СОДЕРЖАНИЕ

1. Анализ объекта управления

1.1 Анализ линейного стационарного объекта управления, заданного передаточной функцией

1.2 Получение математической модели в пространстве состояний линейного стационарного объекта управления, заданного передаточной функцией

1.2.1 Матрица Фробениуса

1.2.2 Метод параллельной декомпозиции

2. Решение задачи быстродействия симплекс-методом

3. Оптимальная l – проблема моментов

3.1 Оптимальная l – проблема моментов в пространстве «вход-выход»

3.2 Оптимальная l – проблема моментов в пространстве состояний

4. Нахождение оптимального управления с использованием грамиана управляемости (критерий – минимизация энергии)

5. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов (акор)

5.1 Стабилизации объекта управления на полубесконечном интервале времени

5.1.1 Решение алгебраического уравнения Риккати методом диагонализации

5.1.2 Решение алгебраического уравнения Риккати интегрированием в обратном времени до установившегося состояния

5.2 Стабилизации объекта управления на конечном интервале времени

5.3 Задача акор – стабилизации для компенсации известного возмущающего воздействия.

5.4 Задача акор для отслеживания известного задающего воздействия. i подход

5.5 Задача акор для отслеживания известного задающего воздействия. ii подход (линейный сервомеханизм)

5.6 Задача акор – слежения со скользящими интервалами.

6. Синтез наблюдателя полного порядка

Литература

Приложение

PlotTimeFrHaract.m

ProstranstvoSostoyanii.m

SimplexMetod2.m

Optimal\_L\_problem\_moments.m

Gramian\_Uprav.m

AKOR\_stabilizaciya\_na\_polybeskon\_interval.m

AKOR\_stabilizaciya\_na\_konech\_interval.m

Sravnenie\_stabilizacii.m

AKOR\_stabilizaciya\_pri\_vozmusheniyah.m

AKOR\_slegenie\_na\_konech\_interval\_I\_podxod.m

AKOR\_slegenie\_na\_konech\_interval\_II\_podxod.m

AKOR\_slegenie\_so\_skolz\_intervalami\_Modern.m

Sintez\_nablyud\_polnogo\_poryadka.m

Solve\_Riccati\_Method\_Diag.m

Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr.m

Vozmyshyayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers.m

Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers\_Modern.m

1. **Анализ объекта управления**

## Анализ линейного стационарного объекта управления, заданного передаточной функцией

Передаточная функция данного объекта имеет вид:

,



где:

, ;



, , , , , .



или

.



Нули передаточной функции:



Полюса передаточной функции (полученные стандартными функциями среды Matlab 7.4):



**Рис.1.** График расположения нулей и полюсов передаточной функции объекта на комплексной плоскости.

*Найдем временные характеристики объекта управления.*

К временным характеристикам относятся и *.*



– переходная характеристика;



– импульсная переходная функция;



Для нахождения и воспользуемся пакетом Matlab 7.4.



,



Аналитическое выражение для :



В этом случае имеет вид



**Рис.2.** График переходной характеристики .



**Рис.3.** График переходной характеристики на интервале (увеличенное).



,



Аналитическое выражение для :



.



В этом случае имеет вид



**Рис.4.** График импульсной переходной характеристики .



**Рис.5.** График импульсной переходной характеристики на интервале (увеличенное).



*Найдем частотные характеристики объекта управления.*

К частотным характеристикам относятся:

амплитудно – частотная характеристика (АЧХ),

фазо – частотная характеристика (ФЧХ),

амплитудно – фазовая частотная характеристика (АФЧХ),

Аналитическое выражение для АЧХ:

.



В этом случае АЧХимеет вид



**Рис.6.** График АЧХ



**Рис.7.** График АЧХ на интервале (увеличенное). Аналитическое выражение для ФЧХ:



В этом случае ФЧХимеет вид



**Рис.8.** График ФЧХ .



**Рис.9.** График ФЧХ на интервале (увеличенное).



**Рис.10.** График АФЧХ.



**Рис.11.** График АФЧХ (увеличенное).

Аналитическое выражение для ЛАЧХ:

.



В этом случае ЛАЧХ имеет вид



**Рис.12.** График ЛАЧХ.

Аналитическое выражение для ЛФЧХ:



В этом случае ЛФЧХ имеет вид



**Рис.13.** График ЛФЧХ.

## 1.2 Получение математической модели в пространстве состояний линейного стационарного объекта управления, заданного передаточной функцией

Передаточная функция данного объекта имеет вид:

,



где:

, ;



, , , , , .



или



Описание системы в пространстве состояний имеет следующий вид:



Переходя в область изображений описание системы в пространстве состояний будет иметь следующий вид:



### 

### *1.2.1 Матрица Фробениуса*

Получим выражения, которые определяют вектор состояний и выход заданного объекта в общем виде:

**.**



**.**



Тогда получим:

(1)



(2)



Числитель передаточной функции имеет вид: .



Знаменатель передаточной функции:

.



Тогда согласно равенству (1) и (2) имеем

,



.



Перейдем из области изображений в область оригиналов

,



и затем перейдем к нормальной форме Коши



.



Запишем матрицы состояний

, ,



Численное значение матриц состояний:

, ,



### *1.2.2 Метод параллельной декомпозиции*

Запишем передаточную функцию объекта в другом виде, а именно:



или

.



Согласно формуле получим



Рассмотрим каждое из слагаемых в отдельности согласно принципу параллельной декомпозиции.

* 1. ,



.



* 1. ,



.



* 1. ,



,



,



* 1. ,



Получим выход системы:



Запишем матрицы состояний

, ,



Вычисление коэффициентов разложения дробной рациональной функции на сумму элементарных дробей и проверка правильности получения матриц состояния сделано с помощью пакета Matlab 7.4 (скрипт ProstranstvoSostoyanii.m)



Получены следующие результаты:Матрица СЛАУ:

, ,



,



Численное значение матриц состояний:

, ,



.



**2. Решение задачи быстродействия симплекс-методом**

Дана система:

(3)



***1. Проверим управляемость данной системы.***

Запишем систему ДУ в матричном виде:

,



где .



Данная система является стационарной, её порядок , поэтому матрица управляемости имеет вид:



Найдем матрицу управляемости:



Ранг матрицы управляемости равен порядку системы, следовательно, данная система является управляемой.

следовательно .



Собственные числа матрицы найдем из уравнения :



Действительные части собственных значений матрицы являются неположительными, следовательно, все условия управляемости выполнены.



***2. Ссылаясь на решение задачи быстродействия из ДЗ№2 по СУЛА «Решение задачи быстродействия» имеем:***

Запишем зависимости , , полученные при решении систем дифференциальных уравнений:



:



:



:



:



Перейдем к дискретной модели заданной системы. Имеем

(4)



где шаг дискретизации и соответствующие матрицы



(5)



Пусть управление ограничено интервальным ограничением

(6)



Тогда на шаге имеем



(7)



Известны начальная и конечная точки



где – оптимальное число шагов в задаче быстродействия.



Решается задача быстродействия



**а) Формирование задачи быстродействия как задачи линейного программирования**

Конечная точка в дискретной модели представлена в виде



(8)



Получаем – равенств



(9)



Для приведения ограничений (9) к *канонической форме* сделаем необходимое преобразование в правой и левой частях, чтобы правые части были неотрицательными (если правая часть меньше нуля, то домножаем на (-1) левую и правую части). Отметим проведенные измененияточкой в правом верхнем углу соответствующих векторов

. (10)



Для того чтобы получить необходимый допустимый базис для задачи линейного программирования, добавим формально остаточные искусственные переменные (). Таким образом, уравнения (10) представляются в виде



(11)



Так как текущее управление – управление имеет любой знак, то сделаем необходимую замену



Тогда уравнения (11) примут вид

(12)



Введем остаточные переменные в ограничения на управление



(13)



При объединении выражений (12) и (13) получаем ограничений.



Начальный допустимый базис состоит из остаточных и остаточных искусственных переменных



Формируем целевую функцию (по второму методу выбора начального допустимого базиса)

(14)



**б) Решение задачи быстродействия**

Предположим, что , где – оптимальное число шагов. Так как значение нам неизвестно (но известно точно), выбираем некоторое начальное и решаем задачу линейного программирования (12)-(14).



При этом

Общее число столбцов в симплекс-таблице:



Число базисных переменных:



Сформируем строку. Имеем



Выразим из уравнения (12) начальные базисные переменные



и подставим в целевую функцию. Получим – строку



(15)



Решаем задачу (12) – (14) симплекс-методом.

В случае,

**если** , – малое число



**иначе**

1) если **увеличить** и целое,рвернуться к первому шагу формирования задачи линейного программирования;



2) если (не все управления будут равны предельным, могут быть, в том числе нулевые)), , **уменьшить** , вернуться к первому шагу формирования задачи линейного программирования.



Решения данной задачи получено с помощью пакета Matlab 7.4 (скрипт SimplexMetod2.m):



**Рис. 14**. График фазовой координаты .



**Рис. 15**. График фазовой координаты .



**Рис. 16**. График .



**Рис. 17**. График оптимального управления .



**Выводы:** *Сравнивая полученные результаты с результатами полученными в ДЗ№2 по СУЛА, можно сделать вывод, что решения совпадают, с точностью до .*



# 3. Оптимальная L – проблема моментов

## 

## 3.1 Оптимальная L – проблема моментов в пространстве «вход-выход»

Укороченная система данного объекта имеет вид:

,



где:

;



;



;



;



;



.



Полюса укороченной передаточной функции:

;



;



;



;



.



Заданы начальные и конечные условия:

, , .



Для определения начальных и конечных условий для воспользуемся следующей формулой:



,



Где матрица имеет следующий вид



,



где , .



ИПФ укороченной системы:



Составим фундаментальную систему решений:

ФСР: .



Составим матрицу .



, где  *–* матрица Вронского



,



Тогда

.



Составим моментные уравнения (связь между входом и выходом):



Моментные функции определяются по следующей формуле



Составим моментные функции:



Найдем моменты по следующей формуле:

.



Числовое значение найденных моментов:



Составим функционал качества, который имеет следующий вид:



при условии, что :, т.е.



Выразим из данного условия , тогда получим следующее равенство:



.



Подставляя полученное равенство в функционал и заменяя их правыми частями получаем



Найдем частные производные и приравняем их к нулю. Решая полученную систему уравнений, определяем оптимальные значения коэффициентов , а вычислим по формуле



.



Т.о. имеем:



Минимальная энергия:



Найдем управление по следующей формуле:



Тогда оптимальное управление

.



## 3.2 Оптимальная L – проблема моментов в пространстве состояний

Система задана в виде:



Решение ДУ имеет вид:

, при имеем:



.



Составим моментные уравнения:



Подставляя необходимые данные в выше приведенные формулы, получим следующие моменты и моментные функции:

Числовое значение найденных моментов:



Моментные функции:



*Заметим, что моменты и моментные функции совпадают с моментами и моментными функциями, найденными в пункте (а).*

*Из этого следует, что функционал, значения , управление и минимальная энергия будут иметь точно такие же числовые значения и аналитические выражения, как и в пункте (3.1).*



Оптимальное управление имеет вид:



Проверим правильность полученного решения.

Эталонные значения координат в начальный и конечный момент времени:

,



,



Найденные значения координат в начальный и конечный момент времени:

,



,



Вычислим погрешность полученных результатов:

,



,



Ниже представлены графики полученного решения с помощью скрипта Optimal\_L\_problem\_moments.m.



**Рис. 18.** Графики фазовых координат системы при переходе из в *.*



**Рис. 19.** Графики выходных координат системы при переходе из в *.*



**Рис.20.** График оптимального управления .



**Выводы:** *Задача перевода системы из начальной точки в конечную с помощью L-проблемы моментов в пространстве состояний и в пространстве вход-выход была решена с точностью до 12-го знака после запятой. Результаты, полученные при переводе системы из начальной точки в конечную, полностью совпадают.*

# 4. Нахождение оптимального управления с использованием грамиана управляемости (критерий – минимизация энергии)

Система имеет вид:



с начальными условиями:

,



.



Составим матрицу управляемости и проверим управляемость системы:



.



Составим грамиан управляемости для данной системы:



Найдем грамиан по формуле:



Тогда управление имеет вид:

.



или



Ниже представлен график оптимального управления полученного с помощью скрипта Gramian\_Uprav.m.:



**Рис.21.** График оптимального управления .



*Графики фазовых координат аналогичны, как и в оптимальной L – проблеме моментов.*

Сравним управление, полученное в начальной и конечной точках в пунктах 3 и 4 соответственно:

и



**Выводы:** *Как видно, значения граничных управлений совпадают. А это значит, что задача перевода объекта из начального состояния в конечное решена с высокой степенью точности и с минимальной энергией.*

*Графическое сравнение оптимальных управлений из пунктов 3 и 4:*



**Рис.21.** Сравнение графиков оптимального управления .



# 

# 5. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов (АКОР)

## 5.1 Стабилизации объекта управления на полубесконечном интервале времени

Рассмотрим линейный объект управления, описываемый системой дифференциальных уравнений в нормальной форме



Необходимо получить закон управления



минимизирующий функционал вида



Начальные условия для заданной системы



Моменты времени фиксированы. Матрицы — симметричные неотрицательно определенные:



матрица — положительно определенная:



Матричное дифференциальное уравнение Риккати имеет вид:



Если линейная *стационарная* система является *полностью управляемой и наблюдаемой*, то решение уравнения Риккати при стремится к установившемуся решению не зависящему от и определяется следующим алгебраическим уравнением:



В рассматриваемом случае весовые матрицы и в функционале не зависят от времени.



Оптимальное значение функционала равно



и является квадратичной функцией от начальных значений отклонения вектора состояния.

Таким образом, получаем, что при оптимальное управление приобретает форму *стационарной* обратной связи по состоянию



где — решение *алгебраического* матричного уравнения Риккати.



***5.1.1. Решение алгебраического уравнения Риккати методом диагонализации***

Для решения данной задачи найдем весовые матрицы и :



Выберем произвольно , тогда



Взяв значения из решения задачи L – проблемы моментов получим:



Матрицы системы имеют вид:

, .



Введем расширенный вектор состояния .



Тогда матрица ***Z*** будет иметь следующий вид: ,



или в численном виде

.



Собственные значения матрицы : .



Зная собственные значения и собственные вектора матрицы *Z*, построим матрицу



По определению все решения должны быть устойчивы при любых начальных условиях , т.е. при . Чтобы не оперировать комплексными числами, осуществим следующий переход. Пусть:



Тогда матрица формируется следующим образом:



.



Можно показать, что матрицу можно получить из прямой матрицы собственных векторов:

,



.



Установившееся решение уравнения Риккати, полученное с помощью скрипта Solve\_Riccati\_Method\_Diag.m. имеет вид:



### *5.1.2 Решение алгебраического уравнения Риккати интегрированием в обратном времени до установившегося состояния*

Весовые матрицы и такие же как и в пункте (5.1.1).



Матрицы тоже аналогичны.



Запишем уравнение Риккати

.



Зная, что , решаем уравнение методом обратного интегрирования на достаточно большом интервале (примерно 10 с.), получим установившееся решение с помощью скрипта



Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr.m.:



**Рис.22.** Графики решения уравнения Риккати.

Найдем разницу между решениями уравнения Риккати в пунктах 5.1.1 и 5.1.2:



**Выводы:** *сравнивая решения полученные в пунктах 5.1.1 и 5.1.2 можно сказать, что решения уравнения Риккати первым и вторым методами совпадают с заданной точностью. Погрешность расхождения решений невелика.*

Используя скрипт AKOR\_stabilizaciya\_na\_polybeskon\_interval.m получим коэффициенты регулятора, фазовые координаты системы и управление.



**Рис.23.** Графики коэффициентов регулятора обратной связи.



**Рис.24.** Графики фазовых координат.



**Рис.25.** График управления.

**Выводы:** *т.к. решения уравнения Риккати методом диагонализации и интегрирования в обратном времени дают практически одинаковый результат, то можно считать, что задача АКОР – стабилизации на полубесконечном интервале решена с заданной точностью.*

## 5.2 Стабилизации объекта управления на конечном интервале времени

Рассмотрим линейный объект управления, описываемый системой дифференциальных уравнений в нормальной форме



Начальные условия для заданной системы



Время стабилизации .



Необходимо получить закон управления



минимизирующий функционал вида



Закон оптимального управления в данной задаче имеет вид



Матричное дифференциальное уравнение Риккати будет иметь следующий вид:



Если обозначить то можно записать



Уравнение замкнутой скорректированной системы примет вид



Матрицы заданы в пункте 5.1.1.



Весовые матрицы и имеют следующий вид:



, .



Используя скрипт AKOR\_stabilizaciya\_na\_konech\_interval.m получили следующие результаты:



**Рис.26.** Графики решения уравнения Риккати.



**Рис.27.** Графики коэффициентов регулятора обратной связи.



**Рис.28.** Графики фазовых координат.



**Рис.29.** График управления.

Сравним, как стабилизируется система управления с постоянными и переменными коэффициентами регулятора обратной связи на начальном этапе:



**Рис.30.** Графики фазовых координат.

**Выводы:** *из графиков видно, что система, у которой коэффициенты регулятора меняются со временем, стабилизируется не хуже, чем, система, у которой коэффициенты регулятора не изменяются.*

## 5.3 Задача АКОР – стабилизации для компенсации известного возмущающего воздействия

Рассмотрим систему вида

,



где  *–* возмущающее воздействие.



Матрицы заданы в пункте 5.1.1.



Весовые матрицы и имеют следующий вид:



, .



Начальные условия для заданной системы .



Время стабилизации .



Задаем возмущающее воздействие только на первую координату, так как только она имеет значение

и .



Решение задачи стабилизации сводится к решению уравнения Риккати



с начальными условиями:



Введём вспомогательную вектор-функцию , ДУ которой имеет вид:



с начальными условиями: .



Управление определяется по формуле:

.



Используя скрипт AKOR\_stabilizaciya\_pri\_vozmusheniyah.m, получили следующие результаты:



**Рис.31.** Графики решения уравнения Риккати.



**Рис.32.** Графики коэффициентов регулятора обратной и прямой связи.



**Рис.33.** График возмущающего воздействия.



**Рис.34.** График вспомогательной вектор – функции.



**Рис.35.** Графики фазовых координат.



**Рис.36.** График управления.



**Рис.37.** График возмущающего воздействия.



**Рис.38.** График вспомогательной вектор – функции.



**Рис.39.** Графики фазовых координат.



**Рис.40.** График управления.

**Выводы:** *По графикам фазовых координат при различных воздействиях видно, что влияние возмущающего воздействия не существенно и фазовые координаты устанавливаются в ноль. При этом видно, что графики первой фазовой координаты при различных воздействиях мало отличаются друг от друга, т.е. система отрабатывает любое возмущение.*

## 5.4 Задача АКОР для отслеживания известного задающего воздействия. I подход

Система задана в виде:



Матрицы заданы в пункте 5.1.1.



Весовые матрицы и имеют следующий вид:



, .



Начальные условия для заданной системы .



Время слежения .



Задающее воздействие в виде системы ДУ



Начальные условия для воздействия:

.



Введем расширенный вектор состояния и расширенные матрицы



,



,



.



Тогда новое описание системы имеет вид:



с начальными условиями: .



Решением уравнения Риккати будет матрица:



с н.у.



Тогда оптимальное управление, находится по формуле:



Используя скрипт AKOR\_slegenie\_na\_konech\_interval\_I\_podxod, получили следующие результаты:



**Рис.41.** Графики решения уравнения Риккати.



**Рис.42.** Графики коэффициентов регулятора обратной и прямой связи.



**Рис.43.** Графики фазовых координат.



**Рис.44.** График управления.

**Выводы:** *На данном этапе была решена задача АКОР-слежения. В качестве отслеживаемого воздействия была взята исходная система, но с другими начальными условиями, поэтому графики фазовых координат отличаются от заданных, но только на начальном участке движения.*

## 5.5 Задача АКОР для отслеживания известного задающего воздействия. II подход (линейный сервомеханизм)

Система задана в виде:



Матрицы заданы в пункте 5.1.1.



Весовые матрицы и имеют следующий вид:



, .



Начальные условия для заданной системы .



Задающее воздействие имеет вид:

, .



Время слежения



Введём вспомогательную вектор-функцию , ДУ которой определяется



,



,



НУ определяются из соотношения



Зная закон изменения и , можно определить управление:



.



Используя скрипт AKOR\_slegenie\_na\_konech\_interval\_II\_podxod, получили следующие результаты:



**Рис.45.** Графики решения уравнения Риккати.



**Рис.46.** График задающего воздействия.



**Рис.47.** Графики коэффициентов регулятора обратной и прямой связи.



**Рис.48.** Графики фазовых координат.



**Рис.49.** График управления.

**Выводы:** *На данном этапе была решена задача построения линейного сервомеханизма. В качестве отслеживаемого воздействия была задана экспоненциальная функция. Анализируя выше приведенные графики, можно сказать, что все состояния заданной системы, особенно первая фазовая координата, отслеживается с заданной точностью.*

## 5.6 Задача АКОР – слежения со скользящими интервалами

Пусть интервал времени является объединением нескольких отрезков. Известно некоторое задающее воздействие заданное аналитическим выражением, причем информация о задающем сигнале на следующем отрезке времени поступает только в конце предыдущего. Таким образом, зная задающий сигнал только на одном отрезке времени, мы будем синтезировать управление на этом отрезке.



Разобьем весь интервал на 3 равных отрезка.

Данная задача похожа на задачу отслеживания известного задающего воздействия, заданного аналитическим выражением, но с некоторыми изменениями:

1. Поскольку в уравнение Риккати относительно матрицы входят только параметры системы и функционала качества, то решать его будем один раз на первом отрезке, так как на остальных отрезках решение будет иметь тот же вид, но будет смещено по времени:



2. Начальными условиями для системы на каждом отрезке будет точка, в которую пришла система на предыдущем отрезке:



3. Вектор необходимо пересчитывать на каждом отрезке.



4. В остальном данная задача аналогична задаче построения линейного сервомеханизма (пункт 5.5).

Используя скрипт AKOR\_slegenie\_so\_skolz\_intervalami\_Modern, получили следующие результаты:



**Рис.50.** Графики решения уравнения Риккати.



**Рис.51.** Графики фазовых координат.



**Рис.52.** График управления.

**Выводы:** при сравнении полученных результатов, можно сказать, что различия в фазовых координатах при наличии трех участков и при наличии одного участка несущественные. Если сравнивать скорость вычислений и используемые ресурсы, то скорость увеличивается почти в 3 раза, а памяти требуется в 3 раза меньше для решения поставленной задачи. В точках соединения участков наблюдаются скачки, связанные с тем, что требуется значительные затраты на управление, но для первой координаты этот скачок незначительный.

# 6. Синтез наблюдателя полного порядка

Наблюдателями называются динамические устройства, которые позволяют по известному входному и выходному сигналу системы управления получить оценку вектора состояния. Причем ошибка восстановления .



Система задана в виде:



Начальные условия для заданной системы .



Матрицы заданы в пункте 5.1.1.



Весовые матрицы и имеют следующий вид:



, .



Построим наблюдатель полного порядка и получим значения наблюдаемых координат таких, что:



В качестве начальных условий для наблюдателя выберем нулевые н.у.:



Ранг матрицы наблюдаемости:

- матрица



наблюдаемости.

.



.



Т. е. система является наблюдаемой.

Коэффициенты регулятора:

,



тогда



Собственные значения матрицы :



Коэффициенты наблюдателя выберем из условия того, чтобы наблюдатель был устойчивым, и ближайший к началу координат корень матрицы лежал в 3 – 5 раз левее, чем наиболее быстрый корень матрицы . Выберем корни матрицы



Коэффициенты матрицы наблюдателя:

.



Используя скрипт Sintez\_nablyud\_polnogo\_poryadka, получили следующие результаты:



**Рис.53.** Графики решения уравнения Риккати.



**Рис.54.** Графики фазовых координат.



**Рис.55.** Графики управлений.

**Выводы**: Так как система является полностью наблюдаема и полностью управляема, то спектр матрицы может располагаться произвольно. Перемещая собственные значения матрицы левее, относительно собственных значений матрицы мы улучшаем динамику системы, однако, наблюдатель становится более чувствителен к шумам.



**Литература**

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5 – и т. Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 748 с.
2. Краснощёченко В.И.: Методическое пособие: «Методы теории оптимального управления».

Приложение.

### 

### *PlotTimeFrHaract.m*

clc

clear all

close all

b1 = 9;

b0 = 5;

a4 = 0.1153;

a3 = 1.78;

a2 = 3.92;

a1 = 14.42;

a0 = 8.583;

% syms s w

% W\_s\_chislit = b1 \* s + b0;

% W\_s\_znamen = s \* (a4 \* s^4 + a3 \* s^3 + a2 \* s^2 + a1 \* s + a0);

%

% W\_s\_obj = W\_s\_chislit/W\_s\_znamen;

%A\_w = collect(simplify(abs(subs(W\_s\_obj, s, i\*w))))

%----------------------Построение АЧХ-------------------------------------%

figure('Name', '[0,10]');

w = 0 : 0.01 : 10;

A\_w = sqrt((b0^2 + b1^2.\*w.^2)./((-a1\*w.^2+a3\*w.^4).^2+(a0\*w-a2\*w.^3+a4\*w.^5).^2));

plot(w,A\_w,'k', 'LineWidth', 2);

grid on

xlabel('w')

ylabel('A(w)')

title('Function ACHX(w)')

%-------------------------------------------------------------------------%

r\_ch = roots([b1 b0])

r\_zn = roots([a4 a3 a2 a1 a0 0])

%----------------------Построение ФЧХ-------------------------------------%

figure('Name', '[0,100]');

w = 0 : 0.01 : 100;

fi\_w = (atan(w/0.5556)-atan(w/0)-atan(w/13.5832)-atan((w-2.7677)/0.5850)...

-atan((w+2.7677)/0.5850) - atan(w/(0.6848)))\*180/pi;

plot(w,fi\_w, 'k', 'LineWidth', 2);

grid on

xlabel('w')

ylabel('fi(w)')

title('Function FCHX(w)')

%-------------------------------------------------------------------------%

%----------------------Построение АФЧХ------------------------------------%

figure('Name', '[0,100]');

w = 0 : 0.01 : 100;

A\_w = sqrt((b0^2 + b1^2.\*w.^2)./((-a1\*w.^2+a3\*w.^4).^2+(a0\*w-a2\*w.^3+a4\*w.^5).^2));

fi\_w = (atan(w/0.5556)-atan(w/0)-atan(w/13.5832)-atan((w-2.7677)/0.5850)...

-atan((w+2.7677)/0.5850) - atan(w/(0.6848)));

polar(fi\_w,A\_w, 'k');

grid on

xlabel('Re(W(jw))')

ylabel('Im(W(jw))')

title('Function AFCHX(fi\_w,A\_w)')

%-------------------------------------------------------------------------%

%----------------------Построение ЛАЧХ------------------------------------%

figure('Name', '[0,100]');

w = -100 : 0.01 : 100;

LA\_w = 20\*log(sqrt((b0^2 + b1^2.\*w.^2)./((-a1\*w.^2+a3\*w.^4).^2+(a0\*w-a2\*w.^3+a4\*w.^5).^2)));

plot(w,LA\_w,'k', 'LineWidth', 2);

grid on

xlabel('w')

ylabel('L(w)')

title('Function L(w)')

%-------------------------------------------------------------------------%

%----------------------Построение ФАЧХ------------------------------------%

%-------------------------------------------------------------------------%

%----------------------Построение h(t)------------------------------------%

figure('Name', '[0,50]');

t = 0 : 0.01 : 50;

h\_t = 0.0024 \* exp(-13.5832.\*t) - 0.2175 \* exp(-0.6848.\*t)...

+ 0.1452 \* exp(-0.5850.\*t).\* cos(2.7677.\*t)...

- 0.2217 \* exp(-0.5850.\*t).\* sin(2.7677.\*t)...

+ 0.5825 .\* t + 0.0699;

plot(t,h\_t, 'k', 'LineWidth', 2);

grid on

xlabel('t')

ylabel('h(t)')

title('Function h(t)')

%-------------------------------------------------------------------------%

%----------------------Построение k(t)------------------------------------%

figure('Name', '[0,50]');

t = 0 : 0.01 : 50;

k\_t = - 0.0329 \* exp(-13.5832.\*t) + 0.1489 \* exp(-0.6848.\*t)...

- 0.6986 \* exp(-0.5850.\*t).\* cos(2.7677.\*t)...

- 0.2721 \* exp(-0.5850.\*t).\* sin(2.7677.\*t)...

+ 0.5826;

plot(t,k\_t, 'k', 'LineWidth', 2);

grid on

xlabel('t')

ylabel('k(t)')

title('Function k(t)')

%-------------------------------------------------------------------------%

x1=tf([b1 b0],[a4 a3 a2 a1 a0 0]);

ltiview(x1)

### *ProstranstvoSostoyanii.m*

clc

clear all

%format rational

b1 = 9;

b0 = 5;

a5 = 0.1153;

a4 = 1.78;

a3 = 3.92;

a2 = 14.42;

a1 = 8.583;

a0 = 0;

%1. Матрица Фробениуса

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

A=[0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0;

0 0 0 0 1;

0 -a1/a5 -a2/a5 -a3/a5 -a4/a5]

B=[0; 0; 0; 0; 1/a5]

C=[b0 b1 0 0 0]

%Проверка

syms s

W\_s = collect(simplify(C\*(s.\*eye(5)-A)^(-1)\*B),s)

pretty(W\_s)

%2. Параллельная декомпозиция

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

b1 = b1/a5;

b0 = b0/a5;

s1 = 0;

s2 = -6615/487;

s3 = -1022/1747 + 4016/1451\*i;

s4 = -1022/1747 - 4016/1451\*i;

s5 = -415/606;

alfa = real(s3);

beta = imag(s3);

syms s A B C D E

W\_s\_etal = collect(((b1\*s+b0)/((s-s1)\*(s-s2)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s5))),s)

%pretty(W\_s\_etal)

Slag\_1 = simplify(collect(A\*(s-s2)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s5),s));

Slag\_2 = simplify(collect(B\*(s-s1)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s5),s));

Slag\_3 = simplify(collect(C\*(s-s1)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s2),s));

Slag\_4 = simplify(collect((D\*s+E)\*(s-s1)\*(s-s2)\*(s-s5),s));

Chislit\_W\_s =collect(Slag\_1 + Slag\_2 + Slag\_3 + Slag\_4,s);

%Решение системы линейных уравнений

MS =double( [1 1 1 1 0;

6753029497/515578134 -513659/1058682 10560977/850789 4210795/295122 1;

77456808434995506239663107/126764366837761533378822144 1874500571398143988939141/260296441145300889894912 -3300780600401725219142291/418364246989311991349248 915075/98374 4210795/295122;

26189071674868424275768861465/253528733675523066757644288 2853037197681682345182805/520592882290601779789824 45476725452203201718998205/418364246989311991349248 0 915075/98374;

6290947020888109571128085025/84509577891841022252548096 0 0 0 0])

PCH = [0; 0; 0; b1; b0];

Koeff = MS^(-1)\*PCH

%Проверка

MS\*[Koeff(1);Koeff(2);Koeff(3);Koeff(4);Koeff(5)];

Slag\_1 = simplify(collect(Koeff(1)\*(s-s2)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s5),s));

Slag\_2 = simplify(collect(Koeff(2)\*(s-s1)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s5),s));

Slag\_3 = simplify(collect(Koeff(3)\*(s-s1)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s2),s));

Slag\_4 = simplify(collect((Koeff(4)\*s+Koeff(5))\*(s-s1)\*(s-s2)\*(s-s5),s));

Chislit\_W\_s =collect((Slag\_1 + Slag\_2 + Slag\_3 + Slag\_4),s);

Znamena\_W\_s = collect((s-s1)\*(s-s2)\*((s+alfa)^2+beta^2)\*(s-s5),s);

W\_s = collect(simplify(Koeff(1)/(s-s1)+Koeff(2)/(s-s2)+(Koeff(4)\*s+Koeff(5))/((s+alfa)^2+beta^2)+Koeff(3)/(s-s5)),s)

pretty(W\_s)

%Расчет матриц состояния

A = [s1 0 0 0 0;

0 s2 0 0 0 ;

0 0 0 1 0;

0 0 -(alfa^2+beta^2) -2\*alfa 0;

0 0 0 0 s5]

B = [Koeff(1); Koeff(2); 0; 1; Koeff(3)]

C = [1 1 Koeff(5) Koeff(4) 1]

%Проверка

W\_s = collect(simplify(C\*(s.\*eye(5)-A)^(-1)\*B),s)

pretty(W\_s)

%ВСЕ ПОДСЧИТАНО ВЕРНО!!!

### *SimplexMetod2.m*

function SimplexMetod2

clc

clear all

close all

format short

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%ВВОДИМЫЕ ДАННЫЕ%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Матрицы системы

A = [0 2;

-3 0];

B = [0; 2];

% Координаты начальной и конечной точки

X\_0 = [14; 0];

X\_N = [0; 0];

% Ограничение на управление

u\_m = -3;

u\_p = 5;

eps = 1e-10;% погрешность сравнения с нулем

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

N = 195;% число шагов

%h = t1/N;% шаг дискретизации

h = 0.0162;

alfa = 1;

a = 0;

b = 0;

%t1 = 796/245;% время перехода в конечное состояние

n = size(A);

n = n(1);% порядок системы

% Нахождение матричного экспоненциала

syms s t

MatrEx = ilaplace((s\*eye(n)-A)^(-1));

MatrEx\_B = MatrEx\*B;

% Вычисление матриц F и G

F = subs(MatrEx, t, h);

G = double(int(MatrEx\_B, t, 0, h));

%%%%%%%%%%ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ КАК ЗАДАЧИ%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

for index = 1 : 1e+10

% Вычисление правой части

PravChast = X\_N - F^N \* X\_0;

% Вычисление произведения F на G

FG = zeros(n, N);% формирование матрицы для хранения данных

for j = 1 : n

for i = 0 : N - 1

fg = F^(N-i-1) \* G;

if PravChast(j) < 0

fg = -fg;

end

FG(j, i+1) = fg(j);

end

end

% Построение z-строки

z\_stroka = zeros(1, 4\*N+n+2);% формирование матрицы для хранения данных

% Первый элемент z-строки

z\_stroka(1) = 1;

% Суммирование правых частей

for j = 1 : n

z\_stroka(4\*N+n+2) = z\_stroka(4\*N+n+2) + abs(PravChast(j));

end

% Формирование элементов z-строки между 1-м и последним элементами

%при 2N небазисных переменных, т.е. при управлениях

for i = 2 : 2 : 2 \* N

for j = 1 : n

z\_stroka(i) = z\_stroka(i) + FG(j, i/2);

end

for j = 1 : n

z\_stroka(i+1) = z\_stroka(i+1) - FG(j, i/2);

end

end

% Формирование симплекс-таблицы

CT = zeros(n+2\*N+1, 4\*N+n+2);

% Построение симплекс-таблицы начиная с z-строки

CT(1,:) = z\_stroka(1,:);

% Формирование R-строк в симплекс-таблице

for j = 2 : n + 1

% Формирование правой части в R-строках

CT(j, 4\*N+n+2) = abs(PravChast(j-1));

% Формирование элементов R-строк между 1-м и последним элементами

%при 2N небазисных переменных, т.е. при управлениях

for i = 2 : 2 : 2 \* N

CT(j, i) = FG(j-1, i/2);

CT(j, i+1) = -FG(j-1, i/2);

end

end

% Формирование S-строк в симплекс-таблице

l = 2;

for j = n + 2 : 2 : n + 2 \* N + 1

% Формирование правой части в S-строках

CT(j, 4\*N+n+2) = u\_p;

CT(j+1, 4\*N+n+2) = abs(u\_m);

% Формирование элементов S-строк между 1-м и последним элементами

%при 2N небазисных переменных, т.е. при управлениях

CT(j, l : l+1) = [1 -1];

CT(j+1, l : l+1) = [-1 1];

l = l + 2;

end

% Формирование базиса в симплекс-таблице, т.е коэффициентов, стоящих при

%базисных переменных от 2N небазисных переменных до правой части (до 4\*N+n+1)

CT(2 : n+2\*N+1, 2\*N+2 : 4\*N+n+1) = eye(n+2\*N, n+2\*N);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%СИМПЛЕКС-МЕТОДОМ%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Цикл смены базисных переменных

nn = size(find(CT(1,2:2\*N+1) >= eps));

while nn > 0

[znach, N\_stolb] = max(CT(1, 2 : 2\*N+1));

N\_stolb = N\_stolb + 1; % т.к. при небазисн. перемен.

PravChast = CT(:, 4\*N+n+2);

for j = 2 : n + 2 \* N + 1

if CT(j, N\_stolb) > 0

PravChast(j) = PravChast(j) / CT(j, N\_stolb);

else

PravChast(j) = inf;

end

end

[znach, N\_str] = min(PravChast(2 : n+2\*N+1));

N\_str = N\_str + 1;

% Формирование матрицы перехода B

B = eye(n+2\*N+1, n+2\*N+1);

B(:, N\_str) = CT(:, N\_stolb);

% Обращение матрицы B

RE = B(N\_str, N\_str);

for j = 1 : n + 2 \* N + 1

if j == N\_str

B(j, N\_str) = 1 / RE;

else

B(j, N\_str) = -B(j, N\_str) / RE;

end

end

%B = inv(B);

% Получение новой симплекс таблицы

CT = B \* CT;

nn = size(find(CT(1,2:2\*N+1) >= eps));

end

u = zeros(1,N);

% Формирование управления

for j = 2 : n + 2 \* N + 1

for i = 2 : 2 \* N + 1

if CT(j, i) >= eps

if mod(i, 2) < eps

u(i/2) = CT(j, 4\*N+n+2);

else

u((i-1)/2) = -CT(j, 4\*N+n+2);

end

end

end

end

% Формирование x1 и x2

X = zeros(n, N);

X(:, 1) = F \* X\_0 + G \* u(1);

for i = 2 : N

X(:, i) = F \* X(:, i-1) + G \* u(i);

end

% Объединение с начальными условиями

X1 = [X\_0(1) X(1, :)];

X2 = [X\_0(2) X(2, :)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% проверка на окончание выбора количества шагов

XX = [X\_0 X];

% Вычисление нормы вектора состояния

normaXX = norm(XX(:,N))

% Вычисление значения переменной R

R = abs(X\_N - F^N \* X\_0) - FG \* u';

R = R';

z = sum(R);

% Погрешность приближения к точному решению

pogresh = 0.3;

if (normaXX < pogresh)

N\_opt = N;

break;

else

if (z > h)

if a == 1

alfa = ceil(alfa/2);

end

N = N + alfa;

a = 0;

b = 1;

else

if b == 1

alfa = ceil(alfa/2);

end

N = N - alfa;

a = 1;

b = 0;

end

end

t\_perevoda = N \* h;

end

N\_opt

h

t\_perevoda

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%ОФОРМЛЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%В ГРАФИЧЕСКОМ ВИДЕ%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Построение графика x1(t);

figure(1)

t = (0 : 1 : length(X1)-1) \* h;

plot(t, X1, 'b', 'LineWidth', 2);

hl=legend('x\_1(t)');

set(hl, 'FontName', 'Courier');

xlabel('t, cek'); ylabel('x\_1(t)');

grid on

% Построение графика x2(t);

figure(2)

t = (0 : 1 : length(X2)-1) \* h;

plot(t, X2, 'b', 'LineWidth', 2);

hl=legend('x\_2(t)');

set(hl, 'FontName', 'Courier');

xlabel('t, cek'); ylabel('x\_2(t)');

grid on

% Построение графика x2 = x2(x1);

figure(3)

plot(X1, X2, 'm', 'LineWidth', 2);

hl=legend('x\_2 = x\_2(x\_1)');

set(hl, 'FontName', 'Courier');

xlabel('x\_1(t)'); ylabel('x\_2(x\_1(t))');

grid on

% Построение графика u(t)

figure(4)

t = (0 : 1 : length(u)-1) \* h;

plot(t, u, 'r', 'LineWidth', 2);

hl=legend('u(t)');

set(hl, 'FontName', 'Courier');

xlabel('t, cek'); ylabel('u(t)');

grid on

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

### *Optimal\_L\_problem\_moments.m*

clc

close all

clear all

format long

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Порядок системы

poryadok = 5;

% Начальные и конечные условия относительно вектора Y

Y\_0 = [3 2 1 5]';

Y\_T = [0 -1 0 3]';

% Конечное время перехода

T = 3;

% Матрица перехода от Н.У. Y к Н.У. X

B\_ = [b0 b1 0 0 0;

0 b0 b1 0 0;

0 0 b0 b1 0;

0 0 0 b0 b1];

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Начальные условия для упорядоченной системы

X\_0 = B\_' \* inv(B\_ \* B\_') \* Y\_0

X\_T = B\_' \* inv(B\_ \* B\_') \* Y\_T

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4]

B = [0; 0; 0; 0; 1]

C = [b0 b1 0 0 0]

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Вычисление матричной экспоненты

syms s t

MatrEx = simplify (vpa(ilaplace(inv(s\*eye(5) - A)), 50))

% ------------------------------------------------------------------------%

RETURN = 1;

while RETURN == 1

disp('L - проблема моментов в пространстве вход-выход: 1')

disp('L - проблема моментов в пространстве состояний : 2')

reply = input('Выберете метод решения [1 или 2]: ', 's');

switch reply

case '1'

disp('L - проблема моментов в пространстве вход-выход')

% ------------------------L - проблема моментов---------------------------%

% ----------------------в пространстве вход-выход-------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Передаточная функция

W\_obj\_s = 1/(a5\*s^5 + a4\*s^4 + a3\*s^3 + a2\*s^2 + a1\*s + a0);

% Полюса передаточной функции

polyusa\_TF = roots([a5 a4 a3 a2 a1 a0]);

% ИПФ

K\_t = simplify (vpa (ilaplace(1 / (a5\*s^5 + a4\*s^4 + a3\*s^3 + ...

a2\*s^2 + a1\*s + a0)),50))

% K\_t = vpa(K\_t,6)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Составление матрицы Вронского

for i = 1 : poryadok

Matrix\_Vron (i, 1) = diff (exp (polyusa\_TF(1) \*t), t, i - 1);

Matrix\_Vron (i, 2) = diff (exp (polyusa\_TF(2) \*t), t, i - 1);

Matrix\_Vron (i, 3) = diff (exp (real(polyusa\_TF(3))\*t) \* ...

cos(imag(polyusa\_TF(3))\*t), t, i - 1);

Matrix\_Vron (i, 4) = diff (exp (real(polyusa\_TF(4))\*t) \* ...

sin(imag(polyusa\_TF(4))\*t), t, i - 1);

Matrix\_Vron (i, 5) = diff (exp (polyusa\_TF(5) \*t), t, i - 1);

end

% Матрица Вронского при t = 0;

Matrix\_Vron\_t\_0 = double(subs(Matrix\_Vron,t,0));

% Матрица Вронского при t = T;

T = 3;

Matrix\_Vron\_t\_T = double(subs(Matrix\_Vron,t,T));

% vpa(Matrix\_Vron\_t\_0,6)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Определение неизвестных коэффициентов C

C\_ = inv(Matrix\_Vron\_t\_0) \* X\_0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение моментных функций

K\_Tt\_1 = subs (K\_t,t, T - t);

K\_Tt = diff (K\_t);

K\_Tt\_2 = subs (K\_Tt, t, T - t);

K\_Ttt = diff (K\_Tt);

K\_Tt\_3 = subs (K\_Ttt, t, T - t);

K\_Tttt = diff (K\_Ttt);

K\_Tt\_4 = subs (K\_Tttt, t, T - t);

K\_Ttttt = diff (K\_Tttt);

K\_Tt\_5 = subs (K\_Ttttt, t, T - t);

h1\_Tt = K\_Tt\_1

h2\_Tt = K\_Tt\_2

h3\_Tt = K\_Tt\_3

h4\_Tt = K\_Tt\_4

h5\_Tt = K\_Tt\_5

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение моментов

for i = 1 : poryadok

Matrix\_a(i) = X\_T(i) - C\_' \* Matrix\_Vron\_t\_T(i,:)';

end

Matrix\_a = Matrix\_a'

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

RETURN = 2;

case '2'

disp('L - проблема моментов в пространстве состояний')

% ------------------------L - проблема моментов---------------------------%

% ----------------------в пространстве состояний--------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

Matr\_Ex\_T = subs(MatrEx, t, T);

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение моментов

for i = 1 : poryadok

Matrix\_a(i) = X\_T(i) - Matr\_Ex\_T(i,:) \* X\_0;

end

Matrix\_a = Matrix\_a'

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение моментных функций

Matr\_Ex\_Tt = subs(MatrEx, t, T - t);

h\_Tt = vpa(expand(simplify(Matr\_Ex\_Tt \* B)),50);

h1\_Tt = h\_Tt(1)

h2\_Tt = h\_Tt(2)

h3\_Tt = h\_Tt(3)

h4\_Tt = h\_Tt(4)

h5\_Tt = h\_Tt(5)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

RETURN = 2;

otherwise

disp('Неизвестный метод.')

RETURN = 1;

end

end

% h1\_Tt = vpa(h1\_Tt,6)

% h2\_Tt = vpa(h2\_Tt,6)

% h3\_Tt = vpa(h3\_Tt,6)

% h4\_Tt = vpa(h4\_Tt,6)

% h5\_Tt = vpa(h5\_Tt,6)

% ------------------------------------------------------------------------%

% --------Нахождение управления и вычисление минимальной энергии----------%

% ------------------------------------------------------------------------%

syms ks1 ks2 ks3 ks4 ks5

% ------------------------------------------------------------------------%

% Формирование функционала

d\_v\_2 = vpa (simplify (int ((ks1\*h1\_Tt + ks2\*h2\_Tt + ks3\*h3\_Tt + ...

ks4\*h4\_Tt + ks5\*h5\_Tt)^2, t, 0, T)), 50);

% Выражаем ks1 через остальные

ks1 = vpa ((1 - ks2\*Matrix\_a(2) - ks3\*Matrix\_a(3) - ...

ks4\*Matrix\_a(4) - ks5\*Matrix\_a(5))/Matrix\_a(1), 50);

% Подставляем в функционал ks1

d\_v\_2 = vpa (expand (subs (d\_v\_2, ks1)), 50);

% Находим частные производные по ksi

eq\_1= diff(d\_v\_2, ks2);

eq\_2= diff(d\_v\_2, ks3);

eq\_3= diff(d\_v\_2, ks4);

eq\_4= diff(d\_v\_2, ks5);

% Решаем СЛАУ относительно ksi

ksi= solve(eq\_1, eq\_2, eq\_3, eq\_4);

% Полученные значения ksi

ks2= double(ksi.ks2)

ks3= double(ksi.ks3)

ks4= double(ksi.ks4)

ks5= double(ksi.ks5)

ks1 = double(vpa ((1 -ks2\*Matrix\_a(2) -ks3\*Matrix\_a(3) -ks4\*Matrix\_a(4) - ...

ks5\*Matrix\_a(5))/Matrix\_a(1), 50))

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Проверка условия полученного результата

ks1\*Matrix\_a(1) + ks2\*Matrix\_a(2) + ks3\*Matrix\_a(3) + ...

ks4\*Matrix\_a(4) + ks5\*Matrix\_a(5)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Вычисление управления и минимальной энергии

d\_v\_2 = vpa (simplify (int ((ks1\*h1\_Tt + ks2\*h2\_Tt + ks3\*h3\_Tt + ...

ks4\*h4\_Tt + ks5\*h5\_Tt)^2, t, 0, T)), 50)

% d\_v\_2 = double(d\_v\_2)

gamma\_v\_2 = 1/d\_v\_2

% gamma\_v\_2 = double(gamma\_v\_2)

u = vpa (expand(simplify(gamma\_v\_2 \* (ks1\*h1\_Tt + ks2\*h2\_Tt + ks3\*h3\_Tt + ...

ks4\*h4\_Tt + ks5\*h5\_Tt))), 50)

% u = vpa(u,6)

u\_0 = subs(u,t,0)

u\_T = subs(u,t,T)

ezplot(u, [0 T], 1)

hl=legend('u(t)');

set(hl, 'FontName', 'Courier');

title ('u(t)');

xlabel('t')

grid on

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождения X

% Вычисление матричной экспоненты

MatrEx = simplify (vpa(ilaplace(inv(s\*eye(5) - A)), 50));

syms t tay

X\_svob = MatrEx \* X\_0;

X\_vinyg = int ((subs(MatrEx, t, t - tay))\*B\*(subs (u, t, tay)), tay, 0,t);

X\_real = X\_svob + X\_vinyg;

save Sostoyaniya X\_real u

X\_real = vpa (expand (simplify(X\_real)), 50)

X\_real\_0 = double(subs (X\_real, t, 0))

X\_real\_T = double(subs (X\_real, t, T))

% Погрешность X

delta\_X\_T = double(vpa(X\_T - X\_real\_T, 50))

delta\_X\_0 = double(vpa(X\_0 - X\_real\_0, 50))

% Нахождение Y

for i = 1 : poryadok - 1

Y\_real(i) = B\_(i,:) \* X\_real;

end

Y\_real = vpa (expand(simplify(Y\_real')), 50)

Y\_real\_0 = double(subs (Y\_real, t, 0))

Y\_real\_T = double(subs (Y\_real, t, T))

% Погрешность Y

delta\_Y\_T = double(vpa(Y\_T - Y\_real\_T, 50))

delta\_Y\_0 = double(vpa(Y\_0 - Y\_real\_0, 50))

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Вычисление max значений для задачи АКОР

h = 0.01;

tic

tt = 0 : h : T;

for i = 1 : poryadok

X\_max(i) = max(abs(subs(X\_real(i),t,tt)));

end

U\_max = max(abs(subs(u,t,tt)));

toc

save Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение результатов X(t)

ezplot (X\_real(1), [0 T],2)

title ('x\_1(t)');

grid on

ezplot (X\_real(2), [0 T],3)

title ('x\_2(t)');

grid on

ezplot (X\_real(3), [0 T],4)

title ('x\_3(t)');

grid on

ezplot (X\_real(4), [0 T],5)

title ('x\_4(t)');

grid on

ezplot (X\_real(5), [0 T],6)

title ('x\_5(t)');

grid on

% Построение результатов Y(t)

ezplot (Y\_real(1), [0 T],7)

title ('y\_1(t)');

grid on

ezplot (Y\_real(2), [0 T],8)

title ('y\_2(t)');

grid on

ezplot (Y\_real(3), [0 T],9)

title ('y\_3(t)');

grid on

ezplot (Y\_real(4), [0 T],10)

title ('y\_4(t)');

grid on

% ------------------------------------------------------------------------%

### *Gramian\_Uprav.m*

clc

close all

clear all

format long

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Порядок системы

poryadok = 5;

% Начальные и конечные условия относительно вектора Y

Y\_0 = [3 2 1 5]';

Y\_T = [0 -1 0 3]';

% Конечное время перехода

T = 3;

% Матрица перехода от Н.У. Y к Н.У. X

B\_ = [b0 b1 0 0 0;

0 b0 b1 0 0;

0 0 b0 b1 0;

0 0 0 b0 b1];

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Начальные условия для упорядоченной системы

X\_0 = B\_' \* inv(B\_ \* B\_') \* Y\_0

X\_T = B\_' \* inv(B\_ \* B\_') \* Y\_T

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4];

B = [0; 0; 0; 0; 1];

C = [b0 b1 0 0 0];

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Вычисление матричной экспоненты

syms s t

MatrEx = simplify (vpa(ilaplace(inv(s\*eye(5) - A)), 50));

MatrEx\_T = vpa(subs(MatrEx, t, T),50);

MatrEx\_Tt = vpa(subs(MatrEx, t, T-t),50);

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Вычисление матрицы управляемости

M\_c = [B A\*B A^2\*B A^3\*B A^4\*B]

rank\_M\_c = rank(M\_c); %ранк = 5 - система управляема

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Вычисление грамиана управляемости

W\_Tt = double(vpa(simplify(int(MatrEx\_Tt\*B\*B'\*MatrEx\_Tt',t,0,T)),50))

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Формирование управления

u = vpa(expand(simplify(B'\*MatrEx\_Tt'\*inv(W\_Tt)\*(X\_T-MatrEx\_T\*X\_0))),50)

u\_0 = subs(u,t,0)

u\_T = subs(u,t,T)

u = vpa(u,6)

% ------------------------------------------------------------------------%

ezplot(u, [0 T], 1)

title ('u(t)');

xlabel('t')

grid on

tt = 0 : 0.01 : T;

u2 = -20.605579750692850622177761310569\*exp(-40.749492463732569440253455897187+13.583164154577523146751151965729\*t)+19.011167813350479567880663060491\*exp(-2.0544534472800777280645828326668+.68481781576002590935486094422228\*t)+1.3356706538317879679656856470126\*exp(-1.7550088311372150108106250409710+.58500294371240500360354168032368\*t)\*cos(-8.3032397968812277095785721047505+2.7677465989604092365261907015835\*t)+7.2830359327562658520685140088852\*exp(-1.7550088311372150108106250409710+.58500294371240500360354168032368\*t)\*sin(-8.3032397968812277095785721047505+2.7677465989604092365261907015835\*t)-8.6096491449877801097840179781687;

u1 = subs(u2, t, tt);

u2 = subs(u, t, tt);

figure(2)

plot(tt,u1,'r',tt,u2,'b','LineWidth',2)

hl=legend('u(t) при решении оптимальной L-проблемы моментов','u(t) с использованием грамиана управляемости');

set(hl, 'FontName', 'Courier');

xlabel('t, cek'); ylabel('u(t)');

title('u(t)')

grid on

### *AKOR\_stabilizaciya\_na\_polybeskon\_interval.m*

clc

clear all

close all

poryadok = 5;

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0;

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4]

B = [0; 0; 0; 0; 1]

C = [b0 b1 0 0 0]

% Начальные условия

X\_0 = [10; 0; 6; 4; 8]

%T = 1;

Time = 1;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение max значений из файла

load Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение элементов матриц Q и R

r(1) = 0.1;

q(1) = 1/poryadok \* r(1) \* (U\_max)^2 / (X\_max(1))^2;

for i = 2 : poryadok

q(i) = q(1) \* (X\_max(1))^2 / (X\_max(i))^2;

end

Q = diag(q)

R = diag(r)

% Для изменения коэффициентов

% Q(1,1) = Q(1,1);

% Q(2,2) = Q(2,2);

% Q(3,3) = Q(3,3);

% Q(4,4) = Q(4,4);

% Q(5,5) = Q(5,5);

Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+12;

Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+8;

Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+7;

Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+0;

Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

R(1,1) = R(1,1);

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом диагонализации

P1 = Solve\_Riccati\_Method\_Diag(A,B,Q,R)

% ------------------------------------------------------------------------%

P\_nach = zeros(poryadok, poryadok);%+ones(poryadok, poryadok);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом обратного интегрирования

P2 = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A,B,Q,R,Time,poryadok, P\_nach)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Сравнение расхождения методов

Delta\_P = abs(P1-P2)

% Построение графика коэффициентов регулятора

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr Time\_R P N\_str

PP = P;

for i = 1 : N\_str

P = reshape(PP(i, :), poryadok, poryadok);

K(i, :) = -inv(R)\*B'\*P;

end

figure(2)

plot(Time\_R,K(:,1),'-',Time\_R,K(:,2),'-',Time\_R,K(:,3),'-',Time\_R,K(:,4),'-',Time\_R,K(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты обратной связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_о\_с','k\_2\_о\_с','k\_3\_о\_с','k\_4\_о\_с','k\_5\_о\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати с помощью встроенной функции

% P = vpa(care(A,B,Q,R), 10)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение коэффициентов регулятора

disp('Коэффициенты регулятора:')

K1 = -inv(R) \* B' \* P1

K2 = -inv(R) \* B' \* P2

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

A1\_ = A + B \* K1;

A2\_ = A + B \* K2;

% Вычисление матричной экспоненты

syms s t

MatrEx1 = simplify (vpa(ilaplace(inv(s\*eye(5) - A1\_)), 50));

MatrEx2 = simplify (vpa(ilaplace(inv(s\*eye(5) - A2\_)), 50));

% Нахождение координат состояния

X1 = vpa(simplify(MatrEx1 \* X\_0), 50);

X2 = vpa(simplify(MatrEx2 \* X\_0), 50);

% Нахождение управления

u1 = vpa(simplify(K1 \* X1),50)

u2 = vpa(simplify(K2 \* X2),50)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение u(t) и X(t)

T\_sravneniya = 0.2;

figure(3);

tt = 0 : 0.01 : T\_sravneniya;

uu1 = subs(u1,t,tt);

uu2 = subs(u2,t,tt);

plot(tt, uu1, tt, uu2, 'LineWidth', 2)

title ('u(t)');

xlabel('t')

hl=legend('u(t) - управление',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

ezplot(X1(1), [0 Time], 4)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t')

grid on

ezplot(X1(2), [0 Time], 5)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t')

grid on

ezplot(X1(3), [0 Time], 6)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t')

grid on

ezplot(X1(4), [0 Time], 7)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t')

grid on

ezplot(X1(5), [0 Time], 8)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t')

grid on

tt = 0 : 0.01 : T\_sravneniya;

X21 = subs(X1(1), t, tt);

X22= subs(X1(2), t, tt);

X23= subs(X1(3), t, tt);

X24= subs(X1(4), t, tt);

X25= subs(X1(5), t, tt);

save Sravnenie\_stabilizacii\_1 X21 X22 X23 X24 X25 uu1

### *AKOR\_stabilizaciya\_na\_konech\_interval.m*

clc

clear all

close all

poryadok = 5;

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4];

B = [0; 0; 0; 0; 1];

C = [b0 b1 0 0 0];

% Начальные условия

X\_0 = [10; 0; 6; 4; 8];

Time = 0.2;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение max значений из файла

load Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение элементов матриц Q и R

% r(1) = 100;

r(1) = 0.1;

q(1) = 1/poryadok \* r(1) \* (U\_max)^2 / (X\_max(1))^2;

for i = 2 : poryadok

q(i) = q(1) \* (X\_max(1))^2 / (X\_max(i))^2;

end

Q = diag(q);

R = diag(r);

% Для изменения коэффициентов

Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+12;

Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+8;

Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+7;

Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+0;

Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

R(1,1) = R(1,1);

% P\_prib = eye(poryadok, poryadok);

% P\_prib(1,1) = 100;

% P\_prib(2,2) = 10;

% % P\_prib(3,3) = 1000;

% % P\_prib(4,4) = 10;

% % P\_prib(5,5) = 1;

% ------------------------------------------------------------------------%

P\_nach = zeros(poryadok, poryadok);% + P\_prib;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом обратного интегрирования

P = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A,B,Q,R,Time,poryadok, P\_nach)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение переменных коэффициентов регулятора

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr Time\_R P N\_str

PP = P;

for i = 1 : N\_str

P = reshape(PP(i, :), poryadok, poryadok);

K(i, :) = -inv(R)\*B'\*P;

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Формирование вектора коэффициентов регулятора

% и решения уравнения Риккати в прямом порядке

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr P

size(K)

i = 1;

len\_K = length(K(:,1))

for j = len\_K : -1 : 1

K\_pr(i,:) = K(j,:);

i = i + 1;

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика переменных коэффициентов регулятора в прямом времени

figure(2)

plot(Time\_R,K(:,1),'-',Time\_R,K(:,2),'-',Time\_R,K(:,3),'-',...

Time\_R,K(:,4),'-',Time\_R,K(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

grid on;

title('K(t)')

xlabel('t')

legend('k\_1','k\_2','k\_3','k\_4','k\_5');

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

for k = 1 : len\_K

A\_(:,:,k) = A + B \* K(k,:);

end

size(A\_);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение фазовых координат

X(:,1) = X\_0;

h = 0.01;

time\_X(1) = 0;

for k = 1 : len\_K

X(:, k+1) = X(:, k) + h \* A\_(:,:,k) \* X(:, k);

time\_X(k+1) = time\_X(k) + h;

end

X(:, k+1) = [];

time\_X(k+1) = [];

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение управления

for k = 1 : len\_K

u(k) = K\_pr(k,:) \* X(:,k);

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение u(t) и X(t)

figure(3);

plot(time\_X, u, 'r-', 'LineWidth', 2)

title ('u(t)');

xlabel('t')

grid on

figure(4);

plot(time\_X, X(1,:), 'LineWidth', 2)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t')

grid on

figure(5);

plot(time\_X, X(2,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t')

grid on

figure(6);

plot(time\_X, X(3,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t')

grid on

figure(7);

plot(time\_X, X(4,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t')

grid on

figure(8);

plot(time\_X, X(5,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t')

grid on

save Sravnenie\_stabilizacii\_2 time\_X X u

### *Sravnenie\_stabilizacii.m*

close all

load Sravnenie\_stabilizacii\_1 X21 X22 X23 X24 X25 uu1

load Sravnenie\_stabilizacii\_2 time\_X X u

figure(31);

plot(time\_X, u, time\_X, uu1, 'LineWidth', 2)

title ('u(t)');

xlabel('t')

hl=legend('u(t) - управление с перемен. коеф.','u(t) - управление с пост. коеф.');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(41);

plot(time\_X, X(1,:), time\_X, X21, 'LineWidth', 2)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_1(t) - с перемен. коеф.','x\_1(t) - с пост. коеф.');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(51);

plot(time\_X, X(2,:), time\_X, X22,'LineWidth', 2)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_2(t) - с перемен. коеф.','x\_2(t) - с пост. коеф.');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(61);

plot(time\_X, X(3,:), time\_X, X23,'LineWidth', 2)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_3(t) - с перемен. коеф.','x\_3(t) - с пост. коеф.');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(71);

plot(time\_X, X(4,:), time\_X, X24,'LineWidth', 2)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_4(t) - с перемен. коеф.','x\_4(t) - с пост. коеф.');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(81);

plot(time\_X, X(5,:), time\_X, X25,'LineWidth', 2)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_5(t) - с перемен. коеф.','x\_5(t) - с пост. коеф.');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

### *AKOR\_stabilizaciya\_pri\_vozmusheniyah.m*

clc

clear all

close all

warning off

poryadok = 5;

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4];

B = [0; 0; 0; 0; 1];

C = [b0 b1 0 0 0];

% Начальные условия

X\_0 = [10; 0; 6; 4; 8];

Time = 1;

h = 0.01;

% ------------------------------------------------------------------------%

tic

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение max значений из файла

load Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение элементов матриц Q и R

r(1) = 100;

q(1) = 1/poryadok \* r(1) \* (U\_max)^2 / (X\_max(1))^2;

for i = 2 : poryadok

q(i) = q(1) \* (X\_max(1))^2 / (X\_max(i))^2;

end

Q = diag(q);

R = diag(r);

% Для изменения коэффициентов

Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+12;

Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+8;

Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+7;

Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+0;

Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

R(1,1) = R(1,1);

% P\_0 = ones(poryadok, poryadok);

% P\_0(1,1) = P\_0(1,1)\*1e12;

% P\_0(2,2) = P\_0(2,2)\*1e8;

% P\_0(3,3) = P\_0(3,3)\*1e7;

% P\_0(4,4) = P\_0(4,4)\*1e0;

% P\_0(5,5) = P\_0(5,5)\*1e2;

% ------------------------------------------------------------------------%

P\_nach = zeros(poryadok, poryadok);%+P\_0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом обратного интегрирования

P = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A,B,Q,R,Time,poryadok, P\_nach);

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr\_for\_slegenie Time\_R P N\_str

PP = P;

for k = 1 : N\_str

P1 = reshape(PP(k, :), poryadok, poryadok);

for i = 1 : poryadok

for j = 1 : poryadok

P2(i,j,k) = P1(i,j);

end

end

end

size\_P = size(P2);

% ------------------------------------------------------------------------%

tic

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение дискретных значений задающего воздействия в обратном времени

% для нахождения вспомогательной функции q(t)

Vozmyshyayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers(h, 0, Time);

% ------------------------------------------------------------------------%

load Vozmyshyayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers w\_discrete\_rev

% ------------------------------------------------------------------------%

size(w\_discrete\_rev);

% Начальное значение q(t)

q = zeros(poryadok,1);

% Интегрирование q(t) в обратном времени

for k = 1 : N\_str

q(:, k+1) = q(:, k) - h \* ((P2(:,:,k)\*B\*inv(R)\*B'-A') \* q(:, k) - P2(:,:,k)\*w\_discrete\_rev(:,k));

end

q(:, k+1) = [];

size\_q = size(q);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение переменных коэффициентов регулятора

for k = 1 : N\_str

K\_o(k, :) = -inv(R) \* B' \* P2(:,:,k);

K\_pr(k, :) = -inv(R) \* B';

end

% Формирование вектора коэффициентов регулятора, значений задающего

% воздействия, значений вспомогательной функции в прямом порядке

size(K\_o);

size(K\_pr);

K\_pr\_p = K\_pr;

i = 1;

len\_K = length(K\_o(:,1));

for j = len\_K : -1 : 1

K\_o\_p(i,:) = K\_o(j,:);

w\_discrete(:,i) = w\_discrete\_rev(:,j);

q\_pr(:, i) = q(:, j);

i = i + 1;

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика переменных коэффициентов регулятора обратной связи

% в прямом времени

toc

figure(3)

plot(Time\_R,K\_o(:,1),'-',Time\_R,K\_o(:,2),'-',Time\_R,K\_o(:,3),'-',...

Time\_R,K\_o(:,4),'-',Time\_R,K\_o(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты обратной связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_о\_с','k\_2\_о\_с','k\_3\_о\_с','k\_4\_о\_с','k\_5\_о\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика переменных коэффициентов регулятора прямой связи

% в прямом времени

figure(4)

plot(Time\_R,K\_pr(:,1),'-',Time\_R,K\_pr(:,2),'-',Time\_R,K\_pr(:,3),'-',...

Time\_R,K\_pr(:,4),'-',Time\_R,K\_pr(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты прямой связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_п\_с','k\_2\_п\_с','k\_3\_п\_с','k\_4\_п\_с','k\_5\_п\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

tic

% ------------------------------------------------------------------------%

for k = 1 : len\_K

A\_(:,:,k) = A + B \* K\_o\_p(k,:);

end

size\_A\_ = size(A\_);

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение фазовых координат

X(:,1) = X\_0;

time\_X(1) = 0;

for k = 1 : len\_K

X(:, k+1) = X(:, k) + h \* (A\_(:,:,k) \* X(:, k) + B \* K\_pr\_p(k,:) \* q\_pr(:,k) + w\_discrete(:,k));

time\_X(k+1) = time\_X(k) + h;

end

X(:, k+1) = [];

time\_X(k+1) = [];

size\_X = size(X);

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение управления

for k = 1 : len\_K

u(k) = K\_o\_p(k,:) \* X(:,k) + K\_pr\_p(k,:) \* q\_pr(:,k);

end

size\_u = size(u);

% ------------------------------------------------------------------------%

toc

% Построение u(t) и X(t)

figure(5);

plot(time\_X, u, 'r-', 'LineWidth', 2)

title ('u(t)');

xlabel('t')

hl=legend('u(t) - управление',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(6);

plot(time\_X, X(1,:),'r-', time\_X, w\_discrete(1,:), 'LineWidth', 2)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - реальный сигнал','w(t) - возмущающее воздействие',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(7);

plot(time\_X, X(2,:),'r-', time\_X, w\_discrete(2,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - реальный сигнал','w(t) - возмущающее воздействие',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(8);

plot(time\_X, X(3,:),'r-', time\_X, w\_discrete(3,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - реальный сигнал','w(t) - возмущающее воздействие',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(9);

plot(time\_X, X(4,:),'r-', time\_X, w\_discrete(4,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - реальный сигнал','w(t) - возмущающее воздействие',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(10);

plot(time\_X, X(5,:),'r-', time\_X, w\_discrete(5,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - реальный сигнал','w(t) - возмущающее воздействие',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(11);

plot(time\_X, q(1,:), time\_X, q(2,:), time\_X, q(3,:), time\_X, q(4,:), time\_X, q(5,:), 'LineWidth', 2)

title ('q(t)- vector-function');

xlabel('t');

hl=legend('q\_1(t)', 'q\_2(t)', 'q\_3(t)', 'q\_4(t)', 'q\_5(t)');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

### *AKOR\_slegenie\_na\_konech\_interval\_I\_podxod.m*

clc

clear all

close all

poryadok = 5;

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4];

B = [0; 0; 0; 0; 1];

C = [b0 b1 0 0 0];

% Начальные условия

X\_0 = [10; 0; 6; 4; 8;];

Time = 1;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение max значений из файла

load Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение элементов матриц Q и R

r(1) = 100;

q(1) = 1/poryadok \* r(1) \* (U\_max)^2 / (X\_max(1))^2;

for i = 2 : poryadok

q(i) = q(1) \* (X\_max(1))^2 / (X\_max(i))^2;

end

Q = diag(q);

R = diag(r);

% Для изменения коэффициентов

% Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+10;

% Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+8;

% Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+6;

% Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+2;

% Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+12;

Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+8;

Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+7;

Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+0;

Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

R(1,1) = R(1,1);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Задающее воздействие

A\_o = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4];

X\_o\_0 = [12; 10; 14; 8; 16];

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Расширенный вектор состояния и расширенные матрицы A,B,Q

%X\_rassh = [X\_0; X\_o];

NULL\_M1 = zeros(size(A));

A\_rassh = [A NULL\_M1;

NULL\_M1 A\_o];

NULL\_M2 = zeros(length(A(:,1)), 1);

B\_rassh = [B; NULL\_M2];

Q\_rassh = [Q -Q;

-Q Q];

X\_rassh\_0 = [X\_0; X\_o\_0]

% ------------------------------------------------------------------------%

P\_nach = zeros(2\*poryadok, 2\*poryadok);%+ones(poryadok, poryadok);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом обратного интегрирования

P = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A\_rassh,B\_rassh,Q\_rassh,R,Time,2\*poryadok, P\_nach)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение переменных коэффициентов регулятора

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr\_for\_slegenie Time\_R P N\_str

% ------------------------------------------------------------------------%

% % Формирование матриц P11 и P12

PP = P;

for k = 1 : N\_str

P = reshape(PP(k, :), 2\*poryadok, 2\*poryadok);

for i = 1 : poryadok

for j = 1 : poryadok

P11(i,j,k) = P(i,j);

end

end

for i = 1 : poryadok

for j = (poryadok+1) : (2\*poryadok)

P12(i,j-poryadok,k) = P(i,j);

end

end

end

P11(:,:,k)

P12(:,:,k)

% ------------------------------------------------------------------------%

for k = 1 : N\_str

K\_o(k, :) = -inv(R) \* B' \* P11(:,:,k);

K\_pr(k, :) = -inv(R) \* B' \* P12(:,:,k);

end

% Формирование вектора коэффициентов регулятора

% в прямом порядке

size(K\_o)

size(K\_pr)

i = 1;

len\_K = length(K\_o(:,1))

for j = len\_K : -1 : 1

K\_o\_p(i,:) = K\_o(j,:)

K\_pr\_p(i,:) = K\_pr(j,:);

i = i + 1;

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика переменных коэффициентов регулятора обратной связи

% в прямом времени

figure(2)

plot(Time\_R,K\_o(:,1),'-',Time\_R,K\_o(:,2),'-',Time\_R,K\_o(:,3),'-',...

Time\_R,K\_o(:,4),'-',Time\_R,K\_o(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты обратной связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_о\_с','k\_2\_о\_с','k\_3\_о\_с','k\_4\_о\_с','k\_5\_о\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика переменных коэффициентов регулятора прямой связи

% в прямом времени

figure(3)

plot(Time\_R,K\_pr(:,1),'-',Time\_R,K\_pr(:,2),'-',Time\_R,K\_pr(:,3),'-',...

Time\_R,K\_pr(:,4),'-',Time\_R,K\_pr(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты прямой связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_п\_с','k\_2\_п\_с','k\_3\_п\_с','k\_4\_п\_с','k\_5\_п\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение отслеживаемого сигнала

X\_o(:,1) = X\_o\_0;

h = 0.01;

for k = 1 : len\_K

X\_o(:, k+1) = X\_o(:, k) + h \* A\_o \* X\_o(:, k);

end

X\_o(:, k+1) = [];

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

for k = 1 : len\_K

A\_(:,:,k) = A + B \* K\_o\_p(k,:);

end

size(A\_)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение фазовых координат

X(:,1) = X\_0;

time\_X(1) = 0;

for k = 1 : len\_K

X(:, k+1) = X(:, k) + h \* (A\_(:,:,k) \* X(:, k) + B \* K\_pr\_p(k,:) \* X\_o(:,k));

time\_X(k+1) = time\_X(k) + h;

end

X(:, k+1) = [];

time\_X(k+1) = [];

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение управления

for k = 1 : len\_K

u(k) = K\_o\_p(k,:) \* X(:,k) + K\_pr\_p(k,:) \* X\_o(:,k);

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение u(t) и X(t)

figure(4);

plot(time\_X, u, 'r-', 'LineWidth', 2)

title ('u(t)');

xlabel('t')

hl=legend('u(t) - управление',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(5);

plot(time\_X, X(1,:),'r-', time\_X, X\_o(1,:), 'LineWidth', 2)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(6);

plot(time\_X, X(2,:),'r-', time\_X, X\_o(2,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(7);

plot(time\_X, X(3,:),'r-', time\_X, X\_o(3,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(8);

plot(time\_X, X(4,:),'r-', time\_X, X\_o(4,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(9);

plot(time\_X, X(5,:),'r-', time\_X, X\_o(5,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

### *AKOR\_slegenie\_na\_konech\_interval\_II\_podxod.m*

clc

clear all

close all

poryadok = 5;

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4];

B = [0; 0; 0; 0; 1];

C = [b0 b1 0 0 0];

% Начальные условия

X\_0 = [10; 0; 6; 4; 8];

Time = 45;

h = 0.01;

H = 0.8;

% ------------------------------------------------------------------------%

tic

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение max значений из файла

load Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение элементов матриц Q и R

r(1) = 100;

q(1) = 1/poryadok \* r(1) \* (U\_max)^2 / (X\_max(1))^2;

for i = 2 : poryadok

q(i) = q(1) \* (X\_max(1))^2 / (X\_max(i))^2;

end

Q = diag(q);

R = diag(r);

% Для изменения коэффициентов

% Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+12;

% Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+8;

% Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+7;

% Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+0;

% Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

R(1,1) = R(1,1);

% ------------------------------------------------------------------------%

P\_nach = zeros(poryadok, poryadok);%+ones(poryadok, poryadok);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом обратного интегрирования

P = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A,B,Q,R,Time,poryadok, P\_nach);

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr\_for\_slegenie Time\_R P N\_str

PP = P;

for k = 1 : N\_str

P1 = reshape(PP(k, :), poryadok, poryadok);

for i = 1 : poryadok

for j = 1 : poryadok

P2(i,j,k) = P1(i,j);

end

end

end

size\_P = size(P2)

% ------------------------------------------------------------------------%

tic

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение дискретных значений задающего воздействия в обратном времени

% для нахождения вспомогательной функции q(t)

Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers\_Modern(h, 0, Time);

% ------------------------------------------------------------------------%

load Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers X\_o\_discrete\_rev

% ------------------------------------------------------------------------%

size(X\_o\_discrete\_rev);

% Нахождение q(t)

for i = 1 : poryadok

qq = -P\_nach(:,:,1) \* X\_o\_discrete\_rev(i,1);

q(i,1) = qq(i,1);

end

% Интегрирование q(t) в обратном времени

for k = 1 : N\_str

q(:, k+1) = q(:, k) - h \* ((P2(:,:,k)\*B\*inv(R)\*B'-A') \* q(:, k) + Q\*X\_o\_discrete\_rev(:,k));

end

q(:, k+1) = [];

size\_q = size(q)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение переменных коэффициентов регулятора

for k = 1 : N\_str

K\_o(k, :) = -inv(R) \* B' \* P2(:,:,k);

K\_pr(k, :) = -inv(R) \* B';

end

% Формирование вектора коэффициентов регулятора, значений задающего

% воздействия, значений вспомогательной функции в прямом порядке

size(K\_o);

size(K\_pr);

K\_pr\_p = K\_pr;

i = 1;

len\_K = length(K\_o(:,1));

for j = len\_K : -1 : 1

K\_o\_p(i,:) = K\_o(j,:);

X\_o\_discrete(:,i) = X\_o\_discrete\_rev(:,j);

q\_pr(:, i) = q(:, j);

i = i + 1;

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика переменных коэффициентов регулятора обратной связи

% в прямом времени

toc

figure(3)

plot(Time\_R,K\_o(:,1),'-',Time\_R,K\_o(:,2),'-',Time\_R,K\_o(:,3),'-',...

Time\_R,K\_o(:,4),'-',Time\_R,K\_o(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты обратной связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_о\_с','k\_2\_о\_с','k\_3\_о\_с','k\_4\_о\_с','k\_5\_о\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика переменных коэффициентов регулятора прямой связи

% в прямом времени

figure(4)

plot(Time\_R,K\_pr(:,1),'-',Time\_R,K\_pr(:,2),'-',Time\_R,K\_pr(:,3),'-',...

Time\_R,K\_pr(:,4),'-',Time\_R,K\_pr(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты прямой связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_п\_с','k\_2\_п\_с','k\_3\_п\_с','k\_4\_п\_с','k\_5\_п\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

tic

% ------------------------------------------------------------------------%

for k = 1 : len\_K

A\_(:,:,k) = A + B \* K\_o\_p(k,:);

end

size\_A\_ = size(A\_)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение фазовых координат

X(:,1) = X\_0;

time\_X(1) = 0;

for k = 1 : len\_K

X(:, k+1) = X(:, k) + h \* (A\_(:,:,k) \* X(:, k) + B \* K\_pr\_p(k,:) \* q\_pr(:,k));

time\_X(k+1) = time\_X(k) + h;

end

X(:, k+1) = [];

time\_X(k+1) = [];

size\_X = size(X)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение управления

for k = 1 : len\_K

u(k) = K\_o\_p(k,:) \* X(:,k) + K\_pr\_p(k,:) \* q\_pr(:,k);

end

size\_u = size(u)

% ------------------------------------------------------------------------%

toc

% Построение u(t) и X(t)

figure(5);

plot(time\_X, u, 'r-', 'LineWidth', 2)

title ('u(t)');

xlabel('t')

hl=legend('u(t) - управление',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(6);

plot(time\_X, X(1,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(1,:), time\_X, X\_o\_discrete(1,:)-0.8,'LineWidth', 2)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон', 'уровень',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(7);

plot(time\_X, X(2,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(2,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(8);

plot(time\_X, X(3,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(3,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(9);

plot(time\_X, X(4,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(4,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(10);

plot(time\_X, X(5,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(5,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

### *AKOR\_slegenie\_so\_skolz\_intervalami\_Modern.m*

function AKOR\_slegenie\_so\_skolz\_intervalami\_Modern

clc

clear all

close all

poryadok = 5;

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4];

B = [0; 0; 0; 0; 1];

C = [b0 b1 0 0 0];

% Начальные условия

X\_0 = [10; 0; 6; 4; 8];

Time = 45;

Kolvo\_intervalov = 3;

h = 0.01;

H = 0.8;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение max значений из файла

load Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение элементов матриц Q и R

r(1) = 100;

q(1) = 1/poryadok \* r(1) \* (U\_max)^2 / (X\_max(1))^2;

for i = 2 : poryadok

q(i) = q(1) \* (X\_max(1))^2 / (X\_max(i))^2;

end

Q = diag(q);

R = diag(r);

% Для изменения коэффициентов

% Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+13;

% Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+10;

% Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+8;

% Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+5;

% Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

R(1,1) = R(1,1);

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------Скользящие интервалы----------------------------------%

shag = Time/Kolvo\_intervalov;

Time1 = shag

Time2 = 2\*shag

Time3 = Time

% ------------------------------------------------------------------------%

P\_nach = zeros(poryadok, poryadok);%+ones(poryadok, poryadok);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом обратного интегрирования

P = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A,B,Q,R,Time1,poryadok, P\_nach);

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr\_for\_slegenie Time\_R P N\_str

PP = P;

for k = 1 : N\_str

P1 = reshape(PP(k, :), poryadok, poryadok);

for i = 1 : poryadok

for j = 1 : poryadok

P2(i,j,k) = P1(i,j);

end

end

end

size\_P = size(P2)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение переменных коэффициентов регулятора

for k = 1 : N\_str

K\_o(k, :) = -inv(R) \* B' \* P2(:,:,k);

K\_pr(k, :) = -inv(R) \* B';

end

% ------------------------------------------------------------------------%

tic

% 1 интервал

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Solve\_Interval(P\_nach, N\_str, h, P2, A,B,Q,R, 0, Time1, X\_0, poryadok, K\_o, K\_pr);

load Solve\_Interval time\_X X u X\_o\_discrete

time\_X1 = time\_X;

X1 = X;

u1 = u;

X\_o\_discrete1 = X\_o\_discrete;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% 2 интервал

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Solve\_Interval(P\_nach, N\_str, h, P2, A,B,Q,R, Time1, Time2, X1(:,N\_str), poryadok, K\_o, K\_pr);

load Solve\_Interval time\_X X u X\_o\_discrete

time\_X2 = time\_X;

X2 = X;

u2 = u;

X\_o\_discrete2 = X\_o\_discrete;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% 3 интервал

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Solve\_Interval(P\_nach, N\_str, h, P2, A,B,Q,R, Time2, Time3, X2(:,N\_str), poryadok, K\_o, K\_pr);

load Solve\_Interval time\_X X u X\_o\_discrete

time\_X3 = time\_X;

X3 = X;

u3 = u;

X\_o\_discrete3 = X\_o\_discrete;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

toc

% ------------------------------------------------------------------------%

% Объединение интервалов

time\_X = [time\_X1 time\_X2 time\_X3];

u = [u1 u2 u3];

X = [X1 X2 X3];

X\_o\_discrete = [X\_o\_discrete1 X\_o\_discrete2 X\_o\_discrete3];

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение u(t) и X(t)

figure(3);

plot(time\_X, u, 'r-','LineWidth', 2);

title ('u(t)');

xlabel('t')

hl=legend('u(t) - управление',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(4);

plot(time\_X, X(1,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(1,:), time\_X, X\_o\_discrete(1,:)-0.8,'LineWidth', 2)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон', 'уровень',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(5);

plot(time\_X, X(2,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(2,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(6);

plot(time\_X, X(3,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(3,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(7);

plot(time\_X, X(4,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(4,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(8);

plot(time\_X, X(5,:),'r-', time\_X, X\_o\_discrete(5,:), 'LineWidth', 2)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t');

hl=legend('X(t) - слежение','X\_o(t) - эталон',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

function Solve\_Interval(P\_nach, N\_str, h, P2, A,B,Q,R, T\_nach, T\_konech, X\_0, poryadok, K\_o, K\_pr)

Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers\_Modern(h, T\_nach, T\_konech);

load Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers X\_o\_discrete\_rev

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение q(t)

for i = 1 : poryadok

qq = -P\_nach(:,:,1) \* X\_o\_discrete\_rev(i,1);

q(i,1) = qq(i,1);

end

% Интегрирование q(t) в обратном времени

for k = 1 : N\_str

q(:, k+1) = q(:, k) - h \* ((P2(:,:,k)\*B\*inv(R)\*B'-A') \* q(:, k) + Q\*X\_o\_discrete\_rev(:,k));

end

q(:, k+1) = [];

size\_q = size(q)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Формирование вектора коэффициентов регулятора, значений задающего

% воздействия, значений вспомогательной функции в прямом порядке

K\_pr\_p = K\_pr;

i = 1;

for j = N\_str : -1 : 1

K\_o\_p(i,:) = K\_o(j,:);

X\_o\_discrete(:,i) = X\_o\_discrete\_rev(:,j);

q\_pr(:, i) = q(:, j);

i = i + 1;

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

for k = 1 : N\_str

A\_(:,:,k) = A + B \* K\_o\_p(k,:);

end

size\_A\_ = size(A\_)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение фазовых координат

X(:,1) = X\_0;

time\_X(1) = T\_nach;

for k = 1 : N\_str

X(:, k+1) = X(:, k) + h \* (A\_(:,:,k) \* X(:, k) + B \* K\_pr\_p(k,:) \* q\_pr(:,k));

time\_X(k+1) = time\_X(k) + h;

end

X(:, k+1) = [];

time\_X(k+1) = [];

size\_X = size(X)

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение управления

for k = 1 : N\_str

u(k) = K\_o\_p(k,:) \* X(:,k) + K\_pr\_p(k,:) \* q\_pr(:,k);

end

size\_u = size(u)

save Solve\_Interval time\_X X u X\_o\_discrete

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

### *Sintez\_nablyud\_polnogo\_poryadka.m*

clc

clear all

close all

poryadok = 5;

% ------------------------------------------------------------------------%

b\_0 = 5;

b\_1 = 9;

% Укороченная система данного объекта

a\_5 = 0.1153;

a\_4 = 1.78;

a\_3 = 3.92;

a\_2 = 14.42;

a\_1 = 8.583;

a\_0 = 0;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Приведение системы

b0 = b\_0/a\_5;

b1 = b\_1/a\_5;

a5 = a\_5/a\_5;

a4 = a\_4/a\_5;

a3 = a\_3/a\_5;

a2 = a\_2/a\_5;

a1 = a\_1/a\_5;

a0 = a\_0/a\_5;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Представление системы в пространстве состояний

A = [0 1 0 0 0;

0 0 1 0 0;

0 0 0 1 0;

0 0 0 0 1;

-a0 -a1 -a2 -a3 -a4]

B = [0; 0; 0; 0; 1]

C = [b0 b1 0 0 0]

% Начальные условия

X\_0 = [10; 0; 6; 4; 8]

Time = 10;

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Получение max значений из файла

load Sostoyaniya X\_max U\_max

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение элементов матриц Q и R

r(1) = 100;

q(1) = 1/poryadok \* r(1) \* (U\_max)^2 / (X\_max(1))^2;

for i = 2 : poryadok

q(i) = q(1) \* (X\_max(1))^2 / (X\_max(i))^2;

end

Q = diag(q)

R = diag(r)

% Для изменения коэффициентов

Q(1,1) = Q(1,1);

Q(2,2) = Q(2,2);

Q(3,3) = Q(3,3);

Q(4,4) = Q(4,4);

Q(5,5) = Q(5,5);

% Q(1,1) = Q(1,1)\*1e+12;

% Q(2,2) = Q(2,2)\*1e+8;

% Q(3,3) = Q(3,3)\*1e+7;

% Q(4,4) = Q(4,4)\*1e+0;

% Q(5,5) = Q(5,5)\*1e+2;

R(1,1) = R(1,1);

% ------------------------------------------------------------------------%

P\_nach = zeros(poryadok, poryadok);%+ones(poryadok, poryadok);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Решение уравнения Риккати методом обратного интегрирования

P1 = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A,B,Q,R,Time,poryadok, P\_nach)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение графика коэффициентов регулятора

load Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr Time\_R P N\_str

PP = P;

for i = 1 : N\_str

P = reshape(PP(i, :), poryadok, poryadok);

K(i, :) = -inv(R)\*B'\*P;

end

figure(2)

plot(Time\_R,K(:,1),'-',Time\_R,K(:,2),'-',Time\_R,K(:,3),'-',Time\_R,K(:,4),'-',Time\_R,K(:,5),'-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Коэффициенты обратной связи в прямом времени');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('k\_1\_о\_с','k\_2\_о\_с','k\_3\_о\_с','k\_4\_о\_с','k\_5\_о\_с',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение коэффициентов регулятора

disp('Коэффициенты регулятора:')

K = -inv(R) \* B' \* P1

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

A\_ = A + B \* K;

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение фазовых координат

X(:,1) = X\_0;

h = 0.01;

time\_X(1) = 0;

for k = 1 : N\_str

X(:, k+1) = X(:, k) + h \* A\_ \* X(:, k);

time\_X(k+1) = time\_X(k) + h;

end

X(:, k+1) = [];

time\_X(k+1) = [];

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение управления

for k = 1 : N\_str

u(k) = K \* X(:,k);

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение коэффициентов наблюдателя

M\_n = [C' A'\*C' (A^2)'\*C' (A^3)'\*C' (A^4)'\*C']

rank\_M\_n = rank(M\_n)

A\_r = A\_

disp('Спектр матрицы регулятора:')

spektr\_A\_r = eig(A\_r)

koeff = 1;

min\_lyamda\_A\_r = min(real(spektr\_A\_r))

% lyamda = min\_lyamda\_A\_r \* koeff;

lyamda = -5;

disp('Спектр матрицы наблюдателя эталонный:')

lyamda\_A\_n = [lyamda - koeff \* 4; lyamda - koeff \* 3; lyamda - koeff \* 2;...

lyamda - koeff; lyamda]'

syms k\_n1 k\_n2 k\_n3 k\_n4 k\_n5 lyam

K\_n = [k\_n1; k\_n2; k\_n3; k\_n4; k\_n5];

Koeff\_poly\_n\_etalon = poly(lyamda\_A\_n)

disp('Характеристический полином наблюдателя эталонный:')

poly\_n\_etalon = poly2sym(Koeff\_poly\_n\_etalon, lyam)

disp('Характеристический полином наблюдателя реальный:')

poly\_n\_real = collect(expand(simplify(det(lyam\*eye(poryadok) - (A - K\_n\*C)))),lyam)

raznost\_poly = collect(poly\_n\_etalon-poly\_n\_real,lyam)

for i = 1 : poryadok

Koeff\_raznost\_poly(i) = subs(diff(raznost\_poly,poryadok-i,lyam)/factorial(poryadok-i),lyam,0);

end

Koeff\_raznost\_poly

[Kn1 Kn2 Kn3 Kn4 Kn5]= solve(Koeff\_raznost\_poly(5), Koeff\_raznost\_poly(4),...

Koeff\_raznost\_poly(3), Koeff\_raznost\_poly(2), Koeff\_raznost\_poly(1), ...

k\_n1, k\_n2, k\_n3, k\_n4, k\_n5)

Kn = [Kn1; Kn2; Kn3; Kn4; Kn5];

Kn = vpa(Kn,50)

% Проверка

Proverka = solve(det(lyam\*eye(poryadok)-(A-Kn\*C)))

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение x и x\_оценочного

X\_ocen\_0 = [0 0 0 0 0]';

A\_rash = [A B\*K;

Kn\*C A-Kn\*C+B\*K]

X\_rash\_0 = [X\_0;X\_ocen\_0]

X\_rash(:,1) = X\_rash\_0;

for k = 1 : N\_str

X\_rash(:,k+1) = X\_rash(:,k) + h \* A\_rash \* X\_rash(:,k);

end

X\_rash(:,k+1) = [];

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Разделение x и x\_оценочного

for i = 1 : poryadok

X\_n(i,:) = X\_rash(i,:);

end

for i = poryadok + 1 : 2\*poryadok

X\_n\_ocen(i - poryadok,:) = X\_rash(i,:);

end

% ------------------------------------------------------------------------%

% ------------------------------------------------------------------------%

% Нахождение управления

for i = 1 : N\_str

u\_n(i) = K \* X\_n\_ocen(:,i);

end

% Построение u(t) и X(t)

figure(3);

plot(time\_X, u, 'r-', time\_X, u\_n, 'b-', 'LineWidth', 2)

title ('u(t)');

xlabel('t')

hl=legend('управление без наблюдателя','управление c наблюдателем');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(4);

plot(time\_X, X(1,:), time\_X, X\_n(1,:), time\_X, X\_n\_ocen(1,:),'LineWidth', 2)

hold on

title ('x\_1(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_1(t) без наблюдателя','x\_1(t) c наблюдателем', 'x\_о\_ц\_е\_н\_1(t)');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(5);

plot(time\_X, X(2,:), time\_X, X\_n(2,:), time\_X, X\_n\_ocen(2,:),'LineWidth', 2)

title ('x\_2(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_2(t) без наблюдателя','x\_2(t) c наблюдателем', 'x\_о\_ц\_е\_н\_2(t)');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(6);

plot(time\_X, X(3,:), time\_X, X\_n(3,:), time\_X, X\_n\_ocen(3,:),'LineWidth', 2)

title ('x\_3(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_3(t) без наблюдателя','x\_3(t) c наблюдателем', 'x\_о\_ц\_е\_н\_3(t)');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(7);

plot(time\_X, X(4,:), time\_X, X\_n(4,:), time\_X, X\_n\_ocen(4,:),'LineWidth', 2)

title ('x\_4(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_4(t) без наблюдателя','x\_4(t) c наблюдателем', 'x\_о\_ц\_е\_н\_4(t)');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

figure(8);

plot(time\_X, X(5,:), time\_X, X\_n(5,:), time\_X, X\_n\_ocen(5,:),'LineWidth', 2)

title ('x\_5(t)');

xlabel('t')

hl=legend('x\_5(t) без наблюдателя','x\_5(t) c наблюдателем', 'x\_о\_ц\_е\_н\_5(t)');

set(hl,'FontName','Courier');

grid on

### *Solve\_Riccati\_Method\_Diag.m*

% ------------------------------------------------------------------------%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Метод диагонализации для решения алгебраического уравнения Риккати

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function P = Solve\_Riccati\_Method\_Diag(A,B,Q,R)

% Расширенная матрица системы

Z = [A B\*inv(R)\*B';

Q -A']

% Нахождение собственных векторов и собственных чисел матрицы Z

[V,D] = eig(Z)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Построение матрицы S

% Индексы столбцов собственных значений Re(lyamda) > 0

Ind\_Re\_plus = find(sum(real(D)) > 0);

% Индексы столбцов собственных значений Re(lyamda) < 0

Ind\_Re\_minus = find(sum(real(D)) < 0);

% Формирование матрицы D в виде Re(lyamda) > 0 -> Re(lyamda) < 0

D1 = sum(D(:, Ind\_Re\_plus));

D2 = sum(D(:, Ind\_Re\_minus));

D = [D1 D2];

% Формирование матрицы S в виде Re(lyamda) > 0 -> Re(lyamda) < 0

S1 = V(:, Ind\_Re\_plus);

S2 = V(:, Ind\_Re\_minus);

S = [S1 S2];

% Поиск столбцов с комплексными корнями в матрице D

Ind\_Complex\_D = find(imag(D) ~= 0);

% Формирование конечной матрицы S

for i = 1 : 2 : length(Ind\_Complex\_D)

S (:, Ind\_Complex\_D(i) + 1) = imag(S(:, Ind\_Complex\_D(i)));

S (:, Ind\_Complex\_D(i)) = real(S(:, Ind\_Complex\_D(i)));

end

S = S

% ------------------------------------------------------------------------%

poryadok = length(A(1,:));

S12 = S(1 : poryadok, poryadok+1 : 2\*poryadok);

S22 = S(poryadok+1 : 2\*poryadok, poryadok+1 : 2\*poryadok);

% ------------------------------------------------------------------------%

% Вычисление матрицы P

P = -S22 \* inv(S12);

### *Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr.m*

% ------------------------------------------------------------------------%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Решение уравнения Риккати интегрированием в обратном времени

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function P = Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr(A,B,Q,R,Time,poryadok, P1)

save For\_Riccati A B Q R poryadok

% Решение дифференциального уравнения Риккати

P1 = reshape(P1, poryadok^2, 1);

[Time\_R, P] = ode45(@Riccati, [Time : -0.01 : 0], P1);

[N\_str, N\_stolb] = size(P);

% Построение полученного решения

figure(1)

for i = 1 : poryadok^2

plot(Time\_R, P(:,i),'-')

hold on

end

% plot(Time\_R,P(:,1),'-',Time\_R,P(:,2),'-',Time\_R,P(:,3),'-',Time\_R,P(:,4),'-',Time\_R,P(:,5),'-',Time\_R,P(:,6),'-',...

% Time\_R,P(:,7),'-',Time\_R,P(:,8),'-',Time\_R,P(:,9),'-',Time\_R,P(:,10),'-',Time\_R,P(:,11),'-',Time\_R,P(:,12),'-',...

% Time\_R,P(:,13),'-',Time\_R,P(:,14),'-',Time\_R,P(:,15),'-',Time\_R,P(:,16),'-',Time\_R,P(:,17),'-',Time\_R,P(:,18),'-',...

% Time\_R,P(:,19),'-',Time\_R,P(:,20),'-',Time\_R,P(:,21),'-',Time\_R,P(:,22),'-',Time\_R,P(:,23),'-',Time\_R,P(:,24),'-',...

% Time\_R,P(:,25),'-', 'lineWidth', 2);

grid on;

tit1 = title('Решения уравнения Риккати');

set(tit1,'FontName','Courier');

xlabel('t');

% legend('p\_1','p\_2','p\_3','p\_4','p\_5','p\_6','p\_7','p\_8','p\_9','p\_1\_0','p\_1\_1','p\_1\_2','p\_1\_3','p\_1\_4','p\_1\_5','p\_1\_6',...

% 'p\_1\_7','p\_1\_8','p\_1\_9','p\_2\_0','p\_2\_1','p\_2\_2','p\_2\_3','p\_2\_4','p\_2\_5');

save Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr Time\_R P N\_str

save Solve\_Riccati\_Method\_Revers\_Integr\_for\_slegenie Time\_R P N\_str

P = reshape(P(N\_str,:), poryadok, poryadok);

function dP = Riccati(Time,P)

load For\_Riccati A B Q R poryadok

P = reshape(P, poryadok, poryadok);

% Дифференциальное уравнение Риккати

dP = -P\*A - A'\*P + P\*B\*inv(R)\*B'\*P - Q;

dP = reshape(dP, poryadok^2, 1);

### *Vozmyshyayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers.m*

% Получение дискретных значений возмущающего воздействия в обратном времени

% для нахождения вспомогательной функции q(t)

function Vozmyshyayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers(h, T\_nach, T\_konech)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Возмущающее воздействие

A = 1;

w = 4\*pi;

k = 1;

RETURN = 1;

while RETURN == 1

disp('Возмущающее воздействие - const: 1')

disp('Возмущающее воздействие - A\*sin(w\*t): 2')

reply = input('Выберете возмущающее воздействие [1 или 2]: ', 's');

switch reply

case '1'

disp('Возмущающее воздействие - const')

for t = T\_konech: -h : T\_nach

w\_discrete\_rev(:, k) = [A + 0 \* t; 0; 0; 0; 0];

k = k + 1;

end

RETURN = 2;

case '2'

disp('Возмущающее воздействие - A\*sin(w\*t)')

for t = T\_konech: -h : T\_nach

w\_discrete\_rev(:, k) = [A \* sin(w \* t); 0; 0; 0; 0];

k = k + 1;

end

RETURN = 2;

otherwise

disp('Неизвестное воздействие.')

RETURN = 1;

end

end

figure(2)

t = T\_konech : -h : T\_nach;

plot(t, w\_discrete\_rev(1,:), 'r-', 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Возмущающее воздействие');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('Возмущающее воздействие',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

save Vozmyshyayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers w\_discrete\_rev

% ------------------------------------------------------------------------%

### *Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers\_Modern.m*

% Получение дискретных значений задающего воздействия в обратном времени

% для нахождения вспомогательной функции q(t)

function Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers\_Modern(h, T\_nach, T\_konech)

% ------------------------------------------------------------------------%

% Задающее воздействие

alfa = 0.2;

beta = 10;

H = 0.8;

k = 1;

for t = T\_konech: -h : T\_nach

X\_o\_1 = 10\*exp(-1/5\*t)\*t+4/5;

X\_o\_2 = -2\*exp(-1/5\*t)\*t+10\*exp(-1/5\*t);

X\_o\_3 = 2/5\*exp(-1/5\*t)\*t-4\*exp(-1/5\*t);

X\_o\_4 = -2/25\*exp(-1/5\*t)\*t+6/5\*exp(-1/5\*t);

X\_o\_5 = 2/125\*exp(-1/5\*t)\*t-8/25\*exp(-1/5\*t);

X\_o\_discrete\_rev(:, k) = [X\_o\_1; X\_o\_2; X\_o\_3; X\_o\_4; X\_o\_5];

k = k + 1;

end

figure(2)

t = T\_konech : -h : T\_nach;

plot(t, X\_o\_discrete\_rev(1,:), 'r-', t, X\_o\_discrete\_rev(1,:)-H, 'LineWidth', 2);

xlabel('t')

tit1 = title('Задающее воздействие');

set(tit1,'FontName','Courier');

hl=legend('Отслеживание зад. возд. на H ','Задающее воздействие',0);

set(hl,'FontName','Courier');

grid on;

save Zadayushee\_Vozdeistvie\_Discrete\_Revers X\_o\_discrete\_rev

% ------------------------------------------------------------------------%