

Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»  
Факультет математики, информационных и авиационных технологий

Ю.В. Цыганова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«Современные методы параметрического оценивания  
в условиях неопределенности»**

Для студентов магистратуры по специальности 02.04.03 «Математическое  
обеспечение и администрирование информационных систем»  
очной формы обучения

Ульяновск, 2019

Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Современные методы параметрического оценивания в условиях неопределенности» / составитель: Ю.В. Цыганова. – Ульяновск: УлГУ, 2019. Настоящие методические указания предназначены для студентов магистратуры по специальности 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем» очной формы обучения. В работе приведены литература по дисциплине, основные темы курса, контрольные вопросы и задания в рамках каждой темы. Рекомендуется студентам очной формы обучения при подготовке к экзамену по данной дисциплине.

Рекомендованы к введению в образовательный процесс Ученым советом факультета математики, информационных и авиационных технологий УлГУ (протокол № 2/19 от 19 марта 2019 г.).

## Содержание

1. Литература для изучения дисциплины .....	4
2. Методические указания .....	5
2.1. Раздел 1. Устойчивые алгоритмы линейной фильтрации.....	5
2.2. Раздел 2. Современные ортогонализированные блочные алгоритмы.....	8
3. Примеры программного кода алгоритмов на языке Scilab.....	11

## 1. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### **основная**

1. Семушин И.В. “Вычислительные методы алгебры и оценивания: учебное пособие”. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 366 с.

### **дополнительная**

2. Семушин И.В., Цыганова Ю.В. “Стохастические модели и оценки”. Лабораторный практикум по курсу “Теория оптимального управления” – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 42 с.

3. Семушин И.В., Цыганова Ю.В., Куликова М.В., Кондратьев А.Е., Фатьянова О.А. “Адаптивные системы фильтрации, управления и обнаружения” / под. ред. проф. И.В. Семушина. – Ульяновск: УлГУ, 2011. – 298 с.

3. Семушин, И. В. Стохастические модели, оценки и управление. Раздел: Детерминистские модели динамических систем: метод. пособие / И.В. Семушин, Ю. В. Цыганова ; УлГУ. – Ульяновск : УлГУ, 2007.

### **учебно-методическая**

4. Семушин И.В., Цыганова Ю.В., Афанасова А.И. “Методы вычислений с использованием МАТЛАБ” – Ульяновск, УлГУ, 2014. – 108 с.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Основными видами самостоятельной работы при изучении дисциплины «Современные методы параметрического оценивания в условиях неопределенности» являются:

- подготовка к практическим занятиям через проработку лекционного материала по соответствующей теме;
- изучение тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно рабочей программе дисциплины;
- систематизация знаний путем проработки пройденных лекционных материалов по конспекту лекций, учебникам и пособиям на основании перечня экзаменационных вопросов, контрольных вопросов по материалам лекционного курса и базовых вопросов по результатам освоения тем, вынесенных на семинарские занятия.
- подготовка к текущему и итоговому контролю;
- самостоятельное изучение вопросов по заранее приведенным темам.

Текущий контроль проводится путем индивидуального опроса студентов по результатам освоения тем, вынесенных на практические и лабораторные занятия (по материалам, изложенным в лекционном курсе).

### 2.1. РАЗДЕЛ 1. Устойчивые алгоритмы линейной фильтрации.

#### Тема 1. Фильтрация Калмана в историческом аспекте.

##### Рекомендации по изучению темы:

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 270-272. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

##### Контрольные вопросы по теме:

1. Какие проблемы возникают при практической реализации алгоритма Калмана?
2. В чем заключается идея квадратно-корневого алгоритма.
3. Кто впервые предложил использовать методы вычисления матричных квадратных корней для повышения численной устойчивости фильтра Калмана?
4. Назовите методы ортогонализации матриц.
5. Перечислите области науки и техники, в которых применяются методы калмановской фильтрации.

#### Тема 2. Стандартный фильтр Калмана. Последовательная форма фильтра Калмана.

##### Рекомендации по изучению темы:

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 272-274. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите алгоритм стандартной формы дискретного фильтра Калмана.
2. Запрограммируйте алгоритм на языке Scilab.
3. Решите задачу 1 из учебного пособия [2].

**Тема 3. Стабилизированный фильтр Калмана-Джозефа.****Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 274-276. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите алгоритм стабилизированного фильтра Калмана-Джозефа.
2. Запрограммируйте алгоритм на языке Scilab.
3. Решите задачу 2 из учебного пособия [2].

**Тема 4. Квадратно-корневые алгоритмы Поттера.****Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 276-279. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите квадратно-корневой алгоритм Поттера.
2. Запрограммируйте алгоритм на языке Scilab.
3. Выполните упражнения 13.2 и 13.1 на стр. 279 из учебного пособия [1].

**Тема 5. Квадратно-корневой фильтр Карлсона.****Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 285-286. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите квадратно-корневой алгоритм Карлсона.
2. Запрограммируйте алгоритм на языке Scilab.
3. Выполните упражнение 13.4 на стр. 285 из учебного пособия [1].

**Тема 6. Факторизованные алгоритмы Бирмана.****Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 279-285. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите  $LL^T$ -алгоритм Бирмана.
2. Запрограммируйте алгоритм на языке Scilab.
3. Решите задачу 3 из учебного пособия [2].

### **Тема 7. Редуцированные фильтры Бар-Ицхака-Медана.**

#### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 287-293. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

#### **Контрольные задания по теме:**

1. Запишите алгоритм Бар-Ицхака.
2. Запрограммируйте алгоритм на языке Scilab.
3. Решите задачу 4 из учебного пособия [2].

### **Тема 8. Задача сопровождения судна на траектории.**

#### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 293-300. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

#### **Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения дискретной линеаризованной модели сопровождения судна на траектории.
2. Постройте компьютерную модель на языке Scilab.
3. Запрограммируйте расширенный фильтр Калмана на языке Scilab.
4. С помощью компьютерной модели и алгоритма расширенного фильтра Калмана вычислите оценки параметров движения судна. Постройте графики.

## **2.2. РАЗДЕЛ 2. Современные ортогонализированные блочные алгоритмы**

### **Тема 9. Вычислительные аспекты задачи оценивания.**

#### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [3] на стр. 155-168. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

#### **Контрольные вопросы по теме:**

1. Назовите критерии эффективности различных модификаций дискретного фильтра Калмана.
2. Сравните алгоритмы Калмана, Калмана-Джозефа, Поттера, Карлсона и Бирмана по вычислительной сложности.
3. Сравните алгоритмы Калмана, Калмана-Джозефа, Поттера, Карлсона и Бирмана по вычислительной точности.

### **Тема 10. Блочные алгоритмы в историческом аспекте.**

#### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 316-319. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

#### **Контрольные вопросы по теме:**

1. Постановка задачи оценивания.
2. Основные этапы развития блочных алгоритмов дискретной фильтрации.
3. Ключевые идеи построения блочных алгоритмов.

### **Тема 11. Расширенный квадратно-корневой ковариационный фильтр.**

#### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 320-322. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

#### **Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения расширенного квадратно-корневого ковариационного фильтра.
2. Докажите алгебраическую эквивалентность стандартного алгоритма Калмана и расширенного квадратно-корневого ковариационного фильтра.

### **Тема 12. Расширенный квадратно-корневой информационный фильтр.**

#### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 322-324. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.



**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения расширенного квадратно-корневого информационного фильтра.

2. Докажите алгебраическую эквивалентность информационной формы фильтра Калмана и расширенного квадратно-корневого информационного фильтра.

**Тема 13. Модифицированный квадратно-корневой информационный фильтр.**

**Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 324-325. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения модифицированного квадратно-корневого информационного фильтра.

2. Запрограммируйте алгоритм МККИФ на языке Scilab.

**Тема 14. Комбинированный квадратно-корневой фильтр.**

**Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 326-327. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения комбинированного квадратно-корневого фильтра.

2. Запрограммируйте алгоритм КоККФ на языке Scilab.

**Тема 15. Скаляризованный квадратно-корневой ковариационный фильтр.**

**Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 327-328. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

**Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения скаляризованного квадратно-корневого ковариационного фильтра.

2. Докажите алгебраическую эквивалентность последовательного алгоритма Калмана и скаляризованного квадратно-корневого ковариационного фильтра.

**Тема 16. Скаляризованный квадратно-корневой информационный**

## **фильтр.**

### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 328-329. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

### **Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения скаляризованного квадратно-корневого информационного фильтра.

2. Докажите алгебраическую эквивалентность последовательного информационного алгоритма и скаляризованного квадратно-корневого информационного фильтра.

## **Тема 17. Скаляризованный модифицированный квадратно-корневой информационный фильтр.**

### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 329. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

### **Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения скаляризованного модифицированного квадратно-корневого информационный фильтра.

2. Запрограммируйте алгоритм СМККИФ на языке Scilab.

## **Тема 18. Скаляризованный комбинированный квадратно-корневой фильтр.**

### **Рекомендации по изучению темы:**

Изучите материал, содержащийся в [1] на стр. 329-330. Напишите конспект и составьте терминологический словарь.

### **Контрольные задания по теме:**

1. Запишите уравнения скаляризованного комбинированного квадратно-корневого фильтра.

2. Запрограммируйте алгоритм СКоККФ на языке Scilab.

### 3. Примеры программного кода алгоритмов на языке Scilab

#### Пример программного кода стандартного фильтра Калмана

```
// CKF-TM - Conventional Time and Measurement Update Kalman Filter
// Time Update Part
// Created by Julia V. Tsyganova
// Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia
// Input:
// F, B, G, Q - system matrices
// x - Updated state estimate
// P - Updated error covariance
// u - Control input
// Output:
// x - Predicted state estimate
// P - Predicted error covariance
//
function [x, P] = CKF_TM_predict(F, B, G, Q, x, P)
    x = F*x+B*u;
    P = F*P*F' + G*Q*G';
end
```

```
// CKF-TM - Conventional Time and Measurement Update Kalman Filter
// Measurement Update Part
// Created by Julia V. Tsyganova
// Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia
// Input:
// H,R - system matrices
// x - Predicted state estimate
// P - Predicted error covariance
// z - measurement vector
// Output:
// x - Updated (Filtered) state estimate
// P - Updated (Filtered) error covariance
// e - vector of residuals
// Re - residual covariance matrix
//
function [x, P, e, Re] = CKF_TM_update(H, R, z, x, P)
    e = z - H*x; // residual
    Re = R + H*P*H'; // cov_residual
    K = P*H'/Re; % Kalman gain
    x = x + K*e; // x - Filtered state estimate
    P = P-K*H*P; // P - Filtered error covariance
    // P = P - Kalman_gain*cov_residual*Kalman_gain';
end
```

## Пример программного кода квадратно-корневого ковариационного фильтра Калмана

```
// SRCF-TM - Time and Measurement Update SRCF
// Two-stage filter
// Time Update Part
// Created by Julia V. Tsyganova
// Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia
// Input:
// F, B, G, Q - system matrices
// S_Q - Lower square-root factor of the model noise covariance
// u - control input
// x - Updated (filtered) state estimate
// S_P - Lower square-root factor of the updated (filtered) error
// covariance
// Output:
// x - predicted state estimate
// S_P - predicted Lower square-root factor of the updated error
// covariance
//
// PooGyeon Park, Kailath, T.
// New square-root algorithms for Kalman filtering
// IEEE Transactions on Automatic Control,
// (Volume:40, Issue: 5) Pp. 895 - 899
// 10.1109/9.384225
//
function [x, S_P] = SRCF_TM_predict(F, B, G, S_Q, u, x, S_P)
    n = size(F,1);
// Build the pre-array
    A = [(F*S_P)';
         (G*S_Q)'];
// Calculate QA=R and find the post-array
    RR = qr(A);
// Extract results from the post-array
    S_P = RR(1:n,1:n)';
// Calculate the state estimate
    x = F*x + B*u ; // x - Predicted state estimate
end
```

```
// SRCF-TM - Time and Measurement Update SRCF
// Two-stage filter
// Measurement Update Part
// Created by Julia V. Tsyganova
// Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia
// Input:
// F, H, R - system matrices
// S_R - Lower square-root factor of the measurement noise covariance
// x - Predicted state estimate
// S_P - Lower square-root factor of the predicted error covariance
// z - measurement vector
// Output:
// x - Updated (filtered) state estimate
// S_P - Updated (filtered) Lower square-root factor of the updated
// error covariance
//
// PooGyeon Park, Kailath, T.
```

```

// New square-root algorithms for Kalman filtering
// IEEE Transactions on Automatic Control,
// (Volume:40, Issue: 5) Pp. 895 - 899
// 10.1109/9.384225
//
function [x, S_P, bar_e, S_Re] = SRCF_TM_update(H, S_R, z, x, S_P)
    m = size(S_R,1);
    n = size(F,1);
// Build the pre-array
    A = [S_R'      zeros(m,n);
         S_P'*H'  S_P'];
// Calculate QA=R and find the post-array
    RR=qr(A);
// Extract results from the post-array
    S_Re = RR(1:m,1:m)';
    S_P = RR(m+1:m+n,m+1:m+n)';
    bar_Kp = RR(1:m,m+1:m+n)';
// Calculate the state estimate
    bar_e = S_Re\(z-H*x);
    x = x + bar_Kp*bar_e; // x - Filtered state estimate
end

```