

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ /
MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

DOI: <https://doi.org/10.18454/COMP.2024.2.1>

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ
ЦЕЛИ ПО ДАЛЬНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СХЕМЫ «КОД-ВРЕМЕННАЯ ЗАДЕРЖКА»

Научная статья

Тураева Н.М.^{1*}

¹ ORCID : 0000-0003-4586-7401;

¹ Ташкентский университет информационных технологий, Ташкент, Узбекистан

* Корреспондирующий автор (t.nasiba[at]gmail.com)

Аннотация

В данной статье рассматривается математическая модель цифровой системы автоматического сопровождения цели по дальности, которая, в отличие от существующих, удовлетворяет по всем требованиям устойчивости и качеству системы измерения дальности и автоматического сопровождения цели. Также в статье показана структурная схема и построена математическая модель преобразователя «код-временная задержка», которая исследована на устойчивость и качество, определены допустимые области параметров цифрового управляющего устройства, обеспечивающие устойчивость работы построенной математической модели. Определены допустимые области параметров алгоритма работы цифрового управляющего устройства, при которых система автоматического сопровождения дальности соответствует своему назначению.

Ключевые слова: цифровая система, автоматическое сопровождение цели, дальность, математическая модель, преобразователь напряжения, схема.

A MATHEMATICAL MODEL OF THE DIGITAL SYSTEM OF AUTOMATIC TARGET TRACKING BY RANGE
WITH THE USE OF THE "CODE-TIME DELAY" SCHEME

Research article

Turaeva N.M.^{1*}

¹ ORCID : 0000-0003-4586-7401;

¹ Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, Uzbekistan

* Corresponding author (t.nasiba[at]gmail.com)

Abstract

This article examines the mathematical model of the digital system of automatic target tracking by range, which, unlike the existing ones, satisfies all the requirements of stability and quality of the system of range measurement and automatic target tracking. Also in the work the structural scheme is shown and the mathematical model of the converter "code-time delay" is constructed, which is tested for stability and quality, the admissible areas of parameters of the digital control device, providing stability of the constructed mathematical model, are determined. The permissible areas of the parameters of the algorithm of the digital control device, at which the system of automatic range tracking corresponds to its purpose, are determined.

Keywords: digital system, automatic target tracking, range, mathematical model, voltage converter, scheme.

Введение

Как показывает анализ работы современной авиационной техники, ее эксплуатация осуществляется при широком воздействии разнообразных параметров (радиопомех, маневра целей и прочее). Эффективность работы воздушного судна во многом определяется системой автоматического сопровождения цели. Особенно это относится к работе систем автоматического сопровождения целей по угловым координатам и дальности (АСД). Запаса динамической устойчивости и быстродействия не всегда хватает для устойчивого автоматического сопровождения маневренных целей, что приводит к неконтрольному режиму управления. При этом существенно повышаются и ошибки сопровождения целей [1]. Поэтому вышеуказанные факторы необходимо учитывать при разработке систем автоматического сопровождения целей.

В данной статье была разработана математическая модель цифровой системы автоматического сопровождения цели для обеспечения эффективности и безопасности полётов маневренных целей.

Основные результаты

Преобразователь код-временная задержка (ПКЗ) и генератор селективирующих импульсов (GI) являются формирователем управляющих по задержке импульсов. В каждом такте работы ПКЗ осуществляется преобразование числа НК(kT) в пропорциональный ему временной сдвиг выходного импульса. Принцип работы ПКЗ объясняется на рис. 1.

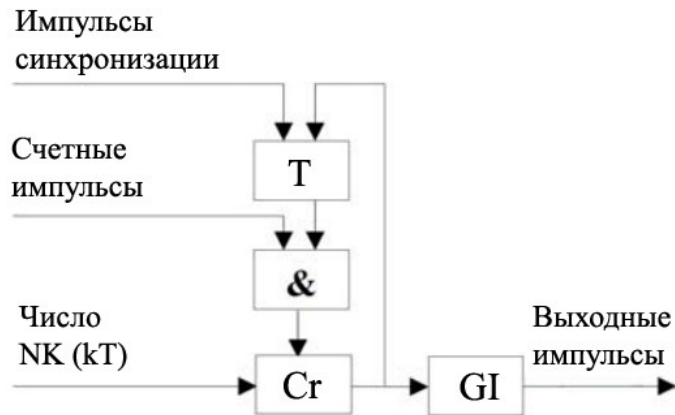


Рисунок 1 - Структурная схема преобразователя «код-временная задержка»
DOI: <https://doi.org/10.18454/COMP.2024.2.1.1>

Начало следующего такта работы определяет нахождение на вход триггера Т синхронизирующих импульсов.

При этом происходит опрокидывание триггера Т и напряжение на его выходе увеличивается. В результате счетные импульсы через схему «&» начинают поступать на счетчик импульсов Cr. В счетчик предварительно записывается с обратным знаком число НК (кТ). После поступления в счетчик НК счетных импульсов в нем фиксируется число ноль, а на выходе появляется импульс переполнения, который используется для запуска генератора селективирующих импульсов. Одновременно выходной импульс ПКЗ возвращает триггер Т в исходное состояние [9].

Преобразователь код-временная задержка и генератор импульсов являются практически безынерционными устройствами [3]. Поэтому можно предположить, что задержка селективирующих импульсов и число НК связаны пропорциональной зависимостью:

$$\tau_{ci}(kT) = T_{ли} \cdot \dots \cdot N(kT) \quad (1)$$

Структура математической модели преобразователя «код – временная задержка» приведена на рис. 2.

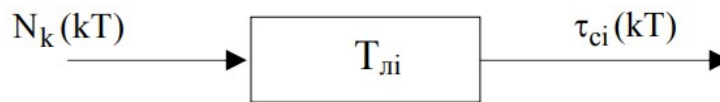


Рисунок 2 - Структура математической модели преобразователя «код-временная задержка»

DOI: <https://doi.org/10.18454/COMP.2024.2.1.2>

Основные результаты

2.1. Построение математической модели преобразователя «код-временная задержка»

Преобразователь код-временная задержка (ПКЗ) и генератор селективирующих импульсов (GI) являются формирователем управляющих по задержке импульсов. В каждом такте работы ПКЗ осуществляется преобразование числа НК(кТ) в пропорциональный ему временной сдвиг выходного импульса. Принцип работы ПКЗ объясняется на рис. 1. Начало следующего такта работы определяет нахождение на вход триггера Т синхронизирующих импульсов.

При этом происходит опрокидывание триггера Т и напряжение на его выходе увеличивается. В результате счетные импульсы через схему «&» начинают поступать на счетчик импульсов Cr. В счетчик предварительно записывается с обратным знаком число НК (кТ). После поступления в счетчик НК счетных импульсов в нем фиксируется число ноль, а на выходе появляется импульс переполнения, который используется для запуска генератора селективирующих импульсов. Одновременно выходной импульс ПКЗ возвращает триггер Т в исходное состояние [9].

Преобразователь код-временная задержка и генератор импульсов являются практически безынерционными устройствами [3]. Поэтому можно предположить, что задержка селективирующих импульсов и число НК связаны пропорциональной зависимостью:

$$\tau_{ci}(kT) = T_{ли} \cdot \dots \cdot N(kT) \quad (1)$$

Структура математической модели преобразователя «код – временная задержка» приведена на рис. 2.

2.2. Анализ устойчивости системы АСД

Для анализа устойчивости цифровой системы АСД необходимо определить характеристический многочлен замкнутой системы. Для этого необходимо определить оператор передачи разомкнутой схемы автоматического управления (САУ) R(S).

Как следует из рис.3,

$$R(S) = K_{gr} \cdot K_0(S) \cdot K_e(S)S^{-1} \quad (2)$$

где:

$R(S)$ – оператор передачи разомкнутой схемы автоматического управления (САУ),

$K_0(S)$ – линейный стационарный разностный оператор оценивания дальности,

$K_e(S)$ – линейный стационарный разностный оператор экстраполяции дальности,

K_{gr} – коэффициент усиления с размерностью (одиночный разряд), связывающий величину погрешности дальности, выраженную в метрах, со значением исходного кода ПНК.

После подстановки $K_0(S)$ получаем:

$$R = q(K_1 + K_2)S - K_1 / (S - 1) = B(S)/A(S), \quad (3)$$

где $q = k_{gr}/k_m$ – отношение фактической крутизны дискриминаторной характеристики к ее значению, хранящемуся в преобразователе код-временная задержка и цифровом код-преобразователе ($0 < q < 1$).

Для определения условий устойчивости схемы автоматического управления составим характеристическое уравнение:

$$(Z) = A(Z) + B(Z) = Z^2 + Z_q(K_1 + K_2T) - qK_1 + 1. \quad (4)$$

Для того чтобы система была устойчивой, корни данного уравнения должны быть по модулю меньше единицы. Поэтому дальнейшее решение задачи сводится к отысканию корней Z_1 и Z_2 и определению областей значений параметров K_1 и K_2T , при которых $Z_2 < 1$ и $Z_1 < 1$.

Более просто эта задача может быть решена с использованием критерия устойчивости Гурвица. Для этого преобразуем характеристический многочлен $C(Z)$ в многочлен:

$$C(v) = (1 - v)^n C(Z), \quad Z = 1 + v / 1 - v$$

где v – комплексная переменная, имеющая положительную часть при $Z < 1$ [4].

$$\begin{aligned} C(v) &= (1 + v)^2 + [q(K_1 + K_2T) - 2] \cdot (1 - v^2) + (1 - qK_1) \cdot (1 - v)^2 = \\ &= [2 - q(K_1 + K_2T) + (2 - qK_1)]v^2 + 2[1 - (1 - qK_1)]v + qK_2T \end{aligned} \quad (5)$$

Согласно критерию устойчивости Гурвица, для того чтобы схема автоматического управления второго порядка была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы все коэффициенты характеристического уравнения были положительными [7]. Таким образом, условия устойчивости цифровой системы автоматического сопровождения исследуемой дальности будут следующими:

$$2K_1 + K_2T < 4/q,$$

$$K_1 > 0,$$

$$K_2T > 0.$$

Область устойчивости можно изобразить графически (рис. 3).

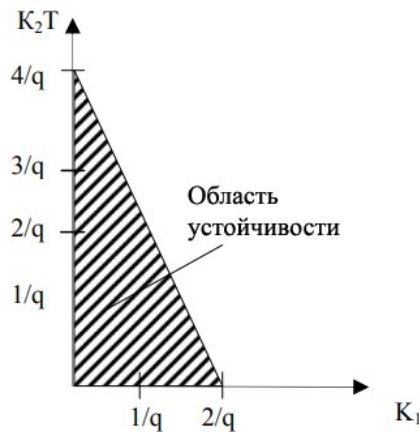


Рисунок 3 - Область устойчивости цифровой системы АСД

DOI: <https://doi.org/10.18454/COMP.2024.2.1.3>

Для оценки показателей качества системы автоматического сопровождения дальности в переходном режиме используем прямой метод, потому что система автоматического сопровождения дальности имеет второй порядок астатизма и для нее не сложно определить переходную характеристику $H(nT)$.

Z – изображение переходной характеристики $H(nT)$ имеет вид:

$$H(Z) = \frac{Z}{Z-1} \cdot W(Z) = \frac{Z}{Z-1} \cdot \frac{(K_2T + K_1)Z - K_1}{(Z-1)^2 + (K_2T + K_1)Z - K_1}$$

Раскладывая на дроби выражение для $H(Z)$, получим следующий результат:

$$H(Z) = \frac{Z}{Z-1} + \frac{(K_2T + K_1)Z + 1 - K_1}{(Z-1)^2 + (K_2T + K_1)Z - K_1} \quad (6)$$

Конечное выражение для переходной характеристики зависит от характера корней знаменателя второй дроби. Первой дроби соответствует единичная ступенчатая решетчатая функция $1(nT - T)$.

В общем виде переходную характеристику можно записать в следующем образе:

$$H(nT) = 1(nT - T) + h_1(nT) + h_2(nT) \quad (7)$$

Если корни знаменателя второй дроби выражения (6) комплексно сопряжены, тогда функции $h_1(nT)$ и $h_2(nT)$ выражаются через умножение гармонической и показательной решетчатой функции [10].

График переходной характеристики системы АСД показан на рис. 4.

2.3. Оптимизация параметров K_1 и K_2 алгоритма оценивания и экстраполяции по критерию минимума среднеквадратичной погрешности

Согласно условиям задачи, ввиду воздействия-дискретный белый шум с дисперсией D_f , а влияние-детерминированная функция вида:

$$r(nT) = r_0 + gt^2/2|_{t=nT}$$

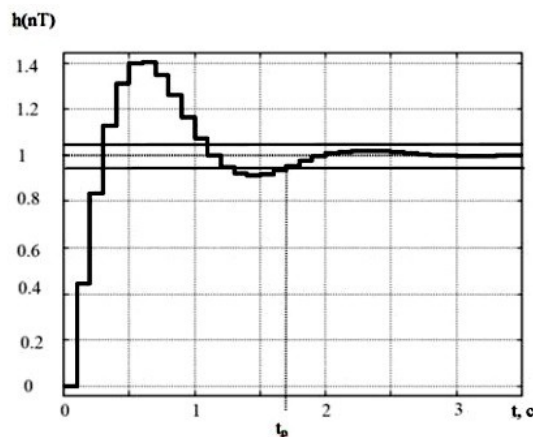


Рисунок 4 - Переходная характеристика системы АСД

DOI: <https://doi.org/10.18454/COMP.2024.2.1.4>

Среднеквадратичная погрешность сопровождения определяется следующим образом:

$$\rho = \sqrt{M\{dr\}^2 + D_{dr}}$$

Используя метод коэффициентов погрешностей, определим математическое ожидание динамической погрешности сопровождения

$$M\{dr\} = \frac{gT^2}{K_2 T}$$

Следовательно, квадрат среднеквадратичной ошибки равно:

$$\rho = M\{dr\}^2 + D_{dr} = \left[\frac{gT^2}{K_2 T} \right]^2 + D_f \frac{2 K_1^2 + K_1 K_2 T + 2 K_2 T}{K_1 (4 - 2 K_1 - K_2 T)}$$

Как видим, отдельные составляющие среднеквадратичной погрешности различным образом зависят от $K_2 T$: первая составляющая обратного квадрата $K_1 T$, а вторая монотонно увеличивается с увеличением $K_2 T$. Второе приложение по изменению K_1 имеет минимум, который имеет способ решения.

При аналитическом решении задачи необходимо определить производные $d(S^2)/d(K_2 T)$ и $d(S^2)/d(K_1)$, и, сравнив их с нулем, отыскать из полученных уравнений значения $K_2 T$ и K_1 , поставив экстремум функции $K_2 T$, а затем выбрать те значения $K_2 T$ и K_1 , при которых обеспечивается минимум среднеквадратичной погрешности.

При аналитическом решении задачи необходимо определить производные $d(S^2)/d(K_2 T)$ и $d(S^2)/d(K_1)$, и, сравнив их с нулем, отыскать из полученных уравнений значения $K_2 T$ и K_1 , получаем экстремум функции $K_2 T$, а затем выбрать те значения $K_2 T$ и K_1 , при которых обеспечивается минимум среднеквадратичной погрешности.

$$\frac{d(\rho)^2}{d(K_1 T)} = -\frac{2(gT^2)^2}{(K_2 T)} - D_f \frac{g_1}{(K_1 (4 - 2K_1 - K_2 T))^2} = 0,$$

$$\frac{d(\rho)^2}{d(K_1)} = \frac{(2K_1 + K_2 T)^2 - 4K_2 T}{(K_1 (4 - 2K_1 - K_2 T))^2} = 0.$$

Рисунок 5 - Зависимость среднего квадрата ошибки ρ^2 от параметров алгоритма K_1 и K_2T
 DOI: <https://doi.org/10.18454/COMP.2024.2.1.5>

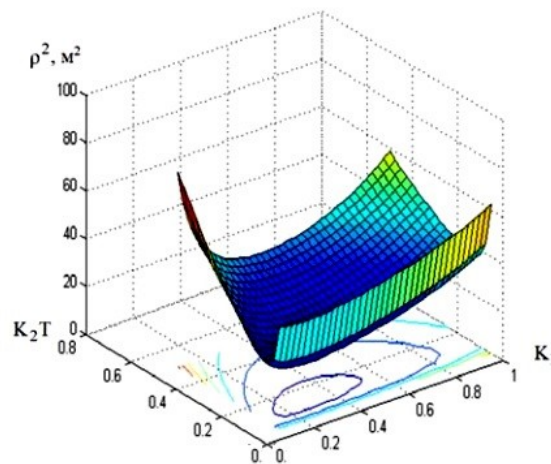
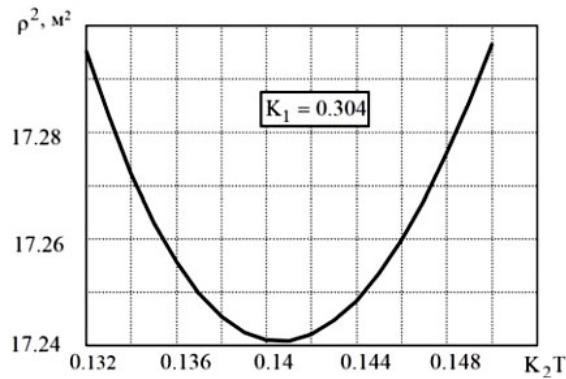


Рисунок 6 - Зависимость среднего квадрата ошибки ρ^2 от параметра K_2T при $K_1 = 0.304$
 DOI: <https://doi.org/10.18454/COMP.2024.2.1.6>

Из последнего уравнения получаем выражение для оптимального параметра, удовлетворяющего условию K_1 устойчивости, в виде функции от параметра K_2T :

$$K_1 = \frac{2\sqrt{K_2 T} - K_2 T}{2} \quad (8)$$

Если это выражение для K_1 подставить в уравнение K_1 (8), получим уравнение для определения оптимального значения параметров в виде функции K_2T от дисперсии эквивалентного влияния, которое мешает Df и ускорение g , которое можно решить в числовой форме.

График зависимости ρ^2 от K_1 и K_2T приведен на рис. 5. А если выражение подставить в уравнение K_1 (8), тогда график зависимости ρ^2 от K_2T будет иметь вид, который приведен на рис. 6. Таким образом, оптимальное значение $K_2T=0,141$, а $K_1=0,304$.

Лучше разрабатывать системы на цифровой элементной базе и делать оптимизацию систем, исходя из критериев оптимизации, выбрать параметры систем, которые разрабатываются. Для этого необходимо иметь цифровые модели соответствующих систем сопровождения целей. Хотя аналоговая система автоматического сопровождения дальности (АСД) характеризуется простотой конструктивного исполнения, но в то же время им свойственны такие недостатки, как относительно невысокая стабильность параметров, дрейфы нулей операционных усилителей, необходимость постоянных регламентных работ в процессе эксплуатации. В этом отношении цифровые системы АСД отличаются в лучшую сторону. У этих систем высокая стабильность параметров, которая не зависит от воздействия внешней среды [6], [8]. Кроме этого, при цифровой реализации систем АСД значительно сокращаются эксплуатационные расходы, связанные с периодическими регулировочными работами. Однако цифровая обработка сигнала приводит к дополнительным, так называемым инструментальным, погрешностям систем, связанных с конечной разрядной сеткой. Чтобы эти дополнительные погрешности не нарушали нормальной работы системы, необходимо выбирать цену младших разрядов цифровых устройств таким образом, чтобы инструментальные погрешности были на порядок и более ниже, а чем принципиально неисправимые ошибки, которые обусловлены действием шумов антенны, радиоприёмного устройства и так далее [2], [5]. Исходя из выше сказанного при формировании цифровой системы измерения дальности одна из задачи заключается в выборе цены младшего разряда преобразования «код-временная задержка», при которой инструментальными погрешностями квантования по уровню в пилотажно навигационный

комплекс (ПНК) можно будет пренебречь по сравнению с флуктуационной погрешностью систем АСД, которая обусловлена действием внутренних шумов; а также в выборе параметров алгоритма оценивания и экстраполяции дальности, от которого зависит не инструментальные погрешности системы АСД [6].

Заключение

На основании исследования модели системы автоматического сопровождения дальности проведен анализ устойчивости и качества системы. Определены допустимые области параметров алгоритма работы цифрового управляющего устройства, при которых система автоматического сопровождения дальности соответствует своему назначению. Также рассчитаны систематические и флуктуационные погрешности, оптимизированные параметры алгоритма и по критерию минимума средне- K_1 K_2 квадратичной погрешности, оценены инструментальные погрешности и сопоставления по флуктуационной погрешности. При выборе параметров системы, по условиям ее устойчивости, когда $K_2T=0,141$ и $K_1=0,304$, возможно K_2T K_1 обеспечить погрешность определения дальности, которая не превышает 10 м. На основании проведенного анализа качества системы автоматического сопровождения дальности выбрана оценка младшего разряда в преобразователе напряжение-код. Выбирая цену наименьшего разряда преобразователя напряжение-код менее 0,23 в, можно не учесть влияние инструментальных погрешностей, которые обусловлены квантованием по уровню в преобразователе напряжение-код, влияющий на качество работы системы автоматического сопровождения дальности. Таким образом, по результатам моделирования были обеспечены требования к показателям устойчивости и качества системы автоматического сопровождения дальности, что вполне удовлетворяют требованиям к таким системам.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Абрамов Г.Н. Интерполяционные преобразователи время - цифровой код рециркуляционного типа / Г.Н. Абрамов // Синергетика природных, технических и социально-экономических систем. — 2019. — 16. — с. 231-249.
2. Анцев Г.В. Сверхширокополосные сигналы в системах функционального подавления / Г.В. Анцев, В.А. Сарычев // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Пленарные доклады XXV всероссийской научно-практической конференции; — Санкт-Петербург: Высшая школа, 2022. — с. 83-94.
3. Боровицкий Д.С.. Синтез оптимального временного дискриминатора системы автосопровождения эхосигнала спутникового альтиметра / Д.С. Боровицкий, А.Е. Жестерев, Р.М. Мамчур // Навигация и управление движением. Материалы XX конференции молодых ученых с международным участием; — Москва: Интернаука, 2019.
4. Бабаев А.Б. Проектирование и исследование работы цифровых систем, анализ влияния квантования по уровню на устойчивость работы цифровых следящих приводов / А.Б. Бабаев, В.М. Буянкин, Т.Н. Егорушкина — Пенза: Пенза, 2020. — 155 с.
5. Васильев В.А. Уточненная модель для обоснования требований к показателю качества радиотехнической следящей системы зенитного ракетного комплекса / В.А. Васильев, И.И. Сачук, А.А. Сосунов // Системы вооружения и военная техника. — 2008. — 2(14). — с. 23-25.
6. Эшмурадов Д. Э. Автоматизация обработки аэронавигационной информации на основе многоагентных технологий / Д. Э. Эшмурадов, Т. Д. Элмурадов, Н. М. Тураева // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. — 2022. — 1. — с. 65-76.
7. Югай Л.П.. К задаче о раскачке маятника при интегральных ограничениях на управления / Л.П. Югай // Устойчивость и колебания нелинейных систем управления (конференция Пятницкого); — Москва: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2020. — с. 521-524.
8. Sharipov G. Methods for Evaluation and Prediction of the State of Metrological Characteristics of Aircraft Instruments / G. Sharipov, N. Turaeva // Science and Innovation. — 2022. — 8. — p. 843-851.
9. Yugay L. P. A. SI (x0)= $U\alpha^2$ / L. P. Yugay; — Tashkent : Tashkent State Polytechnic University, 2017.
10. Falconi M. A Quasilinear Differential Game of Evasión / M. Falconi // Boletín de la Sociedad Matemática Mexicana: Tercera Serie. — 1997. — 1. — p. 89-99.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abramov G.N. Interpoljatsionnye preobrazovateli vremja - tsifrovoy kod retsirkuljatsionnogo tipa [Interpolating Converters Time – Digital Code Recirculation Type] / G.N. Abramov // Synergetics of Natural, Technical and Socio-Economic Systems. — 2019. — 16. — p. 231-249. [in Russian]
2. Antsev G.V. Sverhshirokopolosnye signaly v sistemah funktsional'nogo podavlenija [Ultra-Wideband Signals in Functional Suppression Systems] / G.V. Antsev, V.A. Sarychev // Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti. Plenarnye doklady XXV vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Current Problems of Protection and Safety. Plenary reports of the XXV All-Russian Scientific and Practical Conference]; — St Petersburg: Higher School, 2022. — p. 83-94. [in Russian]

3. Borovitskij D.S.. Sintez optimal'nogo vremennogo diskriminatora sistemy avtosoprovozhdenija ehosignala sputnikovogo al'timetra [Synthesis of an Optimal Time Discriminator for a Satellite Altimeter Echo Signal Auto-Tracking System] / D.S. Borovitskij, A.E. Zhesterev, R.M. Mamchur // Navigation and Motion Control. Materials of the XX Conference of Young Scientists with International Participation; — Moskva: Internauka, 2019. [in Russian]
4. Babaev A.B. Proektirovanie i issledovanie raboty tsifrovyh sistem, analiz vlijanija kvantovanija po urovnju na ustojchivost' raboty tsifrovyh sledjaschih privodov [Design and Study of the Operation of Digital Systems, Analysis of the Influence of Level Quantization on the Stability of the Operation of Digital Servo Drives] / A.B. Babaev, V.M. Bujankin, T.N. Egorushkina — Penza: Penza, 2020. — 155 p. [in Russian]
5. Vasil'ev V.A. Utochnennaja model' dlja obosnovanija trebovanij k pokazatelju kachestva radiotekhnicheskoy sledjaschej sistemy zenitnogo raketnogo kompleksa [A Refined Model to Substantiate the Requirements for the Quality Indicator of the Radio-Technical Tracking System of an Anti-Aircraft Missile System] / V.A. Vasil'ev, I.I. Sachuk, A.A. Sosunov // Weapon Systems and Military Equipment. — 2008. — 2(14). — p. 23-25. [in Russian]
6. Eshmuradov D. E. Avtomatizatsija obrabotki aeronavigatsionnoj informatsii na osnove mnogoagentnyh tehnologij [Automation of Aeronautical Information Processing Based on Multi-Agent Technologies] / D. E. Eshmuradov, T. D. Elmuradov, N. M. Turaeva // Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation. — 2022. — 1. — p. 65-76. [in Russian]
7. Jugaj L.P.. K zadache o raskachke majatnika pri integral'nyh ogranichenijah na upravlenija [On the Problem of Swinging a Pendulum under Integral Restrictions on Controls] / L.P. Jugaj // Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems (Pyatnitsky Conference); — Moskva: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2020. — p. 521-524. [in Russian]
8. Sharipov G. Methods for Evaluation and Prediction of the State of Metrological Characteristics of Aircraft Instruments / G. Sharipov, N. Turaeva // Science and Innovation. — 2022. — 8. — p. 843-851.
9. Yugay L. P. A. SI (x0)= Uα2 / L. P. Yugay; — Tashkent : Tashkent State Polytechnic University, 2017.
10. Falconi M. A Quasilinear Differential Game of Evasión / M. Falconi // Boletín de la Sociedad Matemática Mexicana: Tercera Serie. — 1997. — 1. — p. 89-99.