

Моделирование систем автоматического управления с интервальной неопределенностью параметров (новые версии и возможности комплекса программ “АСИАС”)

Н.А. Хлебалин, Д.С. Пятых*

1. Теоретические основы комплекса программ “АСИАС” (анализ и синтез интервальных автоматических систем)

Как правило, проектировщик АС имеет дело с математическими моделями (ММ) в виде систем дифференциальных уравнений (ДУ) или структурных схем с передаточными функциями (ПФ), причем коэффициенты ДУ и ПФ являются вектор-функциями некоторых параметров (объекта и регулятора). Так как коэффициенты ММ являются функциями от параметров, то такие ММ называют *параметрическим*. При этом обычно не делается дополнительных пояснений – в каких областях изменяются физические параметры (каким множествам они принадлежат). В комплексе программ (КП) “АСИАС” рассматриваются автоматические системы с интервальной неопределенностью параметров (АСИНП), у которых начальные условия и возмущения считаются точно известными, а значения *параметров* (коэффициентов математической модели АС) могут быть любыми в пределах заданных *интервалов*.

Частью АС является объект. Объекты могут быть двух видов: чисто-интервальные и функционально-интервальные. *Чисто-интервальным* называется объект, в описание которого коэффициенты, значения которых могут изменяться независимо друг от друга в пределах некоторых интервалов, входят один раз и в первой степени. *Функционально-интервальным* называется объект, коэффициенты которого являются функциями от некоторых интервально неопределенных величин.

Основа интервальной формы учета неопределенностей – интервальная математика [1]. В теории АС интервальная математика применяется примерно с 1980 г. [2]. Одной из основных задач интервального анализа является задача об оценке интервала области значений функции. Если рассмотреть некоторую интервальнозначную функцию (ИЗФ) $f(\omega, [\nu_i])$ (ν_i – параметр, изменяющийся в интервале $[\nu_i]$), у которой ω – независимая переменная, принимающая вещественные значения, то при возможных значениях параметров в зависимости от ω мы будем иметь график изменения интервала значений этой функции. Следовательно, ИЗФ представима двумя граничными функциями – мажорантой и минорантой. Если независимая переменная является комплексной величиной (в частности, чисто мнимой $j\omega$), то значения функции будут комплексным

*Электростальский политехнический институт (филиал Московского государственного института стали и сплавов). E-mail: khleb@kodos.ru.

интервалом. Они могут быть представлены в виде прямоугольных или круговых комплексных интервалов. Задача состоит в том, чтобы предложить аналитические подходы и эффективные компьютерные алгоритмы для построения мажорант и минорант. В КП “АСИАС” применяется комбинация трех групп методов: методов математического анализа (задача о наибольшем и наименьшем значении функции), методов интервального анализа, и метода угловых элементов. Фактически, это оригинальный алгоритм решения в символьном виде задачи о наибольшем и наименьшем значении функции.

2. Версии комплекса программ “АСИАС”

Комплекс программ “АСИАС” начал разрабатываться в 1980 г. в Саратовском политехническом институте на кафедре “Автоматика и телемеханика” первым автором данного доклада (таблица).

Назначение комплекса программ АСИАС – анализ устойчивости и качества автоматических систем, а также синтез регуляторов автоматических систем с интервальной неопределенностью параметров (рис. 1).

Как у нас в стране, так и за рубежом теория автоматического управления стала ареной интенсивных исследований систем с интервальными неопределенностями в параметрах. Деятельность и математиков и “управленцев” развивалась на фоне бурного развития вычислительной техники, языков программирования и крупных программных систем вообще. Появлялись многочисленные пакеты “интервальной” арифметики и разнообразное “интервальное” программное обеспечение. В данном докладе упомянуты новые разработки (известные авторам доклада) и основное внимание акцентировано на пакетах, относящихся к интервально заданным системам автоматического управления. Разумеется, представляемая информация не претендует на исчерпывающую полноту.

Одним из первых пакет программ для решения задач расчета интервальных АС был разработан М. А. Цацкиным. Наиболее известные пакеты для идентификации систем разработаны Ю. А. Меркурьевым (Рига, 1982 – для статистики АС), А. П. Воцининым, Г. Р. Сотировым и др. (INA, Москва, 1989 – статические модели), А. Ф. Бочковым и Нгуен Вьет Зунгом (INTIDE, Москва, 1992 – для статических объектов, линейных динамических объектов, нелинейных динамических объектов в виде модели Гаммерштейна и модели Винера). Программа INTIDE, в частности, была написана на языке программирования Си для персональных компьютеров, работает под управлением операционной системы MS DOS, имеет две версии (на русском и английском языках), поддерживается системой меню-окон, графики и подсказок.

Для синтеза регуляторов интервально заданных АС известны пакеты программ, созданных И. В. Дугаровой, Е. М. Смагиной (INT, Томск, 1988 – для расчета П- и ПИ-регуляторов, в том числе для многосвязных систем), А. Н. Моисеевым, С. В. Алексеевым (INTERVAL, Анжеро-Судженск, 1997 – для синтеза модального регулятора, решения задачи асимптотического слежения за командным сигналом и моделирования трубки движения).

Для анализа АСИИП разработаны комплексы программных средств Ф. М. Ахметжановым (Уфа, 1996 – по интервальным полиномам и по “труб-

Версии КП “АСИАС”

Версия/год	Место разработки	Тип ЭВМ	Программное обеспечение	Кол-во программ/ Макс. размерн. задач	Разработчики
АСИАС_{ЕС} 1980–1989	г. Саратов, Саратовский политехнический институт (СПИ), кафедра АТМ	ЕС ЭВМ	FORTRAN-IV/ ОСЕС	12/12	<i>Вед. программист:</i> доц. Хлебалин Н.А. <i>Программисты:</i> студенты кафедры “Автоматика и телемеханика” (АТМ) СПИ
АСИАС_{РС} 1990–1999	г. Электросталь, Эл-ст. филиал МИСиС (ЭФ МИСиС), кафедра АТПП	IBM PC/AT- 286...486, Pentium I	FORTRAN-V/ MS DOS (Windows 9x)	17 + xreclam/3 или 10	<i>Вед. программист:</i> асп. Лазарев А.В. <i>Программисты:</i> студенты кафедры “Автоматизация технологических процессов и произ- водств” (АТПП) ЭФ МИСиС
АСИАС_{ЕН} 1990–1994	АНГЛОЯЗЫЧНАЯ ВЕРСИЯ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ АСИАС _{РС}				
АСИАС₉₈ 1997–1998	ВЕРСИЯ ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА			12/3	<i>Вед. программист:</i> доц. Хлебалин Н.А. <i>Программисты:</i> Те же, что и для АСИАС _{РС}
АСИАС_М 1998 – по н.в.	г. Электросталь, ЭПИ МИСиС, кафедра АТПП	Pentium I и выше	MATLAB/ Windows 95, 98, 2000	6 / не ограничен	<i>Вед. программисты:</i> ст. ДАМ-97 Вахитов О.А., ст. ДАМ-99 Пятых Д.С. <i>Программисты:</i> Внуков, Голев, Смельцов, Михайлова, Селиверстов, Кузовахо
АСИАС_Д 2002 – по н.в.	г. Электросталь, ЭПИ МИСиС, кафедра АТПП	Pentium II и выше	Delphi/ Windows 98, 2000	3 + xreclam _Д / 2, 5, не ограничен	<i>Вед. программист:</i> ст. ВАМ-97 Голев В.В. <i>Программисты:</i> Владимирова, Пятых

кам” частотных характеристик), Н. А. Целигоровым (Ростов-на-Дону, 1999 – робастная абсолютная устойчивость для нелинейных импульсных АС с интервальной неопределенностью, интерактивный выбор параметров управляющего устройства).

Помимо этого стоит упомянуть *комплексы интервально-математических программ*, созданные А. П. Вошининым, Г. Р. Сотировым и др. (SOLI, Москва, 1989 – позволяет решать задачи линейного программирования с интервально заданной целевой функцией), А. Б. Бабичевым, О. Б. Кадыровой, Т. П. Кашеваровой, А. Л. Семеновым (UniCalk, Новосибирск, 1991 – для решения произвольных систем алгебраических и алгебро-дифференциальных соотношений), а также отдельные известные программы В. М. Нестерова (Санкт-Петербург) и С. П. Шарого (Новосибирск).

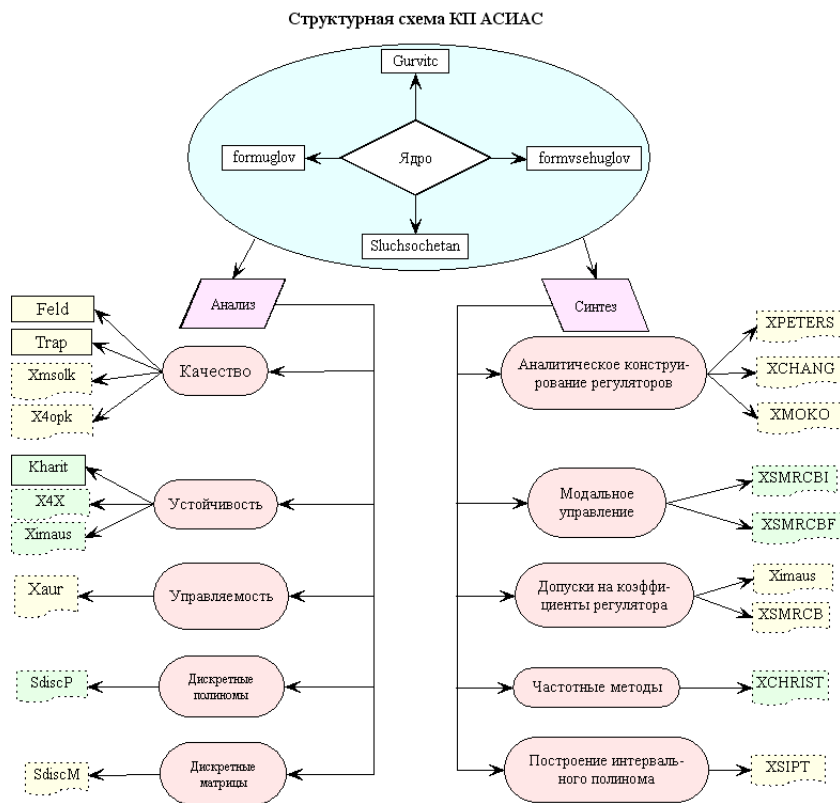


Рис. 1. Структурная схема КП АСИАС

Перейдем теперь к более подробному описанию нашего комплекса программ “АСИАС”.

На жестком диске “фортрановская” версия комплекса программ “АСИАС” хранится в одноименной папке (рис. 2).

Внутри нее находятся следующие папки (рис. 3).

Каждая из папок Asias_98, BasProg, Xtrap98, АСИАС_exe, АСИАС_архивы, АСИАС_тексты занимает около 1,4 Мб и, таким образом, может храниться на дискете. Названия папок дают представление о том, что в них находится. Для пояснения приложен файл read_me.txt. В папке BasProg находятся основные программы, отвечающие за “интервальные” вычисления, в частности – в папке XOLL.

Программы комплекса программ “АСИАС” хранятся в виде исполняемых файлов (расширение .exe) и допускают ввод данных либо с экрана, либо из файла. Каждая программа снабжена контрольным примером. Имя файла контрольного примера совпадает с именем программы и имеет расширение dat. После окончания работы программа выводит результаты в файл со своим именем и расширением rzl. Описания программ и контрольных примеров хранятся в файлах с именами, имеющими расширение chi.

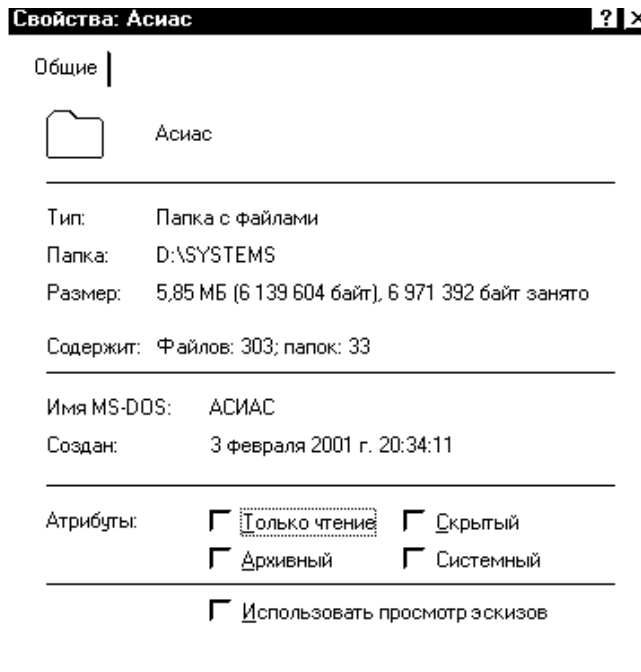


Рис. 2. Общие свойства папки “АСИАС”

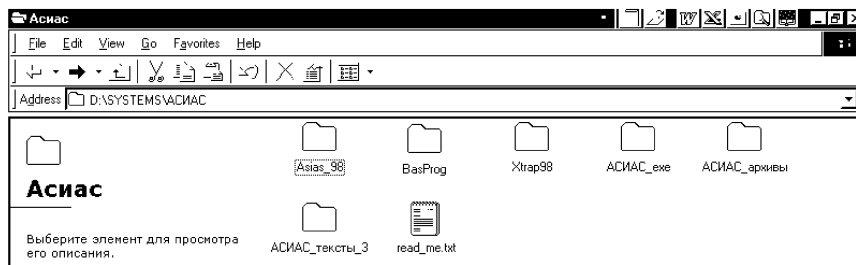


Рис. 3. Структура папки “АСИАС”

ВЫБЕРИТЕ УСТРОЙСТВО ВВОДА ДАННЫХ

0 - ЭКРАН.

1 - ФАЯП

ВВЕДИТЕ: 0

ВВЕДИТЕ РАЗМЕР МАТРИЦЫ A _1

РАЗМЕР МАТРИЦЫ A 1

ВВЕДИТЕ НИЖНИЕ ГРАНИЦЫ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ A ПО СТРОКАМ
-1ВВЕДИТЕ ВЕРХНИЕ ГРАНИЦЫ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ A ПО СТРОКАМ
-2

НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ИНТЕРВАЛА БОЛЬШЕ ВЕРХНЕЙ !

-

Рис. 4. Защита от неправильно вводимых границ интервалов

Программы снабжены различными видами защит. Пример работы защиты от неправильно вводимых данных (программа ХМОКО1) показан на рис. 4.

В учебной версии комплекса программ “АСИАС” размеры решаемых задач ограничены третьим порядком, число управлений не может быть больше двух (исключением является программа ХИМАУS1, размер решаемых задач в которой равен пяти).

Новыми версиями КП АСИАС являются Delphi-версия АСИАС_D и MATLAB-версия АСИАС_M.

3. Новые возможности комплекса программ “АСИАС”

Решаемые комплексом “АСИАС” задачи относятся к робастному управлению автоматическими системами с интервальной неопределенностью параметров (АСИНП).

Задача *синтеза* состоит в проверке условий существования регулятора с постоянными (но, возможно, неопределенными, лежащими в некоторых допусках) коэффициентами по области параметрической неопределенности объекта и желаемой цели управления и в вычислении коэффициентов регулятора (если это возможно). Целью управления считается придание замкнутой системе устойчивости, а процессам, в ней протекающим, некоторых качественных показателей, определенных в виде функционалов или ограничений различного вида.

Синтез регуляторов для АСИНП проводится интервальным вариантом метода модального управления [3]. Используется способ включения интервального характеристического полинома замкнутой системы (ИХПЗС) в желаемый ИХПЗС. Достоинства и недостатки этого способа после десятилетнего опыта применения были изложены в [4]. Этот способ реализован в виде программы XSMRCB1. Для работы этой программы необходим желаемый ИХПЗС. Его синтез по желаемой области расположения корней в виде трапеции, расположенной в левой комплексной полуплоскости проводится программой XSIPT1. Соответствующая теория и алгоритм опубликованы в [5].

Под *анализом* АСИНП понимается получение оценок основных свойств АС при неопределенности параметров объекта и коэффициентов регулятора. Решение задачи анализа обычно преследует цель улучшения свойств системы, что предполагает изучение объекта для установления корректности требований к его функционированию.

Одним из этапов анализа АСИНП является определение ее управляемости. Следующим этапом анализа АСИНП является определение ее устойчивости. Если модель АСИНП задана в виде передаточной функции, то устойчивость оценивается по функционально-интервальному полиному ее знаменателя. Если модель АСИНП задана дифференциальными уравнениями, то используются критерии устойчивости функционально-интервальных матриц.

Качество АСИНП можно оценивать по корневым, частотным и временным характеристикам. КП “АСИАС” позволяет строить одно- и многосвязные области локализации нулей и полюсов АСИНП, различные виды ЧХ. Однако наиболее привлекательной является такая его возможность, как построение трубок траекторий во временной области. Для построения трубок используется

мажорантно-минорантная аппроксимация различной степени точности всего множества решений дифференциального уравнения или переменных состояния.

Система MATLAB – один из самых мощных и эффективных инструментов для создания разнообразных программных комплексов, предназначенных для решения научно-технических задач. Благодаря текстовому формату m-файлов пользователь может ввести в систему любую новую команду, оператор или функцию и затем пользоваться ими также просто, как и встроенными операторами или функциями. Благодаря именно этой особенности, а также встроенным в систему MATLAB средствам аналитических вычислений и элементам интервальных вычислений, стало возможным перевести написанные на языке Фортран программы комплекса программ “АСИАС” в систему MATLAB, создав m-файлы с текстами аналогичных программ.

Рассмотрим, для примера, как это было реализовано для программы построения уточненной области локализации корней интервального полинома (Xvicin).

Программа “Построение многоугольной области локализации корней устойчивого интервального полинома” имеет имя Xvicin. Программа функционирует в системе MATLAB версии 5.2 и выше.

Программа написана на встроенном в MATLAB m-языке.

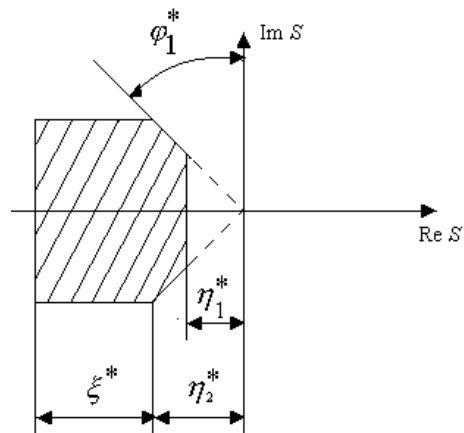


Рис. 5. Многоугольная область локализации корней интервального полинома

Программой решается задача построения многоугольной области локализации устойчивого интервального полинома.

Эта задача является частным случаем задачи об относительной устойчивости. Автоматическая система считается относительно устойчивой, если все корни ее характеристические полиномы локализованы в заданной области Λ комплексной плоскости.

Для того чтобы построить область локализации корней нужно построить все его угловые полиномы, найти корни, а затем “вокруг” этих корней построить область.

Такая область строится в данной программе по следующему алгоритму:

1. Проверка правильности введенных данных (нижние границы меньше верхних).
2. Формирование коэффициентов полиномов Харитонова.
3. Проверка устойчивости полиномов по критерию устойчивости Гурвица.
4. Если полином устойчив, то переход к п. 5, иначе сообщение о неустойчивости полинома и конец работы программы.
5. Формирование коэффициентов угловых полиномов.

6. Вычисление корней угловых полиномов и определение из их параметров области расположения корней.
7. Вывод графика области расположения корней и вывод параметров области.

Блок-схема программы представлена на рис. 6.

Входными параметрами являются:

- степень интервального полинома – n ,
- нижние границы коэффициентов интервального полинома – Gn ,
- ввод осуществляется со старшей степени,
- верхние границы коэффициентов интервального полинома – Gv ,
- ввод осуществляется со старшей степени.

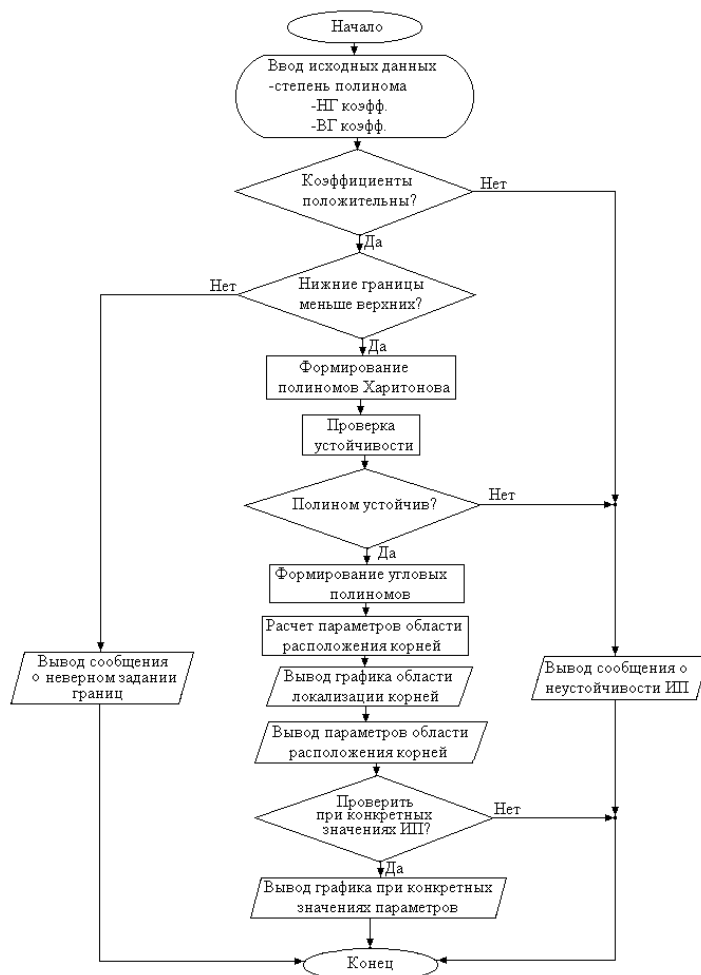


Рис. 6. Блок-схема программы Xvcisn

Данные вводятся в ответ на соответствующие запросы программы.

Число n – целое, значения коэффициентов Gn , Gv записываются в квадратных скобках и через пробел.

Выходными данными являются параметры области расположения корней:

f_i – угол сектора Φ_i ,

tet – степень устойчивости Тета,

ksi – расстояние до максимально удаленного корня Ksi ,

Ym – максимальная мнимая часть корней угловых полиномов.

Другими новыми возможностями КП “АСИАС” являются: анализ дискретных автоматических систем, коэффициентные методы анализа и синтеза АСИМП, частотные методы исследования функционально-интервальных АСИМП.

Список литературы

- [1] Шокин Ю.И. Интервальный анализ. – Новосибирск: Наука, 1981. – 112 с.
- [2] Хлебалин Н.А. Анализ асимптотической устойчивости линейных систем управления в условиях неопределенности параметров объекта / Саратовский политехн. ин-т. – Саратов, 1980. – Деп. в ЦНИИТЭИприборостроения 23.07.80, № 1370. – 9 с.
- [3] Хлебалин Н.А. Аналитический метод синтеза регуляторов в условиях неопределенности параметров объекта // Аналитические методы синтеза регуляторов: Межвуз. научн. сб. / Саратовский политехн. ин-т. – Саратов, 1981. – С. 107–123.
- [4] Хлебалин Н.А., Шокин Ю.И. Интервальный вариант метода модального управления // ДАН СССР. – 1991. – Т. 316, № 4. – С. 846–850.
- [5] Хлебалин Н.А. Построение интервальных полиномов с заданной областью расположения корней // Аналитические методы синтеза регуляторов: Межвуз. научн. сб. / Саратовский политехн. ин-т. – Саратов, 1982. – С. 92–98.