

АСЛАНОВ Тагирбек Гайдарбекович

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ
СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
УЗКОПОЛОСНЫХ И ШУМОВЫХ ПОМЕХ

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (в технических системах)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



МОСКВА, 2015

Работа выполнена в Московском государственном техническом
университете имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - **Шахтарин Борис Ильич**, доктор технических наук,
профессор кафедры автономных информационных и
управляющих систем МГТУ им. Н.Э. Баумана

Официальные оппоненты: **Тихомиров Николай Михайлович**,
доктор технических наук, старший научный
сотрудник, начальник научно-технического
управления АО «Концерн «Созвездие»

-116 Голубев Сергей Владимирович, кандидат
технических наук, сотрудник в/ч 33965

Ведущая организация: ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», г. Москва,
Электрический пер., д.1.

Защита состоится «26» мая 2015 г. в 14 ч. 30 мин.

на заседании Диссертационного совета Д 212.141.02 при федеральном
государственном бюджетном образовательном учреждении высшего
профессионального образования «Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана», по адресу: 107005, Москва, Госпитальный пер.
д. 10, ауд. 613 м.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.bmstu.ru
Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

Автореферат разослан «06» апреля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



Муратов И.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Внедрение радионавигационных, радиосвязных и спутниковых систем породило повышенный интерес к системам синхронизации (СС), к их точности и помехозащищенности. Дальнейшее усовершенствование СС за счет улучшения конструктивных и технологических решений имеет предел, вызываемый воздействием флуктуаций и помех естественного и искусственного происхождения.

Создателями прикладной теории марковских случайных процессов (МСП) являются В.И. Тихонов и Р.Л. Стратонович, им же принадлежит приоритет по использованию МСП для анализа систем синхронизации (при наличии лишь широкополосных шумов на входе СС). Значительный вклад в теорию синхронизации при воздействии на СС шумов и помех внесли Л.Н. Казаков, А.В. Пестряков, А.А. Парамонов, Б.И. Шахтарин, В.В. Сизых, В.Н. Белых, В.Н. Кулешов, А. Витерби, В. Линдсей и другие. В отличие от аналоговых систем, которые достаточно исследованы, для дискретных систем можно говорить лишь о незначительном количестве работ, в частности, надлежит отметить работы Б.И. Шахтарина, В.В. Сизых и Л.Н. Казакова. В настоящее время имеются ряд работ, в которых приведены результаты исследований СС, включая фазовую автоподстройку (ФАП), но лишь при шумовых воздействиях.

Однако результатов исследования непрерывных СС (НСС) при комбинированном воздействии (широкополосных шумовых и узкополосных помех) в настоящее время явно недостаточно.

В связи с этим, тема данной диссертационной работы, посвященная разработке алгоритмов анализа и исследования СС при воздействии узкополосных и шумовых помех, является актуальной.

Цель и задачи диссертации

Целью диссертации является разработка и совершенствование методов качественного и количественного анализа СС при воздействии комбинированных помех. Объектом предлагаемого исследования выбрана СС 1-го и 2-го порядков с

синусоидальной характеристикой фазового детектора (ФД) и пропорционально-интегрирующим фильтром (ПИФ), что обусловлено широким применением таких систем.

В диссертации решаются следующие задачи:

1. Разработка методик, вычислительных алгоритмов и программного обеспечения анализа рассматриваемых СС.

2. Учет специфики воздействия комбинированных помех (аддитивная смесь широкополосного шума и узкополосной (гармонического вида) помехи), требующий предварительного использования метода гармонического баланса для вычисления параметров предполагаемого решения дифференциального уравнения (ДУ) СС, а также перехода к усредненной версии модели СС.

3. Получение новых данных по динамическим и статистическим характеристикам СС путем аналитически-численного решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) и уравнения Понтрягина относительно плотности распределения вероятности (ПРВ) сигнала рассогласования, времени и вероятности срыва синхронизации.

4. Исследование дискретной СС приближенным методом Галеркина.

5. Исследование статистических характеристик двухконтурной схемы Костаса.

Общая методика исследований

Разработанные в диссертации методы анализа динамических и статистических характеристик непрерывных и дискретных СС базируются на теории разностных уравнений, теории марковских процессов и цепей и на общих положениях методов теории систем автоматического управления.

Для решения поставленных задач использованы компьютерное и имитационное моделирование, численные методы решения нелинейных обыкновенных и разностных уравнений.

Разработанные в диссертационной работе методы и алгоритмы ориентированы на использование IBM совместимых персональных компьютеров.

Научная новизна результатов

1. Доказана уточняющая система уравнений для нахождения параметров предполагаемого решения исходного ДУ СС.
2. Получена усредненная версия модели СС, позволяющая проводить дальнейшие исследования СС при комбинированном воздействии.
3. Создано программное обеспечение анализа СС при комбинированном воздействии, позволившее реализовать численно-аналитические методы исследования и, в частности, получить ПРВ сигнала рассогласования в переходном режиме, и вероятность до срыва синхронизации на основе предложенных автором разностных схем.
4. Получен широкий спектр статистических характеристик исследуемых СС и проведен их анализ (ПРВ сигнала рассогласования, вероятность до срыва слежения, время до срыва слежения (ВСС) и значение частотного рассогласования (ЗЧР)) и их зависимости от параметров СС и отношений сигнал/шум и помеха/сигнал.
5. Методом математического и имитационного моделирования исследована двухконтурная схема Костаса и найдены ПРВ сигнала рассогласования и ВСС.
6. Проведен сравнительный анализ непрерывных и дискретных СС по критериям ПРВ сигнала рассогласования, ВСС и др.

Практическая ценность диссертации

1. На базе указанных алгоритмов автором разработано оригинальное программное обеспечение, позволяющее произвести анализ характеристик различных СС и оптимизацию параметров фильтра и ФД в цепи управления, для обеспечения заданных статистических характеристик непрерывных СС под влиянием сигнала и помехи.
2. Разработанные алгоритмы и программы могут быть использованы в НИОКР для анализа статистических свойств СС и их синтеза.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты анализа непрерывной ФАП методом гармонического баланса

при комбинированном воздействии смеси сигнала и гармонической помехи и в частности доказанное автором уравнение параметров предполагаемого решения ДУ СС, включая их критические значения.

2. Условия захвата за сигнал и помеху в системах СС первого и второго порядков.

3. Усредненная модель СС при воздействии комбинированных помех в общем виде произвольного порядка системы.

4. Способ получения на основе усредненной модели уравнения ФПК, его решения в форме сходящегося ряда с оценкой сходимости ряда.

5. Алгоритм численного решения уравнения ФПК в переходном режиме.

6. Статистические характеристики СС при комбинированном воздействии широкополосного шума и узкополосной помехи (ПРВ сигнала рассогласования, ВСС и вероятность срыва слежения).

7. Алгоритм численного решения уравнений Понтрягина, включая вероятность срыва синхронизации на основе разностной схемы.

8. Имитационная модель двухконтурной схемы Костаса и численно-аналитические процедуры вычисления статистических характеристик этой схемы.

Достоверность полученных результатов определяется корректностью использования математического аппарата теории марковских случайных процессов при проведении математического и компьютерного моделирования СС, а также адекватностью результатов моделирования с экспериментально полученными данными других авторов.

Объём и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (60 наименований), приложения и изложена на 172 листах машинописного текста, в том числе 63 рисунка.

Внедрение результатов работы:

Результаты исследования использованы:

1. НИР: «Помехоустойчивость и синхронизация систем передачи информации» МГТУ им. Н.Э. Баумана № ГР 01 201262971.-М.: 2012

2. НИР «Фундаментальные проблемы создания АИУС», шифр «КЕДР-5» ГР 012-009-648-25.-М.: (отчеты по НИР за 2011, 2012, 2013, 2014 гг).

3. В учебном процессе в МГТУ им. Н.Э.Баумана по дисциплине «Статистическая радиотехника» в форме электронных учебных пособий [28], [29].

4. По результатам исследования получен патент № 2543493 МПК51 G01S 13/58 «Радиолокационный датчик скорости сближения движущегося объекта с препятствием» [23].

5. Результаты диссертации внедрены в НИР АО «Концерн «Созвездие», что подтверждается актом о внедрении.

6. Результаты диссертации приняты ко внедрению в перспективных разработках в ОАО НПК «Русская радиоэлектроника», что подтверждается актом о внедрении.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на 6 международных и 5 всероссийских научно-технических конференциях (2011-2014 г.г.) [12-22].

Публикации

Основные результаты диссертации изложены в 29 работах, из них 4 отчета по НИР, один патент и 10 работ, опубликованных в рецензируемых журналах по Перечню ВАК РФ.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и определены задачи исследования.

В первой главе получены динамические характеристики ФАП при наличии на ее входе гармонической помехи. Доказана новая система уравнений для параметров предполагаемого решения $x(t) = x_0 + x_1 \cos(\Delta\beta t + \Delta\theta + \psi)$ ($\Delta\beta$ – расстройка по частоте второго рода, ψ – фазовый угол первой гармоники) дифференциального уравнения (ДУ) с учетом отношения сигнал/шум (ОСШ) r и отношения помеха/сигнал (ОПС) ε . Приведены соотношения для критических значений этих параметров.

На Рис. 1 изображены зависимости $x_1 = f(\Delta\beta)$, при $\varepsilon = 0,6$, $a = 0,8$ и

$\alpha_0^{-2} = 6,25$, где a и α_0^{-2} – параметры ПИФ. Кривые 1, 2 получены при $\beta = 0,8$; 3, 4 – $\beta = 0,5$; 5, 6 – $\beta = 0,2$ (β – расстройка по частоте первого рода).

Зависимости $\psi = f(\Delta\beta)$ изображены на Рис. 2, при $\varepsilon = 0,6$, $a = 0,8$ и $\alpha_0^{-2} = 6,25$, где кривые 1, 3, 5 получены при невырожденном фильтре; 2, 4, 6 – при вырожденном. Кривые 1, 2 получены при $\beta = 0,8$; 3, 4 – $\beta = 0,5$; 5, 6 – $\beta = 0,2$.

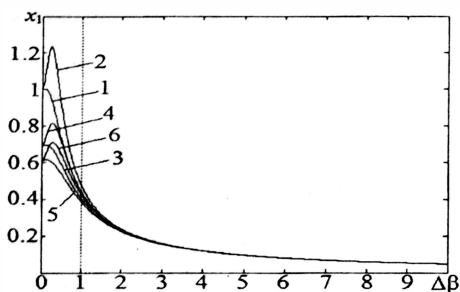


Рис. 1. Зависимость амплитуды первой гармоники от расстройки второго рода

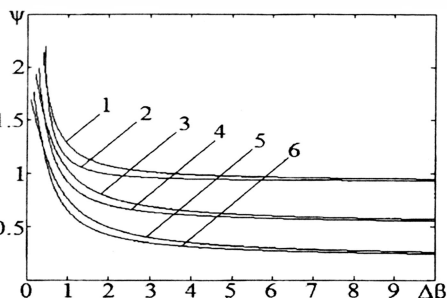


Рис. 2. Зависимость фазового угла от расстройки второго рода

Во второй главе получена усредненная модель СС произвольного порядка и осуществлен переход к уравнению ФПК. Найдено решение уравнения ФПК (ПРВ сигнала рассогласования) в стационарном и переходном режимах. Получено решение уравнения Понтрягина (время до срыва слежения и вероятность срыва синхронизации). При расчетах использованы предложенные автором разностные схемы уравнений ФПК и Понтрягина. Приведена блок схема алгоритма расчета сходящегося ряда Фурье для ПРВ сигнала рассогласования и расчета ПРВ сигнала рассогласования в переходном режиме. Получены неравенства для определения условий захвата за сигнал и за помеху, зависящие от значений ОПС, сигнальной расстройки по частоте первого рода, отстройки по частоте второго рода. Проведено моделирование режимов захвата за сигнал и за помеху.

На Рис. 3 изображена граница захвата сигнала и помехи, вычисленная при различных ε , $\Delta\beta$, кружочками на рисунке обозначены значения $\Delta\beta$, для которых проводилось моделирование.

На Рис. 4 представлены зависимости вероятности срыва слежения $P(\tau)$, для

значений $\varepsilon = 0,6$; $\beta = 0,5$; $\Delta\beta = 2$ и ОСШ, а также результаты расчетов по приближенной формуле, изображенные на рисунке штриховой линией.

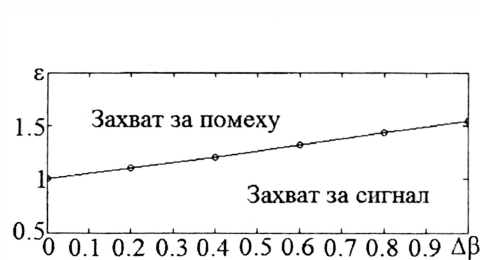


Рис. 3. Граница захвата сигнала и помехи

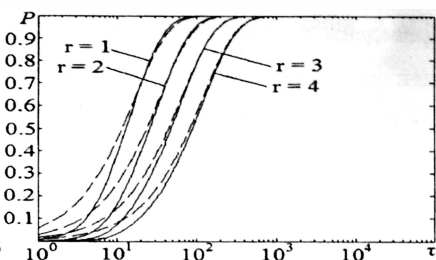


Рис. 4. Вероятность срыва слежения

В третьей главе анализируются статистические характеристики СС второго порядка. Произведено сравнение результатов, полученных ранее Шахтариным Б.И. и в диссертации автором. Представлены следующие характеристики: ПРВ сигнала рассогласования, время до срыва слежения и значения частотного рассогласования.

На Рис. 5 приведены кривые ВСС и на Рис. 6 приведены ЗЧР, при $\varepsilon = 0,9$; $\Delta\beta = 4$; $a = 0,025$; $\alpha_0^{-2} = 1600$. Кривые 1, 3, 5 – рассчитаны по методу Шахтарина Б.И. и кривые 2, 4, 6 – по методу, предложенному автором. Кривые 1, 2 получены при $\beta = 0,3$, кривые 3, 4 – при $\beta = 0,6$, кривые 5, 6 – при $\beta = 0,9$.

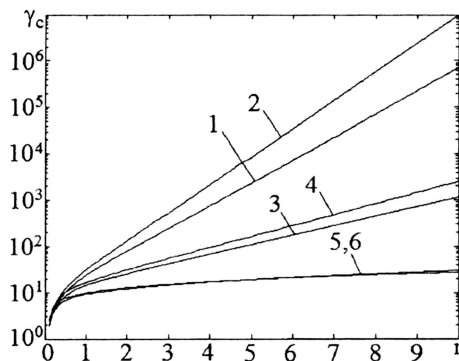


Рис. 5. Среднее время до срыва слежения

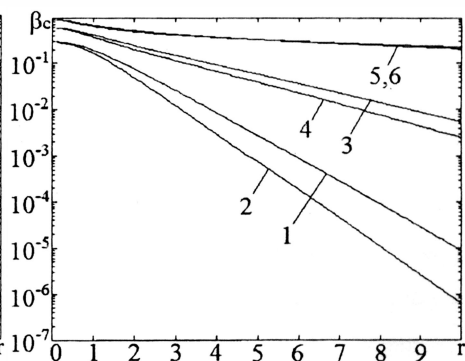


Рис. 6. Среднее значение частотного рассогласования

В четвертой главе исследуются ДСС. Получены статистические характеристики ДСС (ПРВ сигнала рассогласования, время до срыва слежения). Приведены сравнительные характеристики ДСС и НСС в двух случаях: при наличии одного широкополосного шума и при воздействии комбинированной помехи.

На Рис. 7 приведены ПРВ сигнала рассогласования ФАП, при интервале дискретизации $T_0 = 0,5$ и $\epsilon = 0,9$. Кривые 1, 4 – получены при $r = 16$; 2, 5 – $r = 13$; 3, 6 – $r = 10$. Кривые 1, 2, 3 – дискретная СС при воздействии прицельной помехи, 4, 5, 6 – непрерывная СС при воздействии прицельной помехи.

На Рис. 8 приведены ВСС при $\epsilon = 0,3$ и $T_0 = 1$. Кривая 1, 2 – получены при $\beta = 0$; 3, 4 – $\beta = 0,3$; 5, 6 – $\beta = 0,6$; Кривые 1, 3, 5 – дискретная СС, 2, 4, 6 – непрерывная СС.

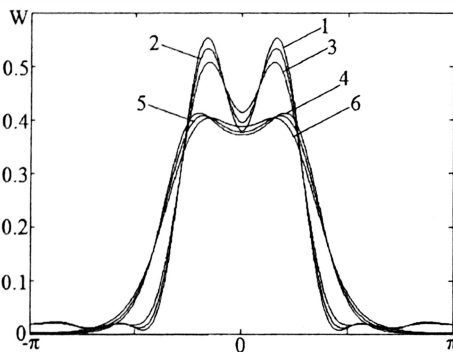


Рис. 7. ПРВ сигнала рассогласования

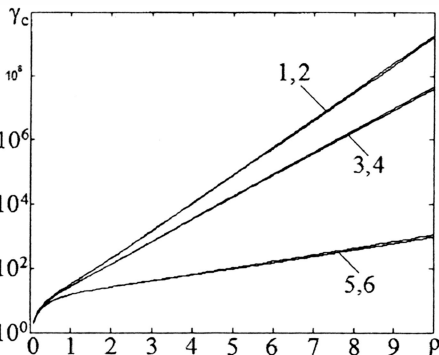


Рис. 8. Среднее время до срыва слежения

В пятой главе исследуются статистические характеристики схемы Костаса при комбинированном воздействии. Представлены статистические характеристики схемы Костаса (ПРВ сигнала рассогласования и время до срыва слежения).

Рассмотрены два вида дискриминационных характеристик.

Осуществлено математическое моделирование двухконтурной СС и проведен сравнительный анализ математической модели двухконтурной СС с его

имитационной моделью.

На Рис. 9 приведены ВСС (выход за интервал от $-\pi/2$ до $\pi/2$), полученное при имитационном моделировании в Simulink, время моделирования 5 сек. Кривая 1 при ОПС равной 0; кривая 2 – 0,3; кривая 3 – 0,6.

На Рис. 10 приведены ПРВ сигнала рассогласования, полученные имитационным моделированием в среде Simulink при синусоидальной характеристике ФД (Рис. 10а) и пилообразной (Рис. 10б). На Рисунке 10 кривая 1 – при ОСШ равном 4 дБ; 2 – 2 дБ; 3 – 1 дБ.

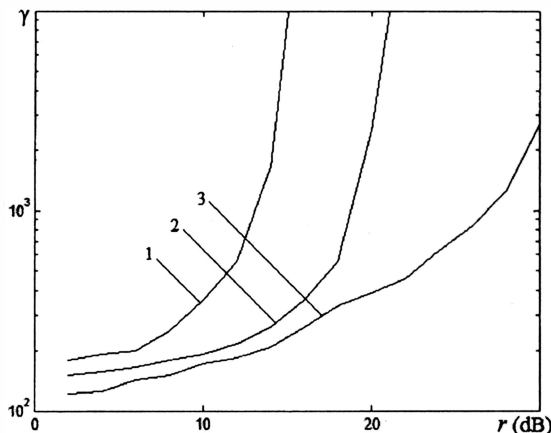


Рис. 9. Среднее время до срыва слежения в двухконтурной СС

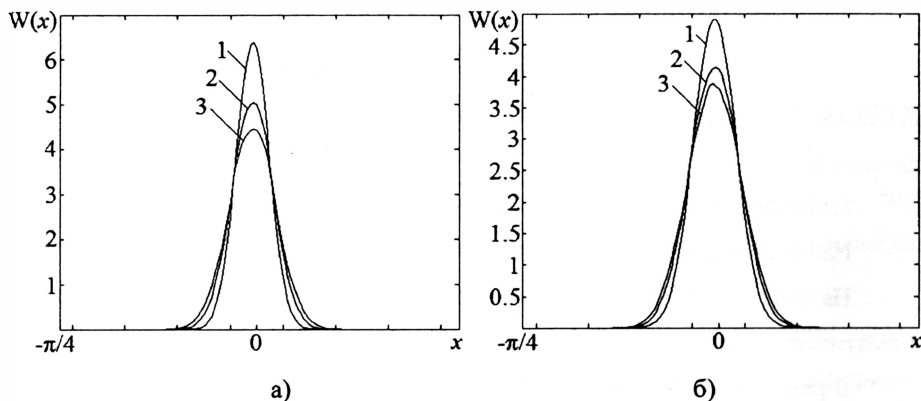


Рис. 10. ПРВ сигнала рассогласования

Основные результаты и выводы

При более строгом приближении методом гармонического баланса получено уравнение для динамических характеристик фазовой автоподстройки произвольного порядка при наличии на ее входе гармонической помехи.

Найдены зависимости параметров предполагаемого решения ДУ от параметров помехи и сигнала. Приведены соотношения для критических значений этих параметров.

Получены неравенства для определения условий захвата за сигнал и за помеху, зависящие от значений отношений помеха/сигнал, расстройки первого рода и отстройки по частоте второго рода. Проведено моделирование режимов захвата за сигнал и за помеху.

Автором получена усредненная версия модели СС (стохастического ДУ СС), учитывающая комбинированное воздействие (узкополосной помехи и широкополосного шума) и позволяющая перейти к уравнениям ФПК и Понтрягина.

Показан переход к уравнению ФПК для СС произвольного порядка.

В случае СС первого порядка приводится общее решение уравнения ФПК в интегральной форме и на его основе осуществлен переход к решению в форме ряда Фурье, причем коэффициенты ряда выражаются через бесселевы функции.

Дана оценка сходимости указанного ряда и приводится алгоритм оценки.

На основе разностной схемы уравнения ФПК находится решение уравнения ФПК (ПРВ сигнала рассогласования) в переходном режиме с доказательством сходимости к стационарной ПРВ согласно структурной схеме предложенного автором алгоритма.

Найдено решение уравнения ФПК для СС второго порядка.

Найдено решение первого уравнения Понтрягина (ВСС).

На основе разностной схемы второго уравнения Понтрягина получена вероятность до срыва слежения.

В результате получены многочисленные статистические характеристики СС и их зависимость от параметров системы и отношения сигнал/шум (ОСШ) и

помеха/сигнал (ОПС) при воздействии на СС узкополосной помехи и широкополосного шума.

Показано, что дисперсия сигнала рассогласования увеличивается, если частотные рассогласования и первого и второго рода направлены в разные стороны, в противном случае дисперсия уменьшается.

Использование предложенных разностных схем для уравнивания ФПК, позволяет при малых затратах машинного времени с использованием ПЭВМ достаточно быстро вычислить статистические характеристики систем синхронизации.

В результате анализа получены условия захвата за сигнал и за помеху, зависящие от отношения помеха/сигнал (ОПС), а также проекции фазовой траектории на плоскости в режиме захвата сигнала и захвата помехи, и графики зависимостей ОПС от начальной расстройки по частоте. Кроме того, представлены данные сравнения критических значений параметров, полученных двумя различными методами.

Вычисление статистических характеристик фазовой автоподстройки при комбинированном воздействии, по методу, предложенному Шахтариним Б.И. и методом, приведенном в диссертации, показывает их малые отличия, но при значительных расстройках частотного рассогласования и малых значениях отношения сигнал/шум. Следует также отметить, что метод Шахтарина Б.И. более прост в вычислениях.

Сравнительный анализ ПРВ сигнала ошибки для непрерывных и дискретных ФАП при прицельной помехе показывает, что при постоянном значении отношения помеха/сигнал, имеются незначительные расхождения дискретной и непрерывной ПРВ при малых значениях ОСШ. В то же время, при больших значениях ОСШ, воздействие прицельной помехи действует сильнее на дискретную систему фазовой автоподстройки.

Сравнительный анализ ВСС для непрерывных и дискретных ФАП показывает, что при нулевой начальной расстройке при малом интервале дискретизации расхождения ВСС несутельственны. При том же интервале

дискретизации, но при ненулевой начальной расстройке наблюдаются существенные расхождения, которые уменьшаются с уменьшением интервала дискретизации, и результаты накладываются друг на друга при интервале дискретизации стремящемся к нулю, что доказывает адекватность полученных результатов.

Результаты сравнительного анализа ПРВ сигнала рассогласования ФАП с пилообразной и синусоидальной характеристикой ФД показывают, что при нулевой начальной расстройке, расхождения ПРВ незначительны, в то же время при ненулевой начальной расстройке наблюдается более существенные расхождения.

По результатам сравнительного анализа ПРВ сигнала рассогласования двухконтурной СС с пилообразной и синусоидальной характеристикой ФД показывают, что при нулевой начальной расстройке, расхождения ПРВ в указанных двух случаях незначительны, в то же время при ненулевой начальной расстройке наблюдается более существенные расхождения.

Математическое моделирование двухконтурной СС дает незначительные расхождения с имитационным моделированием (среднеквадратическое отклонение не превышает 7%), при возрастании ОПС – расхождение графиков более существенно, но следует отметить, что в первом случае расход машинного времени в расчете значительно ниже, чем во втором.

Основные результаты диссертации отражены в работах:

1. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Анализ систем синхронизации численными методами // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». №4 Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва. 2011. С. 101-110. (0, 5 п.л. / 0,25 п.л.)

2. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Среднее время до срыва слежения и среднее значение частотного рассогласования фазовой автоподстройки при наличии комбинированного воздействия // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. №12 Режим доступа:

(0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

3. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Статистическая динамика системы синхронизации при воздействии комбинированных помех // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «специальный выпуск» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва. 2011. С. 157-163 (0,75 п.л. / 0,5 п.л.)

4. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Воздействие на фазовую автоподстройку гармонической помехи // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №9 Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/file/518844.html> (дата обращения 14.02.2015) (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)

5. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Статистическая динамика фазовой автоподстройки второго порядка при воздействии комбинированных помех // Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №5 Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/file/505514.html> (дата обращения 14.02.2015) (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)

6. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Плотность распределения вероятностей сигнала ошибки в непрерывной и дискретной ФАП // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «специальный выпуск» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва. 2013. С. 115-121. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)

7. Асланов Т.Г. Воздействие гармонической помехи на фазовую автоподстройку второго порядка // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №5 Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/file/601997.html> (дата обращения 14.02.2015) (1,5 п.л. / 1,5 п.л.)

8. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Плотность распределения вероятностей сигнала ошибки в непрерывной и дискретной ФАП при наличии прицельной помехи // Научный вестник МГТУ ГА № 189. Москва 2013. С. 117-121. (0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

9. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Среднее время до срыва слежения в непрерывной и дискретной ФАП // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия

«специальный выпуск» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва. 2013. С. 70-74. (0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

10. Шахтарин Б.И., Вельтищев В.В., Асланов Т.Г. Имитационное моделирование систем фазовой автоподстройки // Научный вестник МГТУ ГА № 189. Москва 2013. С. 136-140. (0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

11. Асланов Т.Г. Воздействие гармонической помехи на фазовую автоподстройку второго порядка // Вестник ЯГУ им. П.Г. Демидова. Серия Естественные и технические науки. 2012, С. 54-78. (1,5 п.л. / 1,5 п.л.)

12. Асланов Т.Г., Иванов А.А., Левин А.Б. Система локации на основе OFDM-сигнала // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Выпуск: XIII-1 Москва 2011. С. 110-113. (0,25 п.л. / 0,05 п.л.)

13. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Фазовая автоподстройка при наличии комбинированного воздействия // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная дню радио. Выпуск: LXVII. Москва. «Информпресс-94». 2012. С. 255-258 (0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

14. Асланов Т.Г. Плотность распределения вероятностей сигнала ошибки при наличии прицельной помехи // Материалы XVII международного молодежного форума. Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке. Харьков 2013. Т.3. С. 7-8. (0,125 п.л. / 0,125 п.л.)

15. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Плотность распределения вероятностей сигнала ошибки в непрерывной и дискретной ФАП // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Москва. «Информпресс-94». 2013. С. 64-68. (0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

16. Асланов Т.Г., Федотов А.А. Воздействие гармонической помехи на систему фазовой автоподстройки // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Москва. «Информпресс-94». 2013. С. 19-22 (0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

17. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г., Ковальчук А.А. Анализ систем синхронизации численными методами // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная дню радио. Выпуск: LXVI. Москва. «Информпресс-94». 2011. С. 269-271 (0,125 п.л. / 0,04 п.л.)

18. Асланов Т.Г., Ковальчук А.А. Статистические характеристики фазовой автоподстройки частоты в переходном режиме // Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в развитии транспортно-коммуникационного комплекса Казахстана», г. Алматы, 2011. Т.3. С.107-110. (0,125 п.л. / 0,08 п.л.)

19. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Сравнительный анализ характеристик воздействия помех на системы синхронизации // Сборник научных трудов 4-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ'2011) Харьков, Украина 2011. Т.2. С. 72-75. (0,125 п.л. / 0,06 п.л.)

20. Асланов Т.Г. Среднее время до срыва слежения в непрерывной и дискретной ФАП // 6 всероссийская конференция «Будущее машиностроения России», Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013 С. 289-290. (0,125 п.л. / 0,125 п.л.)

21. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Имитационное моделирование систем фазовой автоподстройки // 4-й Всероссийская конференция «Радиоэлектронные средства получения, обработки и визуализации информации» (РСПОВИ-2014), Нижний Новгород 2014, С. 63-65 (0,125 п.л. / 0,06 п.л.)

22. Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г. Анализ воздействия гармонической помехи на фазовую ошибку в схеме Костаса // 7-я международная конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации (ARMIMP)», Москва - Суздаль 2014, С. 45-48 (0,25 п.л. / 0,125 п.л.)

23. Радиолокационный датчик скорости сближения движущегося объекта с препятствием : пат. № 2543493 МПК51 G01S 13/58 / Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г., Фоменко А.Ю.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального

образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана). - № 2013158777/07(091529); заявл. 30.12.2013. (0,75 п.л. / 0,25 п.л.)

24.Асланов Т.Г. и др. Статистическая динамика фазовой автоподстройки второго порядка при воздействии комбинированных помех // Отчет о НИР «Помехоустойчивость и синхронизация систем передачи информации» МГТУ им. Н.Э. Баумана № ГР 01 201262971 Москва 2012. (0,5 п.л. / 0,5 п.л.)

25.Асланов Т.Г. и др. Анализ систем синхронизации численными методами // Научно-технический отчет о НИР. Шифр «КЕДР-5», 2011, ГР 012-009-648-25.-М. (0,5 п.л. / 0,5 п.л.)

26.Асланов Т.Г. и др. Статистическая динамика системы синхронизации при воздействии комбинированных помех // Научно-технический отчет о НИР. Шифр «КЕДР-5», 2012, ГР 012-009-648-25.-М. (0,75 п.л. / 0,75 п.л.)

27 Асланов Т.Г. и др. Воздействие на фазовую автоподстройку гармонической помехи // Научно-технический отчет о НИР. Шифр «КЕДР-5», ГР 012-009-648-25.-М. 2013 (0,5 п.л. / 0,5 п.л.)

28.Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г., Ковальчук А.А. Статистическая радиотехника Оптимальные фильтры и оценка энергетических спектров случайных процессов // Электронное учебное издание № 28218 №ГР 0321203450. (3,5 п.л. / 1 п.л.)

29.Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г., Сизых В.В. Статистическая радиотехника Оптимальные фильтры // Электронное учебное издание №ГР 0321304465. (1,5 п.л. / 0,5 п.л.)