

На правах рукописи

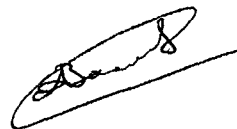
Васильев Александр Николаевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АДАПТИВНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОРАБЛЯ**

**Специальность: 05.13.18 – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Ульяновск – 2005

Работа выполнена на кафедре «САПР» Ульяновского государственного технического университета.

- Научный руководитель – заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Васильев Константин Константинович
- Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор Кумунжиев Константин Васильевич
- кандидат технических наук, доцент Гладких Анатолий Афанасьевич
- Ведущая организация – ФГУП НПО «Марс», г. Ульяновск

Защита диссертации состоится « 28 » декабря 2005 г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.277.02 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета.

Автореферат разослан « 24 » ноября 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор



В.Р. Крашенинников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В последнее время в связи с широким применением спутниковых навигационных систем появились возможности решать новые задачи, такие как динамическое позиционирование, стабилизация путевого угла, динамическая стабилизация. Причем системы автоматического управления движением (САУД), решающие эти задачи, должны обеспечивать заданные точностные характеристики в условиях действия интенсивных ветро-волновых возмущений и течения.

Поэтому актуальными являются задачи моделирования ветро-волновых процессов, анализ их воздействия на систему управления движением подвижного объекта и разработки алгоритмов адаптации параметров системы управления к изменяющимся метеоусловиям.

Проблема математического моделирования систем автоматического управления движением объектов рассматривалась в большом числе работ отечественных и зарубежных специалистов. Основное внимание при этом уделялось математическому моделированию систем управления движением корабля при движении с высокими скоростями, в частности, при стабилизации курса. Вместе с тем, в настоящее время становятся актуальными и другие задачи судовождения, особенно – задача динамического позиционирования. При этом вопросы моделирования таких систем в условиях сложных случайных воздействий не исследованы в полной мере.

Цели и задачи работы. Целью работы является разработка и моделирование алгоритмов оптимального и квазиоптимального управления динамическими объектами в условиях действия случайных коррелированных внешних возмущений, позволяющих осуществить разработку и исследование динамических характеристик сложных САУД.

Для достижения названной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Провести сравнительный анализ известных алгоритмов оптимального адаптивного стохастического управления.
2. Синтезировать алгоритмы моделирования случайных воздействий с заданными спектрами, близкими к спектрам ветро-волновых возмущений.
4. Синтезировать улучшенные алгоритмы стохастического управления движением с адаптацией к внешним воздействиям.
5. Разработать библиотеку программного комплекса, позволяющую проводить моделирование алгоритмов имитации случайных ветро-волновых воздействий с заданными спектрами и алгоритмов стохастического управления движением с адаптацией к внешним воздействиям.
6. Провести сравнительный анализ и оптимизацию различных видов САУ как по структуре, так и по параметрам.
7. Провести анализ особенностей применения разработанных алгоритмов и моделей для реальных систем управления движением.

Методы исследований. При решении задач, рассматриваемых в диссертации, были использованы методы математического анализа, теории вероятностей,

математической статистики, теории стохастического управления и математического моделирования.

Научная новизна положений, выносимых на защиту. В диссертации получены следующие новые научные результаты.

1. Предложены и исследованы алгоритмы моделирования случайных ветроволновых воздействий, позволяющие получать реализации случайных процессов с заданными спектральными характеристиками трех основных классов при заданных погрешностях аппроксимации.

2. Предложен алгоритм обнаружения скачков внешних воздействий, входящий в состав САУД, позволяющий уменьшить вероятность срыва работы САУД и снизить среднеквадратическую погрешность ошибки слежения на 20 – 30% за счет раннего обнаружения скачка и принятия мер по выработке противодействующих упоров.

3. Предложен адаптивный алгоритм двухуровневого управления, при котором параметры системы управления меняются в зависимости от величины рассогласования координаты и бальности волнения, обеспечивающий адаптацию САУД к внешним воздействиям и снижающий среднеквадратическую погрешность ошибки слежения на 15 – 20%.

Практическая значимость.

– Разработанный программный комплекс «Система управления движением корабля» положен в основу программного обеспечения интегральной мостиковой системы малого корабля специального назначения и обеспечивает его функционирование в реальном масштабе времени.

– В системе MATLAB разработана библиотека программ моделирования алгоритмов управления движением объекта, позволяющая исследовать характеристики системы управления движением при различных параметрах управления и в различных режимах управления, пригодная для проведения лабораторного практикума.

Практическая значимость проведенных в диссертации исследований подтверждена актами о внедрении разработанных автором алгоритмов, программ и методик в производственную деятельность ФГУП «НПО «Марс», а также в учебный процесс УлГТУ при изучении дисциплин «Теория автоматического управления» и «Математическое моделирование».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих НТК:

– III-IV Всероссийские научно-практические конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем» (Ульяновск, 2001 г., 2004 г.);

– 10-я Международная конференция по автоматическому управлению «Автоматика-2003» (г. Севастополь, 2003 г.);

– LX научная сессия, посвященная Дню радио (Москва, 2005 г.);

– ежегодные конференции профессорско-преподавательского состава УлГТУ «Вузовская наука в современных условиях» (2002-2005 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе статей 7 и тезисов докладов 3.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 129 наименований и двух приложений. Работа содержит 143 страницы основного текста, 17 страниц приложений, 63 рисунка и 2 таблицы в основной части и 20 рисунков в приложении.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности рассмотренных в диссертации вопросов. Здесь же определяются цель исследования, научная новизна и практическое значение. Кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава посвящена анализу существующих методов и алгоритмов моделирования стохастических систем управления движением объектов. Проведенный сравнительный анализ показал, что при создании и моделировании стохастических систем автоматического управления движением, как правило, рассматриваются только установившиеся режимы без учета случайных внешних воздействий. Основное внимание уделяется системам автоматической стабилизации курса корабля, а описание решения сложных задач динамического позиционирования в литературе практически отсутствует.

Анализ основных математических моделей движения объектов с учетом случайных возмущений показал, что в настоящее время имеется значительное разнообразие алгоритмов, позволяющих создавать программные комплексы имитации процессов управления движением кораблей. Вместе с тем, в литературе отсутствует сравнительный анализ различных процедур имитации случайных ветроволновых воздействий по критериям вычислительной сложности и адекватности реальным воздействиям, а также описание конкретных программных комплексов моделирования процессов судовождения.

Показано, что для создания перспективных систем управления движением необходимо решить комплексную задачу разработки и моделирования системы динамического позиционирования корабля в условиях случайных внешних воздействий, а также других видов систем управления движением с учетом современных навигационных средств.

Во второй главе рассматриваются вопросы по разработке и моделированию алгоритмов управления движением при случайных воздействиях, близких по спектральным характеристикам к реальным ветро-волновым процессам.

Пусть ордината волнения представляет собой непрерывный случайный процесс $y(t)$ со стандартным спектром, рекомендованным 12-й Международной конференцией опытовых бассейнов в 1969 году

$$S(\sigma) = 7.06\pi \frac{D_y}{\sigma} \left(\frac{\sigma_m}{\sigma} \right)^5 \exp \left(-1.25 \left(\frac{\sigma_m}{\sigma} \right)^4 \right),$$

где $\bar{\sigma} = 2\pi/\bar{T}$ – средняя частота волнения, c^{-1} ; $\bar{T} \approx 3.1\sqrt{h_{3\%}}$ – средний период волнения; $\sigma_m = 0.71\bar{\sigma}$ – частота максимума спектра, c^{-1} , $h_{3\%}$ – высота волны 3%-й обеспеченности.

Для имитации волновой ординаты со спектром, близким к стандартному, в диссертации предлагается использовать дискретный процесс $x_n = x(n\Delta t)$, формируемый рекурсивным фильтром второго порядка

$$x_n = 2ax_{n-1} - \rho^2 x_{n-2} + \gamma \xi_n,$$

где $\rho = e^{-\alpha}$, $a = e^{-\alpha} \cos \beta$; ξ_n – независимые случайные гауссовские величины. Этот процесс имеет корреляционную функцию вида

$$B(n) = b\rho^n \cos(\beta n - \psi).$$

Рассмотрим непрерывный процесс $\dot{x}(t)$ с корреляционной функцией того же типа

$$B_x(t) = b\rho^t \cos(\beta t - \psi).$$

Его спектр имеет дробно-рациональный вид

$$S_x(\sigma) = \frac{2\gamma^2 \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{(1 - \rho^2) |\sin \beta| \sqrt{1 - 2\rho^2 \cos 2\beta + \rho^4}} \times \frac{(\alpha^2 + \beta^2) \cos(\psi - \chi) + \cos(\psi + \chi) \sigma^2}{\sigma^4 + 2(\alpha^2 - \beta^2) \sigma^2 + (\alpha^2 + \beta^2)^2},$$

где $\chi = \arctg(\beta/\alpha)$. Подбирая параметры α , β и γ формирующего фильтра, можно получить удовлетворительную аппроксимацию экспоненциального стандартного спектра дробно-рациональным (рис. 1), что дает возможность получения имитации волновой облинаты с любым интервалом дискретизации Δt (рис. 2).

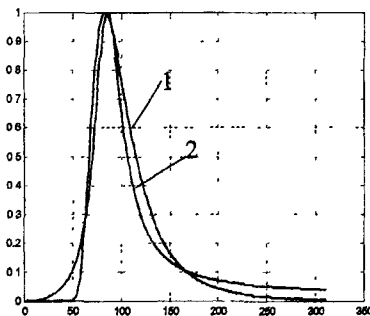


Рис. 1. Спектры волнения:
1 – экспоненциальный спектр,
2 – аппроксимирующий
дробно-рациональный спектр

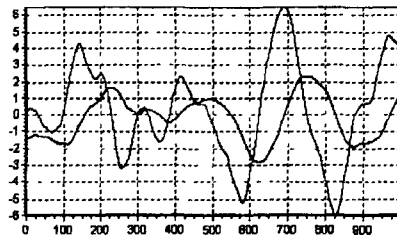


Рис. 2. Реализация процесса авторегрессии 2-го порядка, соответствующая волнению 2 балла

Для улучшения приближения стандартного спектра в диссертации используются формирующие фильтры более высоких порядков. Применено также численное дифференцирование процесса x_n , что соответствует умножению его спектра на

$$F(\sigma) = \frac{2(1 - \cos(k\sigma\Delta t))}{(k\Delta t)^2} = \frac{2(1 - \cos(h\sigma))}{(h)^2},$$

где $h = k\Delta t$ – шаг численного дифференцирования. Множитель $F(\sigma)$ при подходящем выборе k существенно улучшает аппроксимацию стандартного спектра.

Были проведены исследования по оцениванию аппроксимации спектров двумя методами – параметрическим и непараметрическим. Выяснено, что непараметрический метод спектрального оценивания (метод Бурга) является менее точным (погрешность порядка 10 – 20%), тогда как при параметрическом оценивании для интервала дискретизации $T=0,2$ с получаются наименьшие погрешности. Кроме того, приемлемые погрешности аппроксимации имеет дробно-рациональный спектр.

Таким образом, при небольших вычислительных затратах удастся получить имитацию волновой ординаты нерегулярного волнения любой балльности. Это дает возможность имитации сил и моментов, воздействующих на корабль при различных его скоростях и курсах к волне, что необходимо для статистических испытаний САУД.

Рассмотрим решение задачи цифрового оптимального управления для непрерывного времени по переводу некоторого объекта управления из исходного состояния $x(t_0)$ в заданное состояние $x(t_s)$ с помощью управления $U(t)$, обеспечивающего минимум взвешенной суммы средних квадратов ошибки и сигналов управления.

Модель движения объекта при воздействии внешних возмущений в дискретном времени будет иметь вид:

$$\bar{X}_k = A_{k-1} \cdot \bar{X}_{k-1} + B_{k-1} \cdot \bar{U}_{k-1} + \bar{\xi}_{k-1},$$

где \bar{X}_k – n -мерный вектор состояния на k -м отсчете, \bar{U}_k – r -мерный вектор управления; $A(t)$ – $n \times n$ -матрица коэффициентов, определяемых линеаризованными характеристиками объекта управления в соответствующем режиме управления; $B(t)$ – $n \times r$ -матрица линеаризованных коэффициентов для исполнительных органов объекта; $\bar{\xi}_k$ – векторный белый шум; m -мерный вектор наблюдений запишется в виде:

$$\bar{Z}_k = C_k \cdot \bar{X}_k + \bar{\theta}_k.$$

Управление, обеспечивающее минимум функционала интенсивности

$$J = M \left\{ 0,5 \cdot \bar{X}_{k_s}^T \cdot S \cdot \bar{X}_{k_s} + 0,5 \cdot \sum_{k=k_0}^{k_s-1} \left(\bar{X}_k^T \cdot Q_k \cdot \bar{X}_k + \bar{U}_k^T \cdot R_k \cdot \bar{U}_k \right) \right\},$$

определяется по формуле

$$\bar{U}_k = -L_k \cdot \hat{\bar{X}}_k,$$

где

$$L_k = B_k^T \cdot M_{k+1} \cdot A \cdot (R_k + B_k^T \cdot M_{k+1} \cdot B)^{-1}$$

Матрица M_k находится путем решения матричного уравнения Риккати:

$$M_k = A_k^T \cdot M_{k+1} \cdot A_k + Q_k - L_k^T \cdot (R_k + B_k^T \cdot M_{k+1} \cdot B_k) \cdot L_k$$

с граничным условием $M_{k_3} = S$.

Для оптимальной оценки вектора состояния воспользуемся уравнениями Калмана:

$$\hat{X}_k = A_{k-1} \cdot \hat{X}_{k-1} + B_{k-1} \cdot \bar{U}_{k-1} + K_{k-1} \cdot (\bar{Z}_k - C_k \hat{X}_{k-1}),$$

где $K_k = P_k \cdot N_{\theta_k}^{-1} \cdot C^T$, $P_k = P_{\text{эск}k} \cdot (E + N_{\theta_k}^{-1} \cdot C_k \cdot P_{\text{эск}k} \cdot C_k^T)^{-1}$, E — единичная матрица, $P_{\text{эск}k} = A_k \cdot P_{k-1} \cdot A_k^T + N_{\xi_k}$ с начальным условием $P_{\text{эск}k_0} = M(\bar{X}_{k_0}^T, \bar{X}_{k_0})$.

При отличии $\bar{\xi}$ от белого шума будут использоваться аналогичные уравнения.

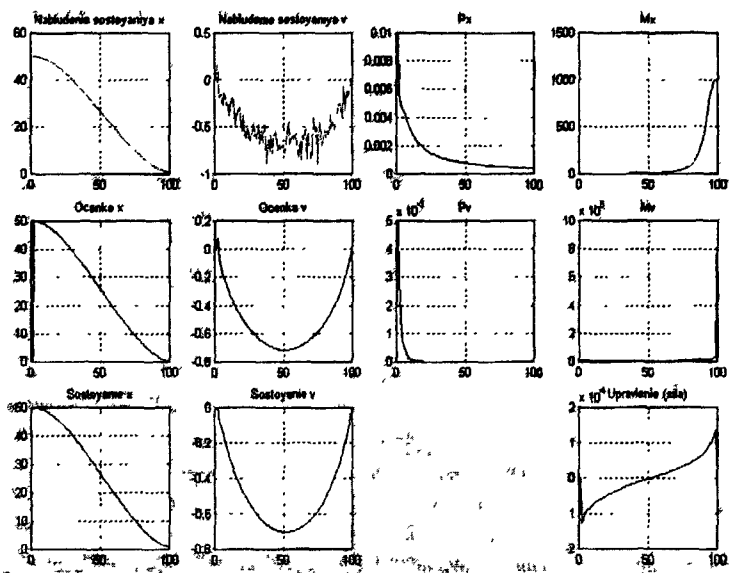


Рис. 3. Работа цифрового алгоритма оптимального управления

В качестве примера было рассмотрено перемещение центра масс объекта управления на расстояние 50 м вдоль оси Ox за 100 шагов. На рис. 3 представлены графики изменения компонент вектора наблюдения $z_{1k} = x_k + \theta_{1k}$, $z_{2k} = v_{xk} + \theta_{2k}$, вектора оценок \hat{x}_k , \hat{v}_{xk} координат, диагональные элементы P_{xk} , P_{vk} матрицы ошибок оценивания, элементы M_{xk} , M_{vk} матрицы управления, а также результирующие компоненты x_k и v_{xk} вектора состояния и значения силы u_{xk} .

В стационарном режиме каждый из каналов управления по координатам x , y и углу ϕ объекта может быть представлен в виде структурной схемы, приведенной на рис. 4. В приведенной схеме через τ обозначена постоянная времени инерции соответствующих органов активного управления; $K_{Oy} = 1/m(1+k_{ii})$ – коэффициент передачи корпуса корабля, где m – масса (для каналов управления по координатам x и y) или момент инерции (для канала управления по курсу ϕ) корабля, k_{ii} – коэффициент присоединенных масс или присоединенного момента инерции для соответствующего канала управления.

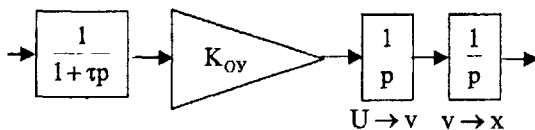


Рис. 4. Структурная схема объекта управления по одной координате

Регулятор САУ такого объекта управления, обеспечивающий устойчивость работы при астатизме не менее 3-го порядка для возможности отработки сноса за счет воздействия постоянных внешних сил, имеет структуру, представленную на рис. 5.

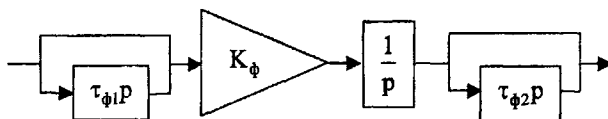


Рис. 5. Структурная схема регулятора САУ в стационарном режиме

Параметры $\tau_{\phi 1}$ и $\tau_{\phi 2}$ регулятора определяются качеством переходного процесса. $K_{\phi} = 1/(K_{Oy} \cdot \tau_{\phi 1} \cdot \tau_{\phi 2} \cdot \tau_{cp})$, где $\tau_{cp} = T_{проц}/3$ – постоянная времени процесса, значение которой определяется, исходя из ограниченности физических характеристик объекта управления, предельного насыщения органов активного управления, погрешности определения соответствующих координат и случайного характера внешних воздействий.

Сигнал управления САУ в стационарном режиме будет вычисляться по формуле:

$$U = \int \left(K_{\phi} \cdot \int \left(\varepsilon + \tau_{\phi 1} \frac{d}{dt} \varepsilon \right) dt \right) + \tau_{\phi 2} \cdot \frac{d}{dt} \int \left(K_{\phi} \cdot \int \left(\varepsilon + \tau_{\phi 1} \frac{d}{dt} \varepsilon \right) dt \right),$$

где ε – текущее рассогласование координаты или угла в канале управления.

Синтезированный таким образом регулятор можно привести к известному ПИД-регулятору, параметры которого оптимизируем по виду переходного процесса. Воспользуемся методом нелинейного (квадратичного) программирования, удовлетворяющего условиям теоремы Куна–Таккера при минимизации функции

$$Q(\bar{x}, \bar{r}) = f(\bar{x}) + \sum_{j=1}^m r_j \cdot H[h_j(\bar{x})] + \sum_{j=m+1}^k r_j \cdot G[g_j(\bar{x})]$$

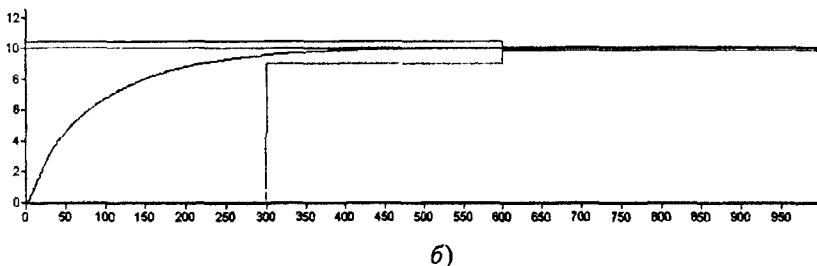
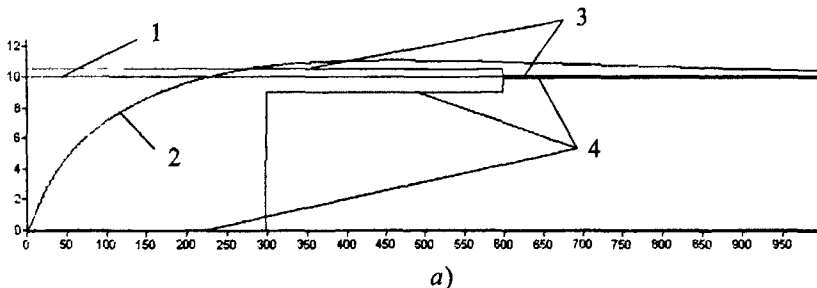


Рис. 6. Переходный процесс с начальными (а) и оптимизированными (б) параметрами регулятора САУ:

1 – заданное значение координаты, 2 – текущее значение координаты, 3 – верхняя граница переходного процесса, 4 – нижняя граница переходного процесса

со штрафными функциями $H[\cdot], G[\cdot]$. Целевая функция имеет вид $f(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N (x_{zad} - x_i)^2$, где x_{zad} – заданное значение координаты, x_i – текущее состояние объекта управления; функции $h_j(\bar{x})$ отсутствуют, а функции $g_j(\bar{x})$ имеют вид:

$$g_1(\bar{x}) = g_{up}(\bar{x}) = \begin{cases} (x_i - g_{up1})^2, & x_i > g_{up1}, \\ 0, & x_i \leq g_{up1}, \end{cases}$$

$$g_2(\bar{x}) = g_{low}(\bar{x}) = \begin{cases} (g_{low1} - x_i)^2, & x_i < g_{low1}, \\ 0, & x_i \geq g_{low1}, \end{cases}$$

где g_{up1}, g_{low1} – соответственно верхнее и нижнее граничные значения координаты на i -м отсчете времени. Если полученное в процессе оптимизации решение не удовлетворяет системе ограничений, то значения коэффициентов штрафа r_j

увеличиваются и снова решается задача минимизации функции $Q(\bar{x}, r)$. Пример работы алгоритма приведен на рис. 6. Начальный переходный процесс САУ имеет вид 2 (см. рис. 6, а), который необходимо ввести в пределы верхней (3) и нижней (4) границы. При этом также сохраняется необходимость достижения заданного значения координаты (1). По окончании работы алгоритма оптимизации переходный процесс принимает требуемый вид (рис. 6, б).

С помощью такого алгоритма можно настраивать параметры САУД перед началом работы системы управления движением, при этом удастся достичь требуемых параметров переходного процесса.

Третья глава посвящена анализу эффективности алгоритмов стохастического управления. В реальных условиях характер внешних воздействий может оказаться более сложным, чем представленные во второй главе модели случайных процессов. В частности, могут возникнуть стохастические импульсные воздействия, соответствующие резким порывам ветра (шквалам). Кроме того, возможны и другие воздействия труднопредсказуемого характера, которые могут нарушить работу САУД. В связи с этим целесообразно ввести в САУД элементы, обеспечивающие адаптацию к резкому изменению внешних условий. Наконец, при разработке программного моделирующего комплекса необходимо учесть особенности реальных исполнительных механизмов и средств активного управления.

Предлагается алгоритм обнаружения скачков аэродинамических воздействий, при котором значения скорости истинного ветра поступают на два скользящих окна размерами T_1 и T_2 ($T_1 = T_2$), которые следуют одно за другим через интервал времени $T_{\text{ит}}$. В процессе работы алгоритма вычисляется отношение сумм значений, содержащихся в первом и во втором окнах (рис. 7). При достижении порогового значения этого отношения вырабатывается сигнал об обнаружении скачка входного сигнала. На выходе в момент обнаружения скачка выдаются либо неоглаженные значения входного сигнала, либо значения, усредненные первым скользящим окном; в остальное время на выход подается сигнал, сглаженный с помощью основного скользящего окна размером $T_{\text{осн}}$. Также вычисляется отношение сумм значений первого и основного скользящих окон для отслеживания ситуации, когда скачок входного сигнала затянулся во времени и на выход можно подавать усредненное основным скользящим окном значение.

Особенностью обнаружения скачка в случайном сигнале вследствие имеющейся дисперсии шума является возможность неоднократного пересечения порогового значения следящей величиной (в данном алгоритме следящие величины — отношения сумм значений двух скользящих окон) за короткий промежуток времени, что не говорит о наличии частых скачков в исходном сигнале. Для исключения ложных срабатываний вводится двойной порог, первое значение которого следящей величиной достигается раньше, а второе — позже, при этом, если следящая величина нарастает, то первое значение порога больше по отношению ко второму значению, если следящая величина спадает, то первое

значение порога соответственно меньше. Разница между этими двумя пороговыми значениями зависит от дисперсии входного сигнала.

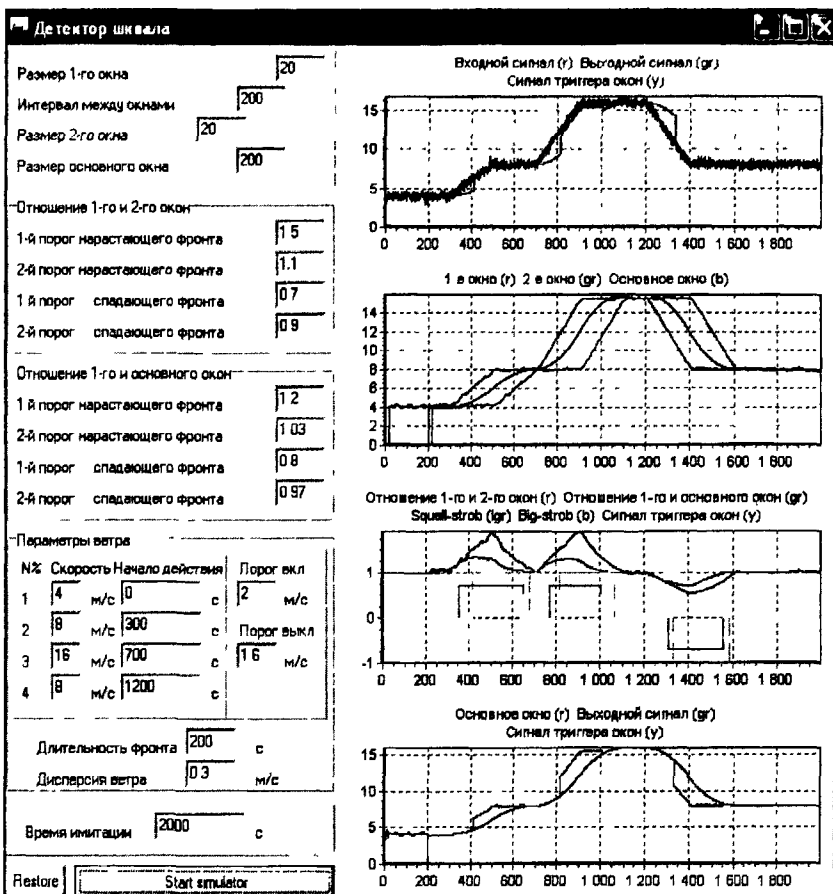


Рис. 7. Интерфейс программы детектирования скачков внешних воздействий

В алгоритме предусмотрено двухстороннее отслеживание скачка исходного сигнала: как его нарастания, так и спада.

Применение данного алгоритма позволяет уменьшать вероятность срыва работы САУД при скачкообразном изменении параметров внешних воздействий, при этом за счет раннего обнаружения шквала и принятия мер по выработке противодействующих упоров снижается среднеквадратичная погрешность ошибки слежения на 20–30%.

Для повышения эффективности работы САУД предлагается алгоритм двухуровневого управления, при котором параметры системы управления изменяются в зависимости от дальности до точки позиционирования и метеорологических условий плавания.

Предлагается ввести два кольца дальности от точки позиционирования (рис. 8): за пределами внешнего кольца постоянная времени САУД устанавливается минимальной, так, чтобы при интенсивном действии внешних воздействий система управления успевала справляться со сносом и возвращала объект управления в зону точки позиционирования.

В пределах внутреннего кольца дальности постоянная времени САУД зависит от балльности волнения: при малом волнении она минимальна, с увеличением балльности постоянная времени уменьшается.

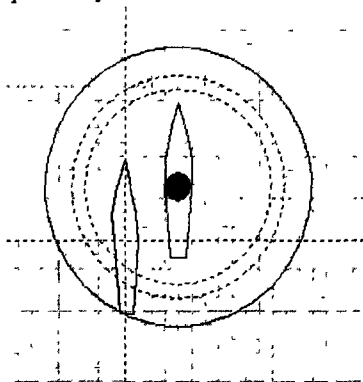


Рис. 8. Кольца дальности до точки позиционирования

Зона между кольцами дальности является переходной. Постоянная времени САУД в этой зоне зависит от направления движения объекта управления: если объект управления зашел в переходную зону из-за пределов внешнего кольца, постоянная времени САУД продолжает оставаться минимальной и становится зависимой от метеообстановки в момент входа во внутреннее кольцо. Если объект управления входит в переходную зону из внутреннего кольца (например, при интенсивном сносе), то постоянная времени САУД продолжает оставаться зависимой от метеообстановки, и становится минимальной при пересечении внешнего кольца.

Результаты моделирования показали, что за счет использования алгоритма двухуровневого управления достигается адаптация САУД к внешним воздействиям и снижается среднеквадратическая погрешность ошибки слежения на 15–20%.

В реальных САУД вырабатываемые сигналы управления преобразуются в соответствии с протоколами сопряжения в силовые сигналы управления электродвигателем исполнительного механизма, который с постоянной скоростью перемещает шток, передающий усилие в гидросистему и тем самым меняет произ-

водительность гидромотора. В исходном варианте работа средств активного управления моделировалась с использованием инерционного звена с передаточной характеристикой $W(p) = 1/(1 + \tau p)$, где τ – постоянная времени инерции соответствующего средства активного управления. С уточнением принципа действия исполнительных механизмов появилась необходимость внести коррективы в структуре звеньев САУ. Исполнительный механизм представляет собой нелинейное звено, ограничивающее скорость изменения процесса определенным значением.

Результаты моделирования показали, что при введении в модель объекта управления локальные системы управления со звеньями исполнительного механизма за счет более раннего установления требуемых параметров на средствах активного управления на 10% уменьшается постоянная времени переходных процессов всей САУД в целом.

В четвертой главе рассматриваются особенности реализации программного комплекса САУД реального объекта управления.

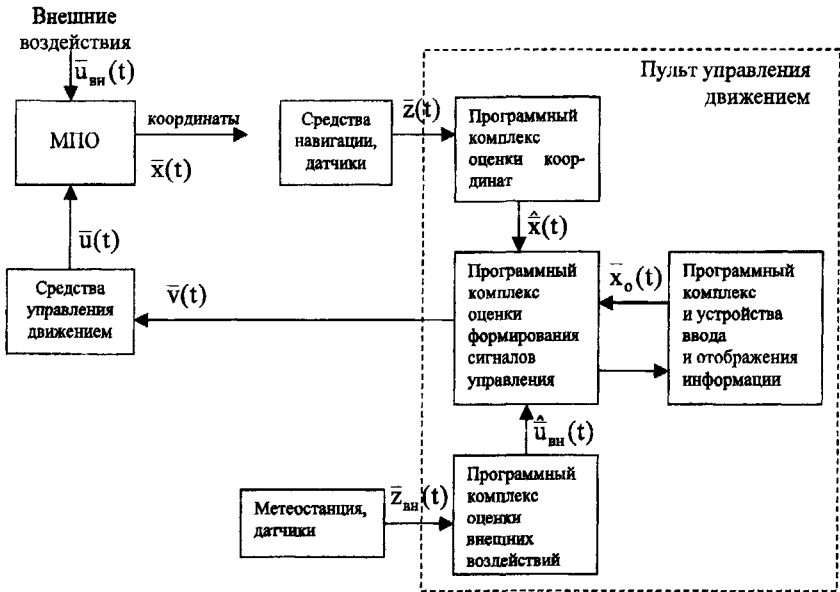


Рис. 9. Структура системы управления движением морского подвижного объекта

Представленные алгоритмы моделирования случайных последовательностей с заданными спектральными характеристиками и процессов оптимального и квазиоптимального стохастического управления позволяют осуществить разработку и исследование динамических характеристик сложных систем автоматического управления движением.

Основной задачей САУД является выработка вектора $\bar{v}(t)$ сигналов управления и соответствующего упора $\bar{u}(t)$, создаваемого средствами управления движением морского подвижного объекта. Сигналы управления вычисляются с учетом обработки данных $z(t)$ различных технических средств, использующихся для решения конкретной задачи управления движением по заданному вектору состояний $\bar{x}_0(t)$. При этом компенсация внешних аэро- и гидродинамических воздействий $\bar{u}_{вн}(t)$ осуществляется на основе оценки $\hat{u}_{вн}(t)$ их величин по данным $\bar{z}_{вн}(t)$ метеостанции и разнообразных датчиков. На рис. 9 приведена общая структура САУД лобых морских подвижных объектов.

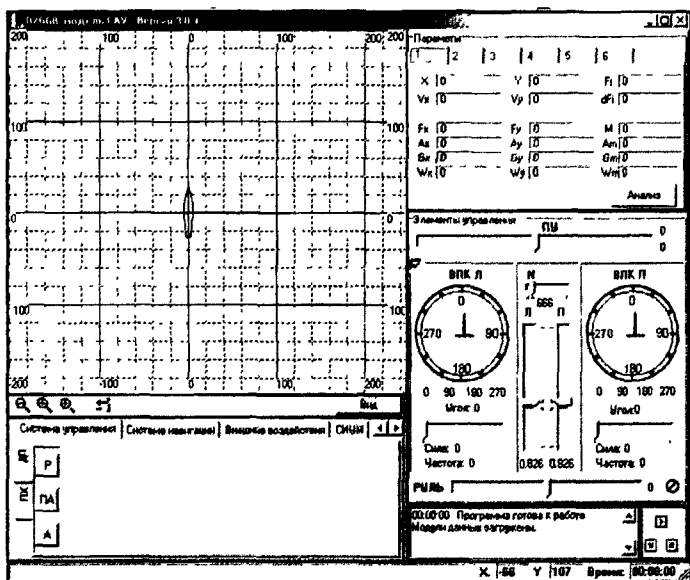


Рис. 10. Интерфейс программного комплекса моделирования САУД

Для моделирования системы управления движением был создан программный комплекс (интерфейс программы представлен на рис. 10), в котором производится расчет трех каналов управления (координат x , y и угла φ), пригодный для использования при создании САУД корабля в различных режимах (динамическое позиционирование, стабилизация курса, стабилизация путевого угла, стабилизация скорости, стабилизация линии заданного пути, управление движением от джойстика). Комплекс решает ряд задач:

- получение и обработка навигационных данных,
- выработка сигналов управления,
- распределение их по средствам активного управления движением,
- автоматическое управление движением корабля в различных режимах.

Особенностью архитектуры программного комплекса САУД реального объекта управления является то, что управляющие сигналы вычисляются с использованием модуля, осуществляющего полный расчет модели объекта управления, включая модели внешних воздействий, модели органов активного управления и модели движения самого объекта управления. Этот модуль использует обработанные данные навигационных средств, метеорологического оборудования и датчиков параметров органов управления. Выходные сигналы программного комплекса САУД по протоколам сопряжения преобразуются в силовые сигналы и поступают на реальные средства активного управления движением.

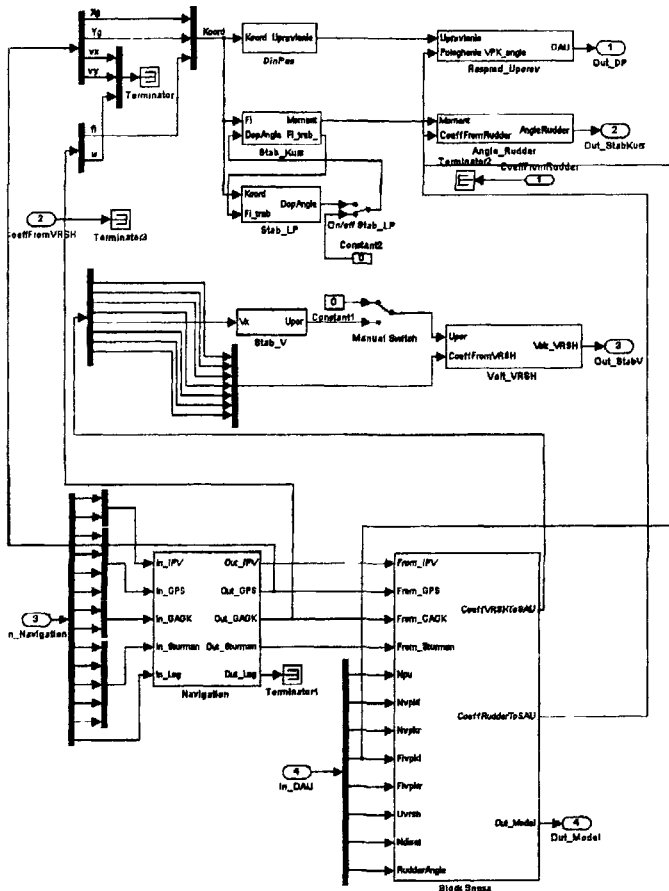


Рис. 11. Программа моделирования САУД в системе MATLAB

В пакете Simulink системы MATLAB была разработана библиотека программ, позволяющая проводить исследования характеристик модели системы управления движением при различных параметрах управления и в различных ре-

жихах управления, которая содержит блок имитации движения объекта управления, блок имитации органов активного управления движением, блок имитации внешних воздействий, блок имитации навигационных средств, блок САУД (рис. 11), а также блок распределения упоров.

Особенностью моделирования процессов управления в пакете Simulink системы MATLAB, основанного на построении системы из стандартных библиотечных блоков, является возможность использования подпрограмм, написанных на внутреннем языке MATLAB. При этом достигается простота реализации сложных вычислений, использующих циклы или многоступенчатые условия.

В заключении формулируются основные результаты исследований в соответствии с поставленными задачами диссертационной работы.

1. Предложены и исследованы алгоритмы моделирования случайных ветроволновых воздействий, позволяющие получать реализации случайных процессов с заданными спектральными характеристиками трех основных классов при заданной погрешности аппроксимации.

2. Предложен алгоритм обнаружения скачков внешних воздействий, входящий в состав САУД, позволяющий уменьшить вероятность срыва работы САУД и снизить за счет раннего обнаружения пиквала и принятия мер по выработке противодействующих упоров среднеквадратическую погрешность ошибки слежения на 20 – 30%.

3. Предложен адаптивный алгоритм двухуровневого управления, при котором параметры системы управления меняются в зависимости от величины рассогласования координаты и бальности волнения, обеспечивающий адаптацию САУД к внешним воздействиям и снижающий среднеквадратическую погрешность ошибки слежения на 15 – 20%.

4. Разработан программный комплекс «Система управления движением корабля», который был положен в основу программного обеспечения интегральной мостиковой системы малого корабля специального назначения, и обеспечивает функционирование в реальном масштабе времени.

6. В системе MATLAB разработана библиотека программ моделирования алгоритмов управления движением объектов, позволяющая исследовать характеристики САУД при различных параметрах управления и в различных режимах управления, пригодная для проведения лабораторного практикума.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях

1. **Васильев К. К., Васильев А. Н.** Математическая модель движения корабля// «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем»: Тез. докл. 3-й Всероссийской научно-практической конференции – Ульяновск: УлГТУ, 3-4 декабря 2001.– С. 98-100.

2. **Васильев А. Н.** Цифровые алгоритмы оптимального управления движением корабля// Вестник УлГТУ, №4, 2001.– С. 16-22.

3. **Цветов М. А., Васильев А. Н.** Анализ моделей движения и методов определения координат корабля// Вестник УлГТУ, №1-2, 2003.– С. 59-63.

4. **Васильев А. Н., Аникина Ю. А.** Моделирование процессов стохастического управления движением корабля// Автоматика-2003: Материалы 10-й Международной конференции по автоматическому управлению, г. Севастополь, 15-19 сентября 2003 г.: в 3-х т.– Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003.– Т. 2.– С. 125-127.

5. **Васильев А. Н.** Численная параметрическая оптимизация САУ с ПИД-регулятором// «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем»: Труды Четвертой Всероссийской научно-практической конференции (с участием стран СНГ) – Ульяновск: УлГТУ, 2004. С. 58-61.

6. **Васильев А. Н.** Алгоритмы распределения упоров по органам активного управления движением корабля// Вестник УлГТУ, №4, 2004. С. 49-51.

7. **Крашенинников В. Р., Васильев А. Н., Аникин А. А.** Имитатор динамической волновой поверхности// Труды РНТО РЭС им. А. С. Попова. Научная сессия, посвященная Дню радио. 17-19 мая 2005 г. Выпуск LX-2. С. 265 – 268.

Подписано в печать 23.11.2005.
Формат 60x84/16. Бумага писчая.
Усл. печ. л. 1,17. Уч.-изд. л. 1,00.
Тираж 100 экз. Заказ 1191

Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

№ 23433

РНБ Русский фонд

2006-4

25854