

ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

РГБ ОА

30 МАЯ 2000

*На правах рукописи*  
УДК 621.396.96.

ТХАМ ДЫК ФЫОНГ

**КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ  
ПОСАДКОЙ САМОЛЕТОВ**

Специальность 05.13.14 – системы обработки информации и управления

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ВЛАДИМИР 2000

Работа выполнена на кафедре радиотехники и радиосистем

Владимирского государственного университета

Научный руководитель - доктор технических наук,

профессор О.Р.Никитин

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,

профессор Г.А. Андреев

-доктор технических наук

профессор Б.В.Новоселов

Ведущая организация

-Московский научно-исследовательский  
радиотехнический институт (МНИРТИ)

Защита состоится «18» мая 2000 г. в 14 часов на заседании  
диссертационного совета Д.063.65.02 в ауд. 211, корп. 1 Владимирского  
государственного университета по адресу: 600026, г. Владимир, ул.  
Горького, 87.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВлГУ.

Автореферат разослан «11 апреля» 2000 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент



Р.И. Макаров

0541.5-558-01с116,0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Главнейшей проблемой гражданской авиации, а также одной из важнейших народохозяйственных задач является обеспечение регулярности и высокой интенсивности полетов и посадки летательных аппаратов (ЛА) с заданной безопасностью как на стационарных категорийных аэродромах, так и на временных аэродромах и площадках базирования со сложными георельефом и климатическими условиями.

Повышение интенсивности полетов, увеличение временного окна, в течение которого разрешены полеты и посадка летательных аппаратов, дают экономический выигрыш для каждого аэродрома и тем более для аэродромного парка страны в целом. Рост интенсивности воздушного движения обуславливает существование постоянной потребности в совершенствовании информационного обеспечения бортовых систем управления ЛА. Особую значимость данная задача имеет при полетах в аэроузловых и аэродромных зонах.

Одной из самых ответственных и сложных фаз полета является посадка. Управление посадкой самолетов представляет сложную техническую задачу, решение которой в настоящее время осуществляется с помощью специальных радиотехнических систем ближней навигации. Важной задачей повышения безопасности полетов является синтез законов управления, обеспечивающих движение по заданным траекториям.

Перспективным является комплексирование как региональных спутниковых навигационных систем (GPS и ГЛОНАСС) между собой, так и с радиотехническими системами навигации и посадки (СНП).

Опыт эксплуатации радиотехнических систем ближней навигации (СН), а также систем посадки самолетов (СП) в аэропортах с различными географическим положением и рельефными условиями при обслуживании самолетов с самыми разными летательными характеристиками показал негативное влияние переотраженных навигационных сигналов от сооружений на качество работы систем. Источниками отражений выступают поверхность земли с местными особенностями, транспортные средства, включая самолеты в воздухе и на земле, аэродромные сооружения и иные объекты хозяйственной деятельности. Указанным воздействиям подвержены все типы отечественных и зарубежных систем рассматриваемых классов в частности, в СН возникает источник дополнительной погрешности углового местоопределения, а в СП появляются искривления линий планирования, что приводит к невозможности эксплуатации аппаратуры по проектной категории метеоминимума международной организации гражданской авиации (ИКАО).

Требуемое повышение интенсивности воздушного движения, использования аэропортов и других площадок базирования со сложным рельефом вступает в противоречие с имеющейся точностью управления посадкой ЛА.

Возникает актуальная народнохозяйственная и научная проблема обеспечения требуемого стандартами ИСАО качества управления посадкой ЛА в изменяющихся условиях эксплуатации СНП при наличии многолучевого навигационного сигнала, обусловленного воздействием мешающих переотражений.

Имеющиеся на сегодняшний день решения в рамках сформулированной проблемы не могут оценить эффект применения данного типа СНП в конкретных условиях эксплуатации на вновь проектируемых площадках базирования, а также эффект применения перспективных, находящихся в состоянии разработки СНП; с их помощью невозможно оценить рациональное размещение в зоне аэропорта аэродромных сооружений.

Известны фундаментальные работы в области навигации, эффективности управления посадкой самолетов за счет специализированной обработки сигналов (Сосулин Ю.Г.), интегрирования и комплексирования навигационного оборудования (Ярлыков М.С., Соловьев Ю.А., Миронов М.А., Денисов В.И., Кинкулькин И.Е. и др.), использования средств моделирования для определения эксплуатационных параметров СНП (Никитин О.Р.).

В настоящее время разработаны схемы комплексирования различных средств навигации, а также математические и полунатурные модели СНП.

Предлагаемое в работе комплексное моделирование посадки самолетов позволит осуществить прогнозирование эксплуатационных параметров и резко снизить сроки летных испытаний; спроектировать рациональное размещение площадок базирования летных аппаратов и аэродромного оборудования аэропорта; оценить перспективность использования в конкретных условиях новых разрабатываемых СНП; выявить доминирующие источники переотражений и изыскать возможности для их нейтрализации; выработать новые схемотехнические решения; выбрать рациональные варианты комплексирования навигационных средств, в т.ч. для этапа посадки.

**Цель работы**, вытекающая из характера проблемы: разработка и создание новых видов программно-аппаратных средств моделирования СНП с метрологическими показателями, удовлетворяющими требованиям ИСАО и широким функциональным возможностям; реализация этих средств и экспериментальное апробирование.

Исходя из цели работы, задачами исследований являются:

1. Разработка комплексной модели процесса посадки самолетов.
2. Разработка программно-аппаратных средств обнаружения доминирующих предметов.
3. Разработка вопросов комплексирования СП и СРНС для управления процессом посадки самолетов.
4. Оценка эффективности комплексирования СНП.

5. Внедрение результатов работы в организациях радиотехнического и авиационного профиля; в учебный процесс высших учебных заведений.

**Методы исследований.** При проведении исследований для достижения поставленных задач использовались методы электродинамики и теории распространения радиоволн; методы статической радиотехники, основанные на базе теории вероятностей, математической статистики, теории случайных процессов, теории принятия решений; методы спектрально-корреляционного анализа; методы математического и полунатурного моделирования.

**Научная новизна работы.** Новые научные результаты, полученные в диссертации, состоят в следующем:

1. Разработана комплексная модель процесса посадки самолетов.
2. Разработаны математические модели и программно-аппаратные средства обнаружения доминирующих отражателей.
3. Разработана методика комплексирования сантиметрового радиотехнической системы посадки и спутниковой радионавигационной системы (СРНС).
4. С помощью методов моделирования определена погрешность навигационных средств.

Таким образом, научная новизна работы подтверждена созданием новых оригинальных методик прогнозирования эксплуатационных параметров СНП и обнаружения доминирующих отражателей; разработкой программно-аппаратных средств, решающих широкий спектр прикладных задач, оригинальная техническая организация которых подтверждена заявкой на патент; приоритетным опубликованием 8 научных работ автора по тематике сформулированной проблемы.

**Практическая ценность работы.** Включенные в диссертацию результаты получены автором при выполнении работ по грантам в области фундаментальных наук по навигационной тематике в интересах гражданской авиации, радиотехнической и авиационной промышленности в период с 1995 по 1999гг., а также в соответствии с планами госбюджетных работ Владимирского государственного университета.

**Перечень результатов, имеющих практическую ценность.**

1. Разработаны программно-аппаратные средства для комплексного моделирования управления посадкой по соответствию ЛА в конкретных условиях эксплуатации, позволяющие в целом повысить в 1,05 раза эффективность систем посадки самолетов (количество осуществляемых посадок).
2. Разработано устройство обнаружения доминирующих отражателей ( $P_{по} = 0,9$ ;  $P_{тл} = 0,01$ ).
3. Разработана методика комплексирования радиотехнической СП со спутниковой навигационной системой, позволяющая повысить точность

управления посадкой и вероятность успешной посадки с первого захода. При этом дисперсия погрешности задания траектории уменьшается в 1,53 раза.

**Предложенные и внедренные технические решения** создают значительный экономический эффект; обеспечивают повышение качества управления посадкой ЛА, безопасности и интенсивности полетов; используются в смежных отраслях. Поэтому, решенная в работе научная проблема, имеет важное народно-хозяйственное значение.

**Реализация и внедрение.** Основные теоретические и практические результаты диссертации были получены автором в ходе выполнения грантов по фундаментальным работам в области радионавигации, а также госбюджетных НИР, проводимых на кафедре радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета (ВлГУ) в период с 1995 по 1999гг. Результаты исследований внедрены на предприятиях авиастроительной радиопромышленности России и Вьетнама. Полученные акты о внедрении подтверждают техническую и экономическую целесообразность применения разработанных в диссертации моделей, процедур и устройств.

Ряд теоретических результатов используется в учебном процессе во Владимирском государственном университете.

**Апробация работы.** По материалам, изложенным в диссертации, сделаны доклады на II и III Международных научно-технических конференциях "Перспективные технологии в средствах передачи информации".

**Публикации по работе.** Основное содержание диссертации отражено в 8 научных работах, включая 1 заявку на патент.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, имеющего 76 наименований источников, в том числе 8 работ автора. Общий объем диссертации составляет 182 страницы, в том числе 177 основного текста, 5 списка литературы, 35 страниц-рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Во введении* обоснована актуальность темы, сформулирована настоящая проблема для общей постановки решаемых задач и апробации диссертационной работы.

*В первой главе* рассмотрены основные системы, принимающие участие в управлении посадкой самолетов.

Проанализированы эксплуатационные параметры СНП, определяющие эффективность, и методики их летного контроля.

Анализ эксплуатационной эффективности СНП показывает, что повышение их эффективности возможно тремя основными путями: техническим совершенствованием систем, улучшением организации их использования, разработкой и внедрением новых систем. Усилия исследователей и разработчи-

ков СНП по их техническому совершенствованию на протяжении последних лет привели к повышению точности, помехоустойчивости и стабильности СНП, что увеличило эффективность СНП, определяющую для СН как вероятность точного выведения самолета в заданную точку эшелонирования  $P_v$  (для СП - вероятность успешной посадки с первого захода  $P_y$ ) и позволило уменьшить время, в течение которого невозможна посадка из-за сложных метеоусловий  $T_{смy}$  за счет повышения категоричности систем посадки.

Для стационарных СНП выигрыш в эффективности составляет:

$$K = \frac{N_2}{N_1} = \frac{P_{y2}}{P_{y1}} \cdot \frac{T_r - T_{смy2} - T_{лн2}}{T_r - T_{смy1} - T_{лн1}}, \quad (1)$$

где  $N$  - потенциально возможное количество посадок за время  $T_r$ ;  $T_{лн}$  - продолжительность летных испытаний.

В настоящее время периодичность летных испытаний регламентирована. Но флуктуации эксплуатационных параметров, из-за которых и проводят летный контроль, специфичны для каждого аэродрома в зависимости от типа СНП. Целесообразно устанавливать периодичность летных испытаний, исходя из конкретных характеристик флуктуаций эксплуатационных параметров для данного аэродрома, что позволяет сократить время летных испытаний.

Существенно снизить  $T_{лн}$  можно с помощью метода прогностического моделирования, еще за счет уменьшения количества необходимых испытаний.

Во второй главе проанализирована схема управления процессом посадки самолетов (рис. 1). Показано, что летные испытания на специальных испытательных аэродромах для отработки конкретных схмотехнических решений построения СНП и для определения тактико-технических параметров СНП имеют серьезные недостатки:

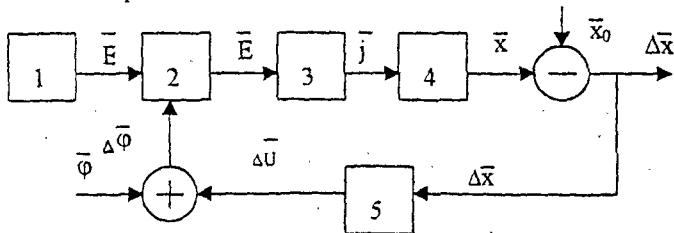


Рис. 1. Структурная схема управления посадкой самолета:  
1 - СП; 2 - канал распространения; 3 - БП; 4 - схема индикации;  
5 - звено «летчик - самолет»

невозможность определения поведения системы в других условиях эксплуа-

тации, низкая варьированность различных технических вариантов исполнения систем, высокая продолжительность испытаний и, как следствие этого, большая их стоимость.

Применение в этих целях методов моделирования исключает указанные недостатки. Модельный эксперимент позволяет прогнозировать возможность использования СНП в конкретных условиях без предварительной ее установки, оценивать параметры СНП на стадии ее проектирования, прогнозировать параметры СНП при строительстве новых аэродромных сооружений, рационально размещая эти объекты, выбирать наилучшие варианты экранировки существующих доминирующих переотражателей (ангаров, самолетных стоянок и т.п.), сокращать сроки испытаний и снижать их стоимость.

Для анализа процесса управления посадкой самолетов предложена комплексная модель СНП (рис. 2).

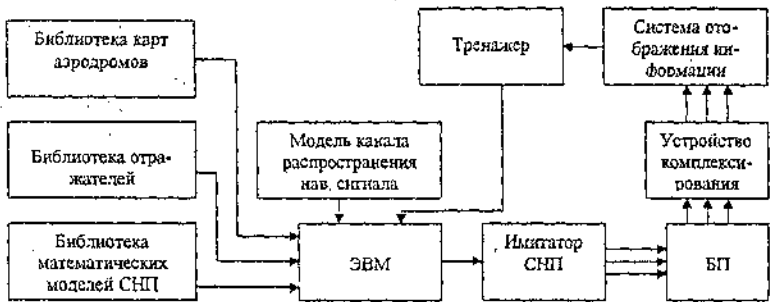


Рис. 2. Комплексная модель СНП

Комплексность модели здесь имеет многосторонний характер:

- использование как математической, так и полунатурной модели (имитаторов);
- использование моделей нескольких типов как СП, так и СН: РСБН, JTIDS, MLS, ЕГРСЦ, СП-80, ILS, GPS, ГЛОНАСС;
- комплексирование различных типов СНП;
- тренировка летного состава как для полетов по навигационному маршруту, так и для посадки самолетов;
- использование библиотек аэродромных отражателей;



- представление процесса управления посадкой самолета замкнутой моделью, включающей в себя динамические характеристики самолета, психологические характеристики летчика;
- применение для сертификации бортовых приемников и контроля параметров СНП, и для тренировки летного состава;
- реализация имитаторов по типовой структурной схеме, а затем на единой интегрированной платформе.

Важнейшим направлением повышения точности СНС и безопасности посадки является комплексирование и совместная обработка информации СРНС с информацией других навигационных систем и устройств.

Одним из факторов, определяющих точность функционирования и моделирования систем посадки и навигации, является проверка качества информационных сигналов и запрет оценки навигационного параметра в случае их искажения. Сигнал запрета, являющийся сигналом обнаружения отражения, может быть использован для включения дополнительных информационных источников, не подверженных влиянию переотражений.

На рис. 3 показана структурная схема устройства обработки с комплексированием информации в случае обнаружения отражения.

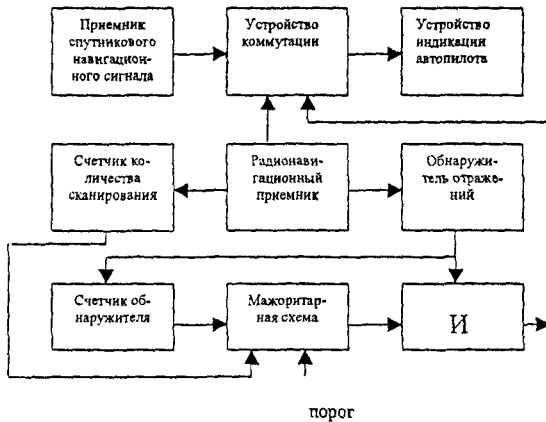


Рис. 3

Сигнал с выхода навигационного приемника поступает на вход устройства индикации в обычном режиме работы системы посадки при отсутствии отражений. При наличии помехи и ее обнаружении, в течение нескольких сканирований, определяемых порогом мажоритарной схемы, устройство

коммутации подключает устройство индикации к приемнику спутниковой навигационной системы, что позволяет избежать потерь информации, возникающих в штатном режиме работы. В качестве обнаружителя выбран фазо-амплитудный обнаружитель.

Характеристики обнаружения существенным образом зависят от алгоритма формирования функции признака переотражения, сравниваемой с порогом, и от условий приема сигналов. Фазовый алгоритм, уменьшая влияние ряда дестабилизирующих факторов, не устраняет влияние шумов. Будем считать, что решается задача обнаружения отражения с неизвестными параметрами на фоне полезного сигнала и флуктуационного нормального шума с дисперсией  $\sigma_{ш}^2$ , описывающего шумы приемного тракта и диффузионную составляющую отражений от подстилающей поверхности. Воздействие шумов определяет в поставленных условиях случайный характер поведения  $\hat{\varphi}_{\Delta}(t)$ . При этом вид критерия обнаружения внутрилучевого отражения будет зависеть от устранения влияния постоянной составляющей  $\varphi_x - \varphi_{оп}$  начальной фазы. Одним из вариантов может служить использование синхронизации момента времени появления первого импульса опорного сигнала (автоопоры) с импульсом информационного процесса, сводящее разность  $\varphi_x - \varphi_{оп}$  к нулю. При этом критерий обнаружения может быть записан следующим образом:

$$\left. \begin{array}{c} H_1 \\ \left| \hat{\varphi}_{\Delta}(t_j) \right| \\ H_0 \end{array} \right\} C_{\varphi}, \quad (2)$$

где  $H_1, H_0$  - гипотезы о наличии и отсутствии помехи соответственно,  $C_{\varphi}$  - порог обнаружения.

Если специальных мер временной синхронизации не предпринимать, то устранить влияние случайного значения  $\varphi_x - \varphi_{оп}$  можно путем формирования следующей функции признака отражения и критерия обнаружения:

$$\left. \begin{array}{c} H_1 \\ R_{\varphi} = \left| \hat{\varphi}_{\Delta}(t_i) - \hat{\varphi}_{\Delta}(t_{j+k}) \right| \\ H_0 \end{array} \right\} C_{\varphi}; \quad k=1, 2, \dots, M, \quad (3)$$

где  $M$  - количество периодов опорной частоты в зоне интерференции сигналов  $T_{\text{п}}$ .

Вероятность ложного обнаружения может быть найдена

$$P_{\text{лт}} = 2 - 2\Phi(C_A / \sigma_{\text{га}}) = 1 - 2 \int_0^{C_A} W(x) dx, \quad (4)$$

где  $W(x)$ ,  $\sigma_{\text{га}}$  - закон распределения и среднеквадратичное отклонение соответствующей функции признака отражения соответственно,  $\Phi(\cdot)$  - функция Лапласа. Выражение (4) позволяет оценить влияние на вероятность ложных обнаружений отношения сигнал/шум, частотных характеристик шума, интервала между отсчетами  $\Delta A$ , критерия обнаружения. Вероятность правильного обнаружения:

$$P_{\text{по}} = \Phi[(R_{A_i} - C_A) / \sigma_{\text{га}}], \quad R_{A_i} > C_A. \quad (5)$$

Анализ приведенных графиков (рис. 6) и соотношений (3 - 5) позволяет сделать заключение о том, что упрощение алгоритма функционирования обнаружителя отражений по амплитудным признакам помехи в сравнении со случаем использования для этой цели функционального измерителя параметров, позволяет решать поставленную задачу при отношении сигнал/шум выше 15 - 20 дБ, что удовлетворяет наихудшему энергетическому режиму СНП.

В *третьей главе* предложены математические модели СНП с учетом переотраженного навигационного сигнала от местных предметов. Исходная задача моделирования сводится к определению множества переотражающих объектов и их характеристик и решению дифракционной задачи отражения от этих объектов.

Местными предметами (МП), переотражающими электромагнитное поле радиомаяков, являются микронеровности рельефа местности, возвышения и уклоны местности, крупные неровности, ангары, здания и сооружения аэродромной службы, самолетные стоянки, отдельно стоящие самолеты, лес. Кроме того, к МП относятся пролетающие в зоне распространения сигнала самолеты. По характеру отражающей поверхности разделяют МП сложной конфигурации (здания с колоннами и т.д.) и МП простой конфигурации.

Аэродромные отражатели могут быть аппроксимированы элементарными отражателями: проводящей прямоугольной и треугольной пластинами, вер-

тикальным и горизонтальным цилиндрами, шаром, конусом, клином или их комбинацией. Дополнительные множители, входящие в коэффициент отражения, должны также учитывать материал здания и уровень шероховатости поверхности. Цистерны, бензозаправки, антенны радиолокаторов и многие другие вышки могут быть смоделированы вертикальными цилиндрами. Вышки могут быть также смоделированы вертикальными пластинами, поднятыми над землей. Фюзеляж самолета моделируется горизонтальным цилиндром, поднятым над землей, а стабилизатор - пластиной или вертикальным цилиндром, поднятыми над землей.

Библиотека элементарных отражателей для всех видов СП является единой вследствие однотипности аэродромного оборудования и его расположения в аэропорту. В библиотеку элементарных моделей для СП входят: вертикальная и треугольная пластины, горизонтальный и вертикальный цилиндры, шар, конус.

Так как местность вокруг аэропортов является разнообразной, то библиотека элементарных отражателей для СП расширяется, в нее включаются также клин, стохастический набор вертикальных диэлектрических цилиндров и другие элементарные отражатели. Проведен анализ влияния динамики самолета на отраженный сигнал, а также оценка адекватности модели реальным системам. Погрешность определения искривления траектории составляет 15 - 17 %.

В четвертой главе приведены структурные функциональные схемы имитаторов СНП.

Основной недостаток математического моделирования - формирование сигнала в нереальном времени и невозможность исследования и сертификация бортовых приемников (БП) с помощью реальных навигационных сигналов.

Полунатурное моделирование (имитирование) исключает этот недостаток. Имитатор моделирует реальную СНП. При этом возможны различные упрощения схемы СНП в зависимости от целей моделирования, в частности, возможно исключение из структурной схемы имитатора сервисных блоков. Полунатурные модели можно сопрягать с реальными БП СНП, и они могут оперативно воспроизводить статистические характеристики канала распространения навигационного сигнала. Для учета переотражения от МП структура имитатора должна содержать как канал формирования прямого сигнала, так и канал формирования отраженного сигнала (рис. 4). Возможно включение блока формирования аддитивной помехи  $\eta(t)$  и мультипликативной помехи  $\mu(t)$ . Для большей адекватности реальной обстановке число каналов переотраженного сигнала можно увеличить, имея в виду, что каждый канал соответствует отражению от какого-то аэродромного отражателя.

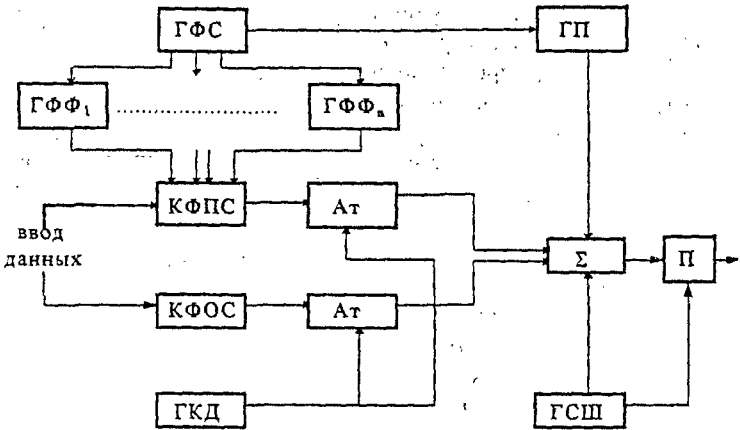


Рис. 4. Структурная схема построения имитатора СНП с одним каналом отражения: ГФС - генератор формата системы; ГФФ - генератор форматов функций; КФПС - канал формирования прямого сигнала; КФОС - канал формирования отраженного сигнала; ГП - генератор преамбулы; Ат - аттенюатор; ГСШ - генератор аддитивной помехи  $\eta(t)$  и мультипликативной помехи  $\mu(t)$ ;  $\Sigma$  - сумматор; ГКД - генератор кода дальности;  $\Pi$  - множитель

Формирование и суммирование сигналов осуществляется либо на промежуточной, либо на выходной высокой частоте. Первый вариант позволяет реализовать более простую структуру имитатора. При этом предполагается, что высокочастотная часть приемника линейна и не вносит существенных искажений в сигнал.

Формирование канала отраженного сигнала может происходить с управлением его параметрами вручную или с помощью ЭВМ. В последнем случае параметры могут задаваться как статистической моделью, так и прогностической моделью, учитывающей конкретную аэродромную ситуацию.

Имитаторы используются для отработки схемотехнических решений СНП в процессе разработки, сертификации бортовых приемников, при их вводе в эксплуатацию, а также периодически в процессе эксплуатации. Включенные в замкнутую цепь с имитатором-тренажером и бортовым приемником, имитаторы могут использоваться для тренировки летного состава, отработки тактики посадки, различных чрезвычайных аэродромных ситуаций.

В результате сравнительной оценки экспериментальных данных и ре-

зультатов моделирования получено, что коэффициент корреляции  $r = 0,95 - 0,98$ , что свидетельствует об адекватности модели реальным системам.

В пятой главе проведено экспериментальное исследование параметров СНП с помощью моделирования, и показана возможность прогнозирования параметров СНП.

Исследования точностных характеристик РСБН проводились методом полунатурного моделирования на моделирующем комплексе, состоящем из радиотехнического имитатора сигналов систем навигации и состыкованной с ним бортовой аппаратуры "Веер-М".

Результаты представлены в виде графиков на рис. 5. На графиках приняты следующие обозначения:  $p$  - коэффициент отражения;  $\Theta$  - ширина провала между лепестками азимутального сигнала по уровню 0,5;  $\Delta\alpha$  - сдвиг между огибающими прямого и переотраженного сигналов;  $\delta$  - ошибка измерения азимута.

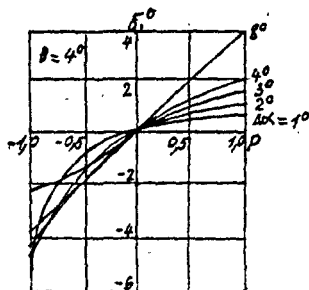
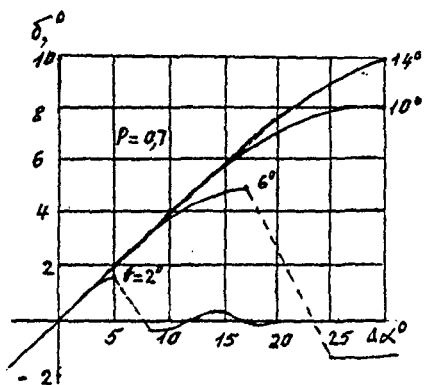


Рис. 5

Проведенное исследование показывает принципиальную возможность расширения азимутального сигнала без снижения точности РСБН, что связано с уменьшением размеров и веса антенной системы радиомаяка.

Результаты математического ЕГРСП моделирования позволяют сделать следующие заключения. Вид диаграммы направленности антенны радиомаяка не оказывает существенного влияния на характер функции ошибок. При малых уровнях сигнала ( $A = 50$  мкВ), временном разнесении  $\tau$  полезного сигнала  $S(t)$  и помехи  $C(t)$ , не превышающем 1,5 ширины диа-

граммы направленности антенны по уровню 0,7, математические ожидания ошибок практически совпадают.

Влияние остальных параметров сигнала и помехи характеризуется монотонным возрастанием ошибок с ростом уровня отраженных сигналов  $p$ . Независимо от значений других параметров, увеличение временного разнесения прямого и отраженного сигналов до значения порядка  $\Theta_A/\Omega_{СК} = t_{\text{н}}$ , где  $\Theta_A$  - ширина диаграммы направленности (ШДН) антенны в угломерной плоскости на уровне 0,7 приводит в среднем к возрастанию ошибок, а при дальнейшем увеличении  $t$  ошибки уменьшаются. В общем при малых уровнях прямого и отраженного сигналов ( $A < 0,1$  мВ;  $p < 0,3$ ) зависимость  $\Delta t_{\phi}$  от разности фаз можно аппроксимировать функцией вида

$$\Delta t_{\phi} = \Delta t_{\phi \text{ max}} \cos \Delta \varphi. \quad (7)$$

Весьма важным является моделирование погрешности задания траектории с учетом параметров фильтра БП и параметров инерциальной системы "летчик-самолет". Показано, что высокочастотная составляющая сигнала выходного фильтра также играет важную роль в управлении посадкой самолета, высокочастотные шумы воздействуют на систему управления как ударная нагрузка.

Вследствие этого для исследования характеристик аэродромных отражателей (параметров отраженного сигнала) на точность задания траектории и соответственно эксплуатационную эффективность СП необходимо смоделировать не только выходной ток бортового приемника, но и погрешность определения углового положения ЛА; погрешность шумов управления; погрешность задания траектории.

Проведено математическое и полунатурное моделирование ФАО. Экспериментально установленные зависимости вероятности ложной тревоги  $P_{лт}$  от отношения сигнал/шум  $q$  для различных значений порога обнаружения  $L$  представлены на рис. 6,а. График показывает, что при  $q > 7-8$  при всех значениях  $L$  шум практически не влияет на работу обнаружителя. При  $q \leq 2$  вероятность ложной тревоги  $P_{лт} \rightarrow 1$  и обнаружитель неработоспособен. Полученные зависимости использовались в последующих экспериментах для установки фиксированных значений вероятности  $P_{лт}$  при исследовании характеристик ФАО.

На рис. 6,б приведены зависимости вероятности правильного обнаружения  $P_{до}$  от коэффициента отражения  $p$ , полученные при фиксированных значениях разности фаз  $\Delta \varphi_p$  и сдвига огибающих  $\tau/T_{\text{н}}$  и постоянном значении вероятности ложной тревоги  $P_{лт} = 0,4; 0,1$ .

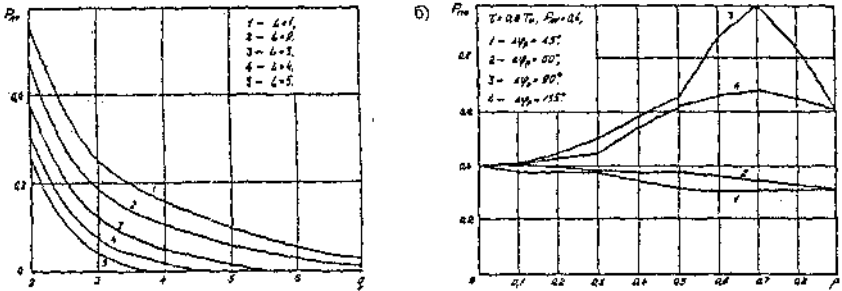


Рис. 6

Использование модельных прогностических экспериментов позволяет снизить объем летных испытаний в 2 раза, увеличить эффективность  $N$  в 1,05 раза.

При этом дисперсия задания навигационной траектории увеличивается в 1,53 раза.

Все это в целом позволяет существенно увеличить пропускную способность аэропортов, безопасность полетов, снизить стоимость летных испытаний и стоимость эксплуатации СМП.

Разработанные устройства модели и методики опробованы в ВЛГУ и внедрены в ОАО "ВКБ "Радиосвязь", ОАО "Электроприбор" (г. Владимир), МП "Курс" (г. Санкт-Петербург), научном объединении производства новых технологий (г. Ханой, Вьетнам). Устройства модели и методики использованы при разработке новых систем управления посадкой самолетов и эксплуатации существующих систем.

В заключении сформулированы основные практические результаты проведенных исследований.

В приложении приведены виды внедрения разработанных средств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты.

1. Проведен анализ методов моделирования процесса посадки ЛА и систем управления посадкой самолетов. Указаны условия и предположения, лежащие в основе этой модели.
2. Разработана методика использования моделирования для контроля эксплуатационных параметров СМП. Разработаны критерии эффективности



- средств моделирования. Показано, что моделирование позволяет повысить эффективность СНП в 1,052 раза. Погрешность моделирования эксплуатационных параметров не превышает 17 – 19%.
3. Разработаны математические и полунатурные модели эксплуатируемых и проектируемых СНП, входящие в комплексную модель управления посадкой ЛА. Показана адекватность моделей реальным системам.
  4. Разработаны библиотеки аэродромных отражающих сооружений и элементарных отражателей; математические модели канала распространения навигационного сигнала и звена «летчик – самолет», что позволяет получить замкнутую модель управления посадкой ЛА.
  5. Проведен анализ методов обнаружения доминирующих отражателей и соответственно «запрещенных» направлений посадки, и показана перспективность фазового метода обнаружения доминирующих отражателей.
  6. Разработано устройство обнаружения доминирующих отражателей, реализующее фазовый метод.
  7. Проведен анализ методов комплексирования навигационных систем и предложена схема для комплексирования сантиметровой радиотехнической СП и спутниковой навигационной системы.
  8. С помощью полунатурных моделей (имитаторов) исследована точность СНП, проанализирована зависимость различных факторов.
  9. Проведенный анализ погрешностей СП показал, что она состоит из двух составляющих: шумов задания траектории и высокочастотных шумов, влияющих на контур управления. Весьма важным является тот факт, что с помощью модели можно исследовать обе составляющие, анализировать их воздействие на управление ЛА при посадке.
  10. Проведено исследование вариантов построения ФАО с совместной опорной частотой и автоопорой. Методом математического моделирования показано, что ФАО со случайной фазой близок к оптимальному обнаружителю.
  11. Исследована характеристика ФАО с автоопорой на полунатурной модели, доказана работоспособность фазового метода обнаружения доминирующих отражений.

#### Публикации по теме диссертации

1. Никитин О. Р., Тхам Дык Фыонг. Использование математической и полунатурной модели для тренировки летного состава // Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. - Владимир, 1997.

2. Тхам Дык Фыонг. Комплексные модели систем посадки самолетов // Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. - Владимир, 1997.
3. Никитин О. Р., Тхам Дык Фыонг. Комплексная многофункциональная модель радионавигационных систем // Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. - Владимир, 1999.
4. Тхам Дык Фыонг. Погрешности спутниковых радионавигационных систем // Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. - Владимир, 1999.
5. Тхам Дык Фыонг. Комплексное моделирование систем навигации и посадки самолетов // Newtecspro. - На вьетнам. языке. - Ханой, 1999. - № 8.
6. Нгуен Тан Динь, Тхам Дык Фыонг. Интеграция спутниковых радионавигационных систем // Newtecspro. - На вьетнам. языке. - Ханой, 1999. - № 8.
7. Нгуен Тан Динь, Тхам Дык Фыонг. Спутниковые приемники на вьетнамском рынке // Newtecspro. - На вьетнам. языке. - Ханой, 1999. - №8.
8. Заявка на патент № 99125863/20, G01 S7/292 от 09.12.1999 г. Обнаружитель переотраженных сигналов / Соавт.: Архипов Е.А., Егоров В.А., Никитин О.Р., Тхам Дык Фыонг.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.