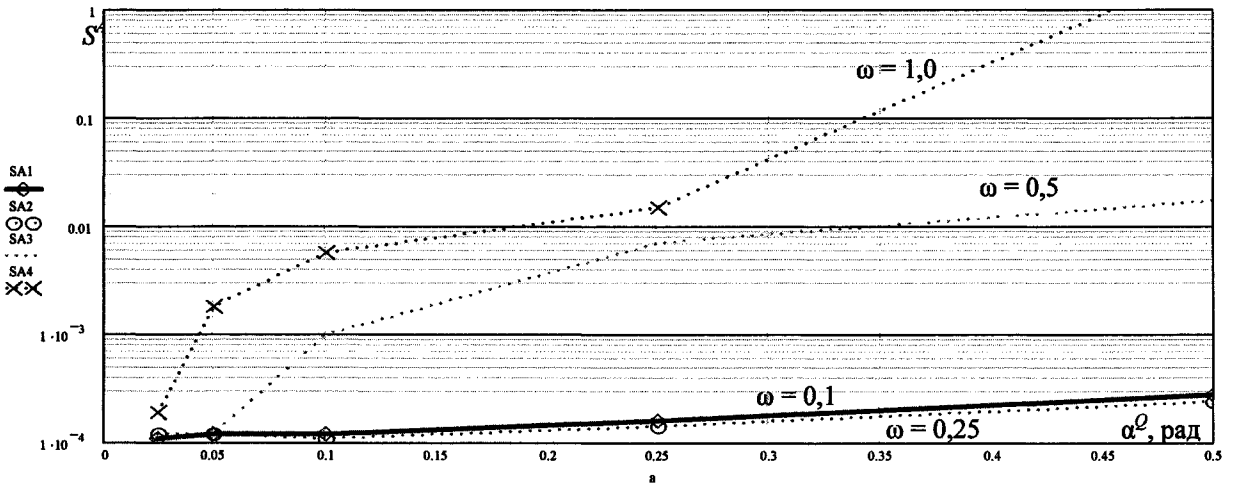


Рис. 6. Зависимость точности определения КК акселерометров от параметров
углового движения объекта α^Q, ω

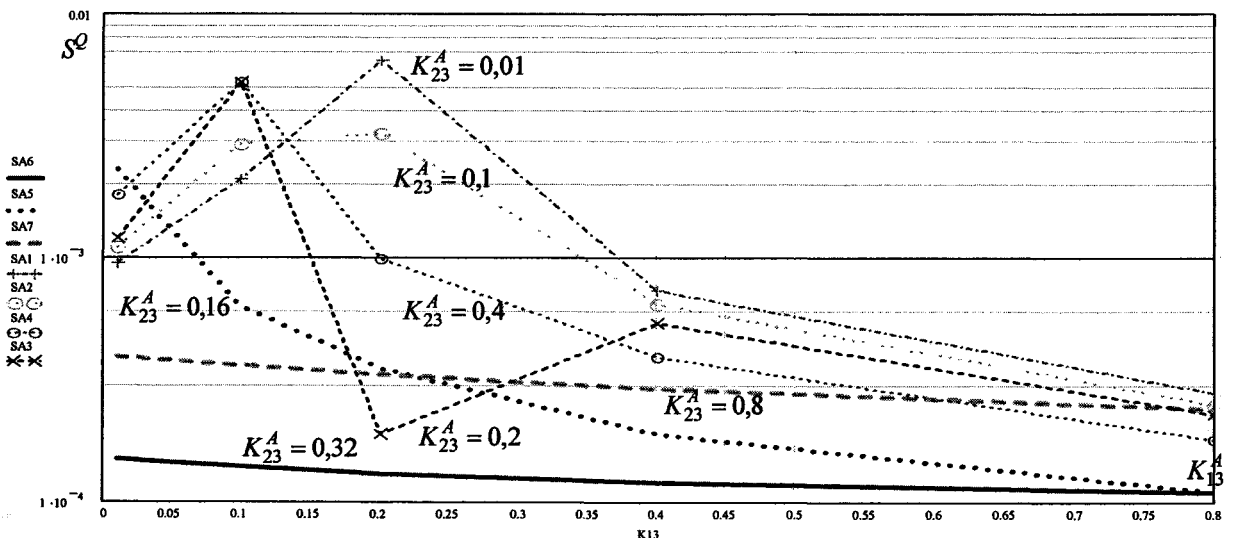


Рис. 7. Зависимость точности определения КК площадки от параметров
поступательного движения объекта K_{13}^A, K_{23}^A

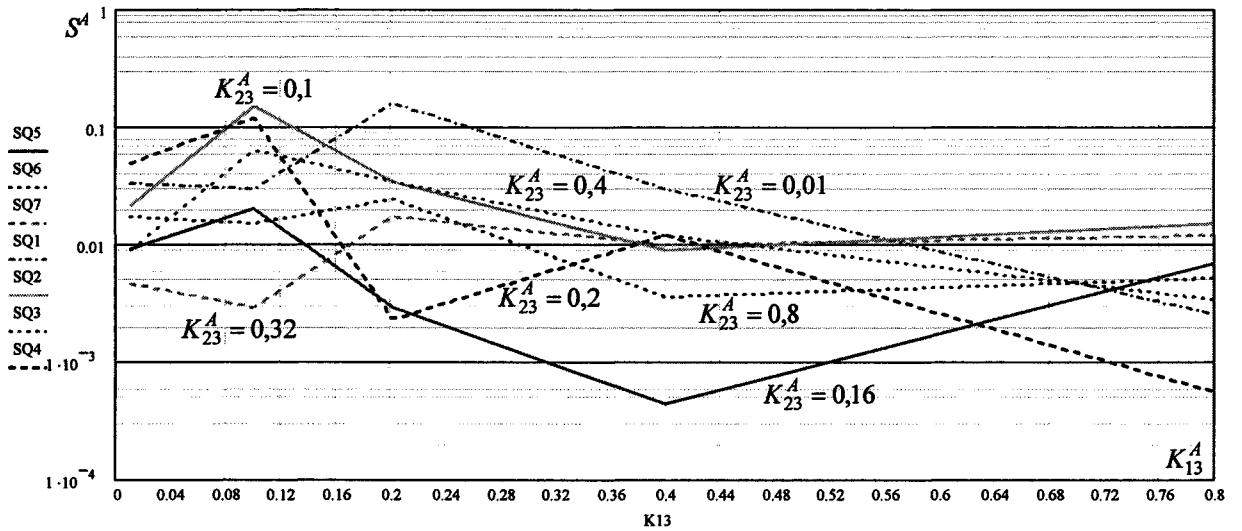


Рис. 8. Зависимость точности определения КК акселерометров от параметров поступательного движения объекта K_{13}^A, K_{23}^A

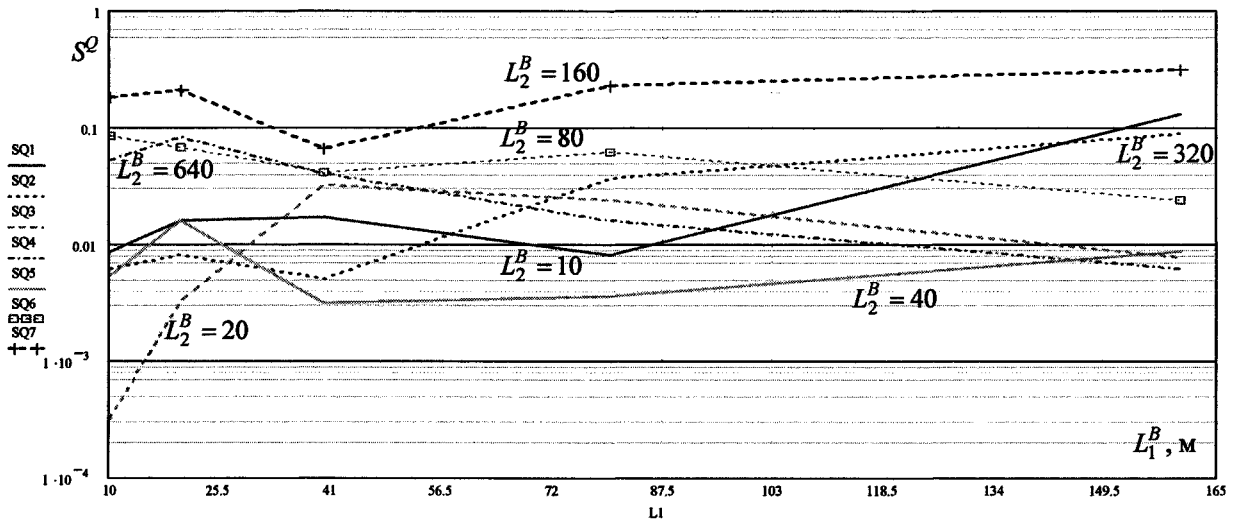


Рис. 9. Зависимость точности определения КК площадки от параметров L_1^B, L_2^B

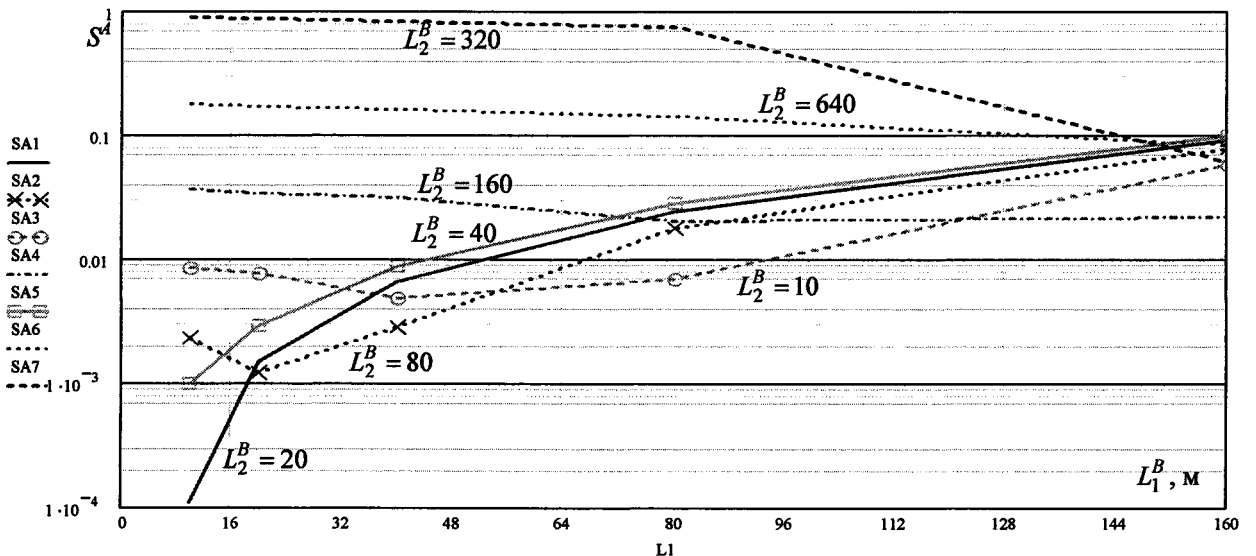


Рис. 10. Зависимость точности определения КК акселерометров от параметров L_1^B, L_2^B