

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

Кафедра радиотехнических систем

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

«Цифровая обработка сигналов»

Специальность

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Направление подготовки

«Радиоэлектронные системы передачи информации»

«Радиосистемы и комплексы управления»

«Радионавигационные системы и комплексы»

«Радиоэлектронная борьба»

Уровень подготовки

специалитет

Программа подготовки

специалитет

Квалификация выпускника – инженер

Форма обучения – очная

Рязань 2022

Работа студента на лекции

В процессе лекционного занятия студент должен вести конспект и отражать в нем принципиально важные определения, формулы, структурные схемы, выводы, результаты анализа основных положений.

При ведении конспекта рекомендуется использовать нумерацию разделов, глав, формул. Рекомендуется каждый раздел завершать изложением своего понимания, комментарием. Непонятные места можно сопровождать вопросами, с которыми следует обратиться к преподавателю после лекции.

Подготовка к практическим занятиям

Практические занятия связаны с решением задач и закрепляют освоение лекционного материала. В процессе решения задач студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать физические законы, лежащие в основе радиотехнических систем и основные формулы. В процессе решения задач вырабатываются навыки вычислений, работы со справочной литературой.

В часы самостоятельной работы студенты решают задачи, которыми им предложены по основным темам дисциплины.

- 1) внимательно прочитать условие задачи;
- 2) посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (если что-то неясно, следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, посоветоваться с преподавателем);
- 3) записать в сокращенном виде условие задачи и формулы, связывающие соответствующие величины;
- 4) сделать чертёж, если это необходимо;
- 5) провести необходимые расчеты;
- 6) проанализировать полученный ответ, выяснить соответствие размерности полученных физических величин;
- 7) контрольные работы с решением задач сдаются по графику на проверку, при условии выполнения контрольных работ студент допускается к сдаче экзамена.

Подготовка к лабораторным работам

Главные задачи лабораторного практикума следующие:

- 1) экспериментальная проверка физических законов;
- 2) освоение методики измерений и приобретение навыков эксперимента;
- 3) освоение навыков работы с радиотехническими приборами;
- 4) приобретения умения обработки результатов эксперимента.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы необходимо внимательно ознакомиться с методическими указаниями к выполнению лабораторной работы.

Основная часть времени, выделенная на выполнение лабораторной работы, затрачивается на самостоятельную подготовку. Этапу выполнения работы предшествует «допуск к работе». Допускаясь к лабораторной работе, каждый студент должен представить преподавателю «заготовку» отчета, содержащую: оформленный титульный лист (по образцу, имеющемуся в лаборатории), цель работы, приборы и принадлежности, эскиз экспериментального макета, основные закономерности изучаемого явления и расчетные формулы. Чтобы сэкономить время при выполнении работы, рекомендуется заранее подготовить и таблицу для записи результатов измерений. Для этого студенту необходимо разобраться в устройстве установки или макета, порядке проведения экспериментов, а также иметь представление о том, какие расчеты необходимо будет провести.

Выполнение каждой из запланированных работ заканчивается предоставлением отчета. После выполнения лабораторной работы необходимо согласовать полученные результаты с преподавателем. Заключительным этапом является защита лабораторной работы. В процессе защиты студент отвечает на вопросы преподавателя, касающиеся теории изучаемого явления, комментирует полученные в ходе работы результаты. При подготовке к защите лабораторной работы рекомендуется пользоваться дополнительной литературой, список которой приведен в методическом описании, а также конспектом лекций.

Подготовка к сдаче зачета

Зачет – форма промежуточной проверки знаний, умений, навыков, степени освоения дисциплины.

Главная задача зачета состоит в том, чтобы у студента из отдельных сведений и деталей составилось представление об общем и конкретном содержании соответствующей дисциплины. Готовясь к зачету, студент приводит в систему знания, полученные на

лекциях, в лабораториях, на практических занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме.

Студенту на зачете нужно не только знать сведения из тех или иных разделов дисциплины, но и владеть ими практически.

На зачете оцениваются:

- 1) понимание и степень усвоения теории;
- 2) методическая подготовка;
- 3) знание фактического материала;
- 4) знакомство с основной и дополнительно литературой, а также с современными публикациями по данному курсу;
- 5) умение приложить теорию к практике, правильно проводить расчеты и т.д.;
- б) логика, структура и стиль ответа, умение защищать выдвигаемые положения.

Подготовка к зачету не должна ограничиваться прочтением лекционных записей, даже, если они выполнены подробно и аккуратно. Следует избегать механического заучивания. Более надежный и целесообразный путь – это систематизация материала при вдумчивом изучении, понимание формулировок, установлении внутрисубъектных связей.

Подготовку к зачету следует начинать с общего планирования подготовки, с определения объема материала, подлежащего проработке. Необходимо внимательно сверить свои конспекты с программой, чтобы убедиться, все ли разделы отражены в лекциях. Отсутствующие темы законспектировать по учебнику. Второй этап предусматривает системное изучение материала по данному предмету с обязательной записью всех выкладок, выводов, формул. На третьем этапе - этапе закрепления – полезно чередовать углубленное повторение особенно сложных вопросов с беглым

Типовые контрольные задания или иные материалы

Вопросы к промежуточной аттестации (экзамену)

1. Общая структура системы цифровой обработки сигналов
2. Математические модели дискретных сигналов
3. Спектр дискретного сигнала; связь между спектрами дискретного и аналогового сигналов
4. Дискретизация аналоговых сигналов с финитным спектром. Теорема отсчетов. Характеристики идеального фильтра нижних частот.

5. Дискретизация аналоговых сигналов с неограниченным по частоте спектром. Явление подмены частот при дискретизации
6. Квантование сигналов по уровню. Шумы квантования
7. Цифровое кодирование сигналов
8. Методы математического описания линейных дискретных систем во временной области, разностные уравнения. Рекурсивные и нерекурсивные фильтры
9. Импульсная характеристика $h(n)$. Дискретная временная свертка. Цифровые фильтры БИХ- и КИХ-типа.
10. Структурные схемы нерекурсивных и рекурсивных фильтров. Прямая и каноническая формы реализации.
11. Методы математического описания дискретных сигналов на комплексной плоскости. Z-преобразование, основные свойства.
12. Z- и Фурье-образы тестовых последовательностей дискретных систем.
13. Передаточная функция и частотная характеристика дискретной системы. Связь между $H(z)$ и $h(n)$
14. Частотная характеристика дискретной системы, связь между $H(z)$ и $H(j\omega)$. АЧХ и ФЧХ дискретных систем. Нормированная по частоте частотная характеристика. Свойство периодичности.
15. Передаточные функции рекурсивных (БИХ) фильтров. Связь $H(z)$ и структурной схемой рекурсивного фильтра.
16. Нули и полюса передаточной функции, Нуль-полюсная форма передаточной функции рекурсивных фильтров.
17. Передаточные функции рекурсивных (БИХ) фильтров Критерий устойчивости.
18. Частотные характеристики рекурсивных (БИХ) фильтров. Картина нулей и полюсов ЦФ.
19. Параллельная и последовательная (каскадная) формы реализации рекурсивных фильтров
20. БИХ-фильтры 1-го порядка: основные характеристики и свойства (АЧХ, импульсная и переходная характеристики).
21. БИХ-фильтры 2-го порядка: основные характеристики и свойства. (АЧХ, импульсная и переходная характеристики). Характеристики фильтра при действительных и комплексно-сопряженных полюсах.
22. Биквадратный фильтр второго порядка: основные характеристики и свойства.
23. Нерекурсивные (КИХ-) фильтры: основные характеристики и свойства.

24. КИХ-фильтр 1-го порядка: основные характеристики и свойства.
25. КИХ-фильтр 2-го порядка: основные характеристики и свойства.
26. Общая методика синтеза РФ по аналоговому прототипу
27. Метод билинейного преобразования (Простое билинейное преобразование)
28. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Методика синтеза КИХ-фильтров методом весовых функций. D-фактор
29. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Эффект Гиббса
30. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Прямоугольное окно
31. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Треугольное окно
32. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Обобщенное косинусное окно. Семейство косинусных окон.
33. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Весовые функции Кайзера.
34. Синтез нерекурсивных фильтров методом частотной выборки
35. Метод цифровой фильтрации на основе дискретного преобразования Фурье
36. Алгоритм цифровой фильтрации конечных последовательностей на основе дискретного преобразования Фурье
37. Численные методы синтеза цифровых фильтров
38. Синтез оптимальных КИХ-фильтров численным методом, полиномы Чебышева

План практических занятий

1. Дискретные сигналы.
2. Дискретное преобразование Фурье.
3. Дискретные системы.
4. Характеристики и структуры цифровых фильтров

Типовые задачи для практических занятий

Тема 1. «Дискретные сигналы».

- 1.1. Записать математическое выражение дискретного сигнала для заданного аналогового прототипа как:
 - функцию дискретного времени;
 - функцию номера выборки;
 - функцию непрерывного времени.
- 1.2. . Записать математическое выражение типовых дискретных сигналов: для заданного аналогового прототипа как:
 - единичный импульс;
 - единичный скачок;
 - дискретная экспонента;
 - дискретный гармонический сигнал;

- дискретный комплексный гармонический сигнал.
- 1.3. Записать математическое выражение заданного прямоугольного дискретного импульса через:
 - функции единичных импульсов;
 - функции единичного скачка.
- 1.4. Найти Z-преобразование дискретной экспоненты. Показать связь между полюсом z_p на Z-плоскости и графиком дискретной экспоненты.
- 1.5. Найти Z-преобразование затухающей дискретной косинусоиды. Показать связь между полюсами $z_{p1,2}$ на Z-плоскости и графиком дискретной косинусоиды.
- 1.6. Найти спектр типовых дискретных сигналов:
 - единичный импульс;
 - единичный скачок;
 - дискретная экспонента;
 - дискретная комплексная экспонента
 - дискретный гармонический сигнал;
 - дискретный комплексный гармонический сигнал.
- 1.7.. Найти спектр заданного прямоугольно дискретного импульса

Тема 2. «Дискретное преобразование Фурье».

- 2.1. Учитывая условие периодичности дискретного сигнала определить условие периодичности дискретной синусоиды.
- 2.2. Учитывая условие периодичности дискретного сигнала определить условие периодичности дискретной комплексной экспоненциальной последовательности.
- 2.3. Пусть $x(n)$ – N-точечная вещественная последовательность. Доказать, что модуль ее ДПФ будет четной функцией переменной k : $|X(k)|=|X(-k)|$; $|X(k)|=|X(N-k)|$, а аргумент – нечетный: $\arg\{X(k)\} = -\arg\{X(-k)\}$; $\arg\{X(k)\} = -\arg\{X(N-k)\}$.
- 2.4. Пусть $x(n)$ – N-точечная вещественная последовательность, для которой выполняется условие симметрии $x(n)=x(N-n)$. Доказать, что ДПФ также будет вещественным.
- 2.5. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N- четно): $x(n) = \delta(n)$.
- 2.6. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N- четно): $x(n) = \delta(n - n_0), 0 \leq n_0 \leq N - 1$

- 2.7. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно): $x(n) = \begin{cases} 1, & n \text{ - четно,} \\ 0, & n \text{ - нечетно.} \end{cases}$

- 2.8.. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно): $x(n) = \begin{cases} a^n, & 0 \leq n \leq N - 1, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$

- 2.9. .. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно):

$$x(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq \frac{N}{2} - 1, \\ 0, & \frac{N}{2} \leq n \leq N - 1 \end{cases}$$

- 2/10/ .. Найти ДПФ комплексной последовательности:

$$x(n) = \begin{cases} e^{j\omega_0 n}, & 0 \leq n \leq N - 1, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Найти коэффициенты ДПФ этой последовательности для случая

$$\omega_0 = \frac{2\pi k_0}{N}, \text{ где } k_0 \text{ - целое число}$$

- 2.11. Найти ДПФ дискретной последовательности $x(n) = [1, 2, 2, 1]$.

2.12. Найти дискретную последовательность, ДПФ которой $X(k) = \left(4, 2e^{-\frac{j\pi}{4}}, 1, 2e^{\frac{j\pi}{4}}\right)$

Тема 3. «Дискретные системы».

3.1. Используя ДВС вычислить реакцию нерекурсивной линейной дискретной системы (при нулевых начальных условиях) по заданным импульсной характеристике и входном воздействии.

3.2. По заданному разностному уравнению вычислить импульсную характеристику нерекурсивной линейной дискретной системы.

3.3. По заданному разностному уравнению вычислить переходную характеристику нерекурсивной линейной дискретной системы.

3.4. По заданному разностному уравнению вычислить реакцию нерекурсивной линейной дискретной системы на заданное входное воздействие.

3.5. Вычислить импульсную характеристику рекурсивной линейной дискретной системы первого порядка.

3.6. По заданному разностному уравнению вычислить переходную характеристику рекурсивной линейной дискретной системы.

3.7. По заданному разностному уравнению вычислить реакцию рекурсивной линейной дискретной системы на заданное входное воздействие.

3.8. Определить устойчивость рекурсивной линейной дискретной системы, импульсная характеристика которой имеет вид: $h(n) = \begin{cases} a^n, n \geq 0; \\ 0, n < 0. \end{cases}$

3.9. По заданным передаточным функциям 1-го (2-го) порядка определить устойчивость рекурсивных линейных дискретных систем.

3.10. По заданным передаточным функциям 1-го (2-го) порядка записать соответствующие разностные уравнения, определить импульсные характеристики и составить структурные схемы соответствующих линейных дискретных систем.

3.11. По заданной структурной схеме составить разностное уравнение и записать передаточную функцию.

3.12. По заданной импульсной характеристике (а) - $h(n) = (1, -1)$; б) - $h(n) = 0,2^n$ составить структурную схему и найти передаточную функцию.

Тема 4. «Характеристики и структуры цифровых фильтров»

4.1. При заданных параметрах (а и b) передаточной функции рекурсивного фильтра 1-го порядка

$$H(z) = \frac{a}{1 - bz^{-1}}$$

выполнить:

- составить структурную схему ЦФ (прямая и каноническая формы);
- записать разностное уравнение;
- определить положение полюсов на Z-плоскости и сделать заключение об устойчивости фильтра;
- записать выражение для комплексной частотной характеристики фильтра;
- получить выражение и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики ЦФ;
- получить выражение и построить импульсную характеристику ЦФ;
- получить выражение и построить переходную характеристику ЦФ;
- используя разностное уравнение ЦФ или ДВС вычислить значения отсчетов $y(n)$ при подаче на вход ЦФ заданной дискретной последовательности $x(n)$.

4.2. При заданных параметрах (а, b_1 и b_2) передаточной функции рекурсивного фильтра 2-го порядка

$$H(z) = \frac{a}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}}$$

выполнить:

- составить структурную схему ЦФ (прямая и каноническая формы);
- записать разностное уравнение;
- определить положение полюсов на Z -плоскости и сделать заключение об устойчивости фильтра;
- по положению полюсов на Z -плоскости определить тип фильтра (ФНЧ, ФВЧ, ПФ или РФ);
- записать выражение для комплексной частотной характеристики фильтра;
- получить выражение и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики ЦФ;
- преобразовать передаточную функцию ЦФ в параллельную форму. Составить структурную схему рекурсивного ЦФ 2-го порядка в параллельной форме;
- преобразовать передаточную функцию ЦФ в последовательную форму. Составить структурную схему рекурсивного ЦФ 2-го порядка в каскадной форме;
- получить выражение и построить импульсную характеристику ЦФ;
- получить выражение и построить переходную характеристику ЦФ;
- используя разностное уравнение ЦФ или ДВС вычислить значения отсчетов $y(n)$ при подаче на вход ЦФ заданной дискретной последовательности $x(n)$.

- 4.3. При заданных значениях полюсов (z_{p1} и z_{p2}) и коэффициента a передаточной функции рекурсивного фильтра 2-го порядка

$$H(z) = \frac{1}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}}$$

определить коэффициенты передаточной функции b_1 и b_2 и выполнить задания по п. 4.2.

- 4.4. При заданных параметров (a_1 , a_2 , b_1 и b_2) передаточной функции биквадратного фильтра

$$H(z) = \frac{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}}$$

выполнить:

- составить структурную схему ЦФ (прямая и каноническая формы);
- записать разностное уравнение;
- определить положение нулей и полюсов на Z -плоскости и сделать заключение об устойчивости фильтра;
- записать выражение для комплексной частотной характеристики фильтра;
- получить выражение и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики ЦФ;
- получить выражение для импульсной характеристики ЦФ;

Перечень лабораторных работ и вопросов для контроля

№ работы	Название лабораторной работы и вопросы для контроля	Шифр
1	<p>Исследование процессов дискретизации сигналов</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какие преобразования имеют место при цифровой обработке сигналов? 2. Что такое дискретный сигнал и дискретная последовательность? 3. Какова природа размножения спектров при дискретизации сигналов по времени? 4. В чем заключаются взаимосвязь и отличие спектров 	Рукоп

	<p>дискретного и аналогового сигналов?</p> <p>5. Как по известному спектру аналогового сигнала определить спектр соответствующего ему дискретного сигнала?</p> <p>6. В чем заключается явление наложения спектров при дискретизации сигналов?</p> <p>7. Можно ли по известному спектру дискретного сигнала найти спектр соответствующего ему аналогового сигнала?</p> <p>8. Из каких условий выбирается частота дискретизации аналоговых сигналов?</p> <p>9. Какова математическая модель квантования сигнала по уровню?</p> <p>10. Как определяется погрешность квантования дискретного квантованного сигнала?</p> <p>11. Как осуществляется цифровое кодирование сигнала?</p> <p>12. Как определяется погрешность квантования цифрового сигнала?</p> <p>13. Из каких условий выбирается необходимая разрядность АЦП?</p> <p>14. Как определяется автокорреляционная функция и спектральная плотность шума квантования АЦП?</p> <p>15. При каком условии цифровой и дискретный сигналы математически адекватны?</p>	
2	<p>Исследование характеристик БИХ-фильтров</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Запишите разностное уравнение для БИХ-фильтров. 2. Изобразите структурную схему БИХ-фильтра. 3. Как находится передаточная функция РФ по его разностному уравнению? 4. Что такое нули и полюса передаточной функции. Условия устойчивости фильтра? 5. Какой вид имеет ноль-полюсная форма передаточной функции РФ и каково ее практическое значение? 6. Как получить частотную характеристику БИХ-фильтра по его передаточной функции? 7. Формы реализации РФ (прямая, каноническая, каскадная и параллельная). 8. Анализ частотных характеристик БИХ-фильтра 1-го порядка. 9. Получить выражение для импульсной характеристики БИХ-фильтра 1-го порядка. 10. Получить выражение для переходной характеристики БИХ-фильтра 1-го порядка. 11. Анализ частотных характеристик БИХ-фильтра 2-го порядка. 12. Свойства импульсной характеристики БИХ-фильтра 2-го порядка. 13. Биквадратный фильтр второго порядка: разностное уравнение, передаточная функция, структурная схема. 14. Частотные характеристики биквадратного фильтра. 15. Импульсная характеристика биквадратного фильтра 	Рукоп
3	<p>Исследование характеристик КИХ-фильтров</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Запишите разностное уравнение для КИХ-фильтров. 2. Какова структура НФ на основе ДВС? 3. Запишите выражение для передаточной функции КИХ- 	Рукоп

	<p>фильтра.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Как получить частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) НФ? 5. Каково условие линейности фазочастотной характеристики НФ? 6. Запишите выражение для импульсной характеристики КИХ-фильтра. 7. Анализ частотных характеристик КИХ-фильтра 1-го порядка. 8. Получить выражение для импульсной характеристики КИХ-фильтра 1-го порядка. 9. Получить выражение для переходной характеристики КИХ-фильтра 1-го порядка. 10. Анализ частотных характеристик КИХ-фильтра 2-го порядка. 11. Импульсной характеристики КИХ-фильтра 2-го порядка. 12. Импульсной характеристики КИХ-фильтра 2-го порядка. 	
4	<p>Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Как находится импульсная характеристика синтезируемого НФ в методе весовых функций? 2. Каковы параметры и типичный вид частотных характеристик весовых функций? 3. Какова связь параметров частотной характеристики НФ и весовой функции? 4. Какие требования предъявляются к весовым функциям при синтезе НФ? 5. Из каких условий выбирается вид весовой функции? 6. Как находится необходимая длина весовой функции? 7. Как в методе весовых функций обеспечивается необходимое затухание АЧХ в полосе задерживания? 8. Как в методе весовых функций достигается соответствие заданных и расчетных граничных частот фильтра? 9. В чем особенность и преимущество использования весовых функций Кайзера для синтеза НФ? 10. Почему метод весовых функций относят к итерационным методам синтеза НФ? 11. Какую ФЧХ имеют НФ, синтезированные методом весовых функций? 12. Как находится импульсная характеристика синтезируемого НФ методом частотной выборки? 	Рукоп

Контрольные вопросы для оценки сформированности компетнций

1. Общая структура системы цифровой обработки сигналов
2. Дискретизация аналоговых сигналов с финитным спектром. Теорема отсчетов.
3. Спектр дискретных сигналов. Свойство периодичности.
4. Квантование сигналов по уровню. Шумы квантования
5. Методы математического описания линейных дискретных систем во временной области, разностные уравнения.

6. Структурные схемы рекурсивных и нерекурсивных фильтров. Прямая и каноническая формы реализации.
7. Импульсная характеристика $h(n)$ дискретных систем. Дискретная временная свертка.
8. Цифровые фильтры БИХ- и КИХ-типа.
9. Методы математического описания сигналов дискретных систем на комплексной плоскости. Z-преобразование, основные свойства.
10. Передаточная функция дискретной системы. Связь между $H(z)$ и $h(n)$. Критерий устойчивости.
11. Частотная характеристика дискретной системы, связь между $H(z)$ и $H(j\omega)$. АЧХ и ФЧХ дискретных систем. Свойство периодичности.
12. БИХ-фильтры 1-го порядка: основные характеристики и свойства (АЧХ, импульсная и переходная характеристики).
13. БИХ-фильтры 2-го порядка: основные характеристики и свойства. (АЧХ, импульсная и переходная характеристики).
14. КИХ-фильтр 1-го порядка: основные характеристики и свойства.
15. КИХ-фильтр 2-го порядка: основные характеристики и свойства.
16. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Методика синтеза КИХ-фильтров методом весовых функций.
17. Синтез нерекурсивных фильтров методом частотной выборки
18. Методы цифровой фильтрации конечных последовательностей на основе дискретного преобразования Фурье

Составил
доцент кафедры РТС
к.т.н., с.н.с.
Заведующий кафедрой РТС
д.т.н., профессор

В.П.Косс

В.И.Кошелев