

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Порохня Андрей Андреевич

Должность: И.о. директора института перспективной инженерии

Дата подписания: 19.06.2026 16:38:42

Уникальный программный ключ:

990bea3aeec48c23bd8699e48288f8d1960c600

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. директора института

А.А. Порохня  
Ф.И.О.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Распределённые системы управления в реальном времени**

Направление подготовки  
Направленность (профиль)

09.03.04 Программная инженерия  
Инженерия сложных программных  
систем

Год начала обучения

2026

Форма обучения

очная

Реализуется в семестре

7

**Разработано**

Доцент \_\_\_\_\_ департамента \_\_\_\_\_ цифровых,  
робототехнических систем и электроники  
(должность разработчика)

Орлова Анна Юрьевна  
Ф.И.О.

Ставрополь 2026 г.

### 1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Формирование у студентов системного понимания принципов построения, протоколов и алгоритмов распределённых систем со строгими временными ограничениями (hard/soft real-time), а также практических навыков разработки отказоустойчивых распределённых приложений с использованием OCPB, DDS, CAN bus и современных инструментов профилирования.

~ Задачи освоения дисциплины:

~ Изучить классификацию РВ-систем и алгоритмы планирования (RMA, EDF); освоить работу с Linux PREEMPT\_RT и FreeRTOS.

~ Освоить протоколы промышленной коммуникации реального времени (CAN bus, EtherCAT) и распределённый middleware DDS (Fast DDS) с QoS.

~ Приобрести практические навыки синхронизации времени (PTP), обеспечения отказоустойчивости (failover, 1oo2) и интеграции с ROS 2 на основе DDS.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Распределённые системы управления в реальном времени» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, и изучается обучающимися в 8 семестре.

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                                                                                      | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                     | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-3 Владеет навыками разработки программного обеспечения: способен реализовывать алгоритмы, писать код на современных языках программирования, создавать клиент-серверные приложения и обеспечивать качество кода | ИД-1пк-3: Разрабатывает алгоритмы планирования задач (RMA, EDF) и реализует их на C++/Python; создаёт периодические задачи в FreeRTOS/Linux PREEMPT_RT; реализует DDS Publisher/Subscriber с настройкой QoS (RELIABLE, DEADLINE, LATENCY_BUDGET) | Реализует планировщики RMA/EDF на Python/C++, создаёт периодические задачи в FreeRTOS с vTaskDelayUntil, разрабатывает DDS Publisher/Subscriber с различными политиками QoS на C++ |
| ПК-3 Владеет навыками разработки программного обеспечения: способен реализовывать алгоритмы, писать код на современных языках программирования, создавать клиент-серверные приложения и обеспечивать качество кода | ИД-4пк-3: Пишет модульный, документированный и тестируемый код РВ-модулей, соблюдая принципы разделения ответственности между узлами распределённой системы; оформляет исходный код согласно стандартам C++ и Python                             | Создаёт структурированный, документированный код распределённых РВ-модулей с чётким разделением ответственности между узлами системы                                               |
| ПК-4 Способен проводить тестирование, отладку и                                                                                                                                                                    | ИД-2пк-4: Использует инструменты профилирования реального времени (cyclictst,                                                                                                                                                                    | Применяет cyclictst, perf, trace-cmd для измерения задержек прерываний в                                                                                                           |

|                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| профилирование программного обеспечения, обеспечивать надёжность и производительность программных систем                                                          | trace-cmd, perf, Ftrace) для измерения задержек и джиттера в Linux PREEMPT_RT; применяет GDB для отладки многопоточных РВ-приложений                                                                               | Linux PREEMPT_RT; анализирует гистограммы латентности и джиттера                                                                                   |
| ПК-4 Способен проводить тестирование, отладку и профилирование программного обеспечения, обеспечивать надёжность и производительность программных систем          | ИД-3пк-4: Проводит стресс-тестирование РВ-системы с помощью stress-ng; анализирует влияние нагрузки на детерминизм планировщика; оценивает надёжность распределённой системы при отказе узлов (failover, loo2)     | Проводит стресс-тестирование системы с stress-ng, анализирует деградацию детерминизма под нагрузкой; тестирует механизмы failover и резервирования |
| ПК-9 Умеет оформлять техническую документацию, готовить презентации и отчёты, вести деловую коммуникацию на русском и иностранном языках в профессиональной сфере | ИД-1пк-9: Оформляет технические отчёты по лабораторным работам: описывает конфигурацию РВ-системы, приводит листинги кода, графики задержек, диаграммы Ганта для визуализации расписания задач, формулирует выводы | Оформляет технические отчёты с листингами кода, графиками задержек, диаграммами Ганта и выводами об эффективности алгоритмов планирования          |
| ПК-9 Умеет оформлять техническую документацию, готовить презентации и отчёты, вести деловую коммуникацию на русском и иностранном языках в профессиональной сфере | ИД-2пк-9: Защищает результаты лабораторных работ, аргументированно обосновывает выбор протокола (CAN/EtherCAT/DDS), алгоритма планирования и механизма обеспечения отказоустойчивости распределённой РВ-системы    | Публично защищает итоговый проект распределённой РВ-системы, обосновывает архитектурные решения и выбор протоколов                                 |

#### 4. Объем учебной дисциплины и формы контроля \*

|                                                     |                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| Объем занятий: всего: 5 з.е. 174 ак.ч.              | ОФО,<br>в астр. часах |
| <b>Контактная работа:</b>                           | <b>108</b>            |
| Лекции/из них практическая подготовка               | 36                    |
| Лабораторных работ/из них практическая подготовка   | 72                    |
| Практических занятий/из них практическая подготовка |                       |
| <b>Самостоятельная работа</b>                       | <b>66</b>             |
| <b>Формы контроля</b>                               |                       |
| Экзамен                                             |                       |
| Зачет                                               |                       |
| Зачет с оценкой                                     | +                     |

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Расчетно-графические работы |  |
| Курсовые работа             |  |
| Контрольные работы          |  |

\* Дисциплина (модуль) предусматривает применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий

**5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием количества часов и видов занятий**

| № | Раздел (тема) дисциплины и краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Формируемые компетенции и индикаторы | очная форма                                                                                   |                      |                     |                               |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      | Контактная работа обучающихся с преподавателем /из них в форме практической подготовки, часов |                      |                     | Самостоятельная работа, часов |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      | Лекции                                                                                        | Практические занятия | Лабораторные работы |                               |
| 1 | Раздел 1. Основы ОСПВ и планирование задач реального времени Классификация РВ-систем (hard/soft/firm real-time). Детерминизм и джиттер. Установка Linux PREEMPT_RT: патч ядра, настройка CPU affinity. Измерение латентности (cyclicttest, stress-ng, trace-cmd). FreeRTOS: задачи, vTaskDelayUntil, очереди, мьютексы. Алгоритмы планирования RMA и EDF: теорема планируемости, расчёт U, симуляция на Python/C++, диаграммы Ганта. | ИД-1пк-3, ИД-4пк-3, ИД-2пк-4         | 8                                                                                             |                      | 16                  | 16                            |
| 2 | Раздел 2. Промышленные протоколы реального времени: CAN и EtherCAT CAN bus: структура кадра, арбитраж, фильтры. Анализ CAN-трафика (PCAN-View, Wireshark + CAN-USB). Передача CAN на STM32 (STM32CubeMX). EtherCAT: принцип "processing on the fly", SOEM-библиотека. Сравнение задержки EtherCAT vs TCP: измерение jitter, дисперсии, min/max.                                                                                      | ИД-1пк-3, ИД-2пк-4, ИД-3пк-4         | 8                                                                                             |                      | 16                  | 16                            |
| 3 | Раздел 3. DDS и распределённая публикация-подписка Стандарт DDS (OMG). eProsimia Fast DDS: установка, IDL-файл, генерация кода,                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ИД-1пк-3, ИД-4пк-3, ИД-3пк-4         | 8                                                                                             |                      | 16                  | 16                            |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                  |    |  |    |    |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----|--|----|----|
|   | Publisher/Subscriber на C++. QoS-политики: RELIABILITY (best-effort vs reliable), DEADLINE, LATENCY_BUDGET. Многоузловая система с Domain и Partition: автоматический discovery, изоляция топиков, тестирование при отключении узла.                                                                                                                              |                                                  |    |  |    |    |
| 4 | Раздел 4. Синхронизация времени и отказоустойчивость PTP (IEEE 1588): linuxptp, ptp4l, phc2sys. Измерение offset и drift. Failover Leader-Follower: heartbeat, таймаут, смена лидера. Резервирование 1oo2 (два канала, мажоритарная логика). Распределённые транзакции: паттерн Saga (хореография, компенсация).                                                  | ИД-1пк-3, ИД-4пк-3, ИД-3пк-4, ИД-1пк-9           | 8  |  | 16 | 12 |
| 5 | Раздел 5. Интеграция: ROS 2 + DDS и комплексный проект ROS 2 Humble на Fast DDS: распределённая конфигурация на нескольких ВМ. QoS в ROS 2: discovery, `ros2 daemon`. Измерение задержки. Итоговый проект: три симулируемых робота в Gazebo — координация через DDS, CAN-команды, синхронизация PTP, failover при отключении лидера, визуализация в RViz. Защита. | ИД-1пк-3, ИД-4пк-3, ИД-2пк-4, ИД-1пк-9, ИД-2пк-9 | 4  |  | 8  | 6  |
|   | ИТОГО за 7 семестр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                  | 36 |  | 72 | 66 |
|   | ИТОГО                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                  | 36 |  | 72 | 66 |

## 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств (ФОС) по дисциплине (модулю) базируется на перечне осваиваемых компетенций с указанием индикаторов. ФОС обеспечивает объективный контроль достижения запланированных результатов обучения. ФОС включает в себя:

- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций (включаются в методические указания по тем видам работ, которые предусмотрены учебным планом и предусматривают оценку сформированности компетенций);
- типовые оценочные средства, необходимые для оценки знаний, умений и уровня сформированности компетенций.

ФОС является приложением к данной программе дисциплины.

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приступая к работе, каждый студент должен принимать во внимание следующие положения.

Дисциплина построена по тематическому принципу, каждая тема представляет собой логически завершённый раздел.

Практические занятия проводятся с целью закрепления усвоенной информации,

приобретения навыков ее применения при решении практических задач в соответствующей предметной области.

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовку к лабораторным занятиям, а также выполнения всех видов самостоятельной работы.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить все виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

8.1.1. Перечень основной литературы:

1. Лав, Р. Ядро Linux: описание процесса разработки / Р. Лав ; пер. с англ. — 3-е изд. — Москва : Вильямс, 2014. — 496 с. — ISBN 978-5-8459-1915-5. — Текст : непосредственный.

2. Таненбаум, Э. Распределённые системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. Ван Стеен ; пер. с англ. — Санкт-Петербург : Питер, 2003. — 877 с. — ISBN 5-272-00053-6. — Текст : непосредственный.

8.1.2. Перечень дополнительной литературы:

Barry, R. Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel: a Hands-On Tutorial Guide / R. Barry. — Amazon.com : FreeRTOS.org, 2016. — 569 p. — ISBN 978-0-9988488-2-4. — Текст : непосредственный.

Распределённые системы управления реального времени : учебное пособие / под ред. А. И. Петрова. — Ставрополь : Изд-во СКФУ, 2025. — 240 с. — Текст : непосредственный.

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

[www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»

[www.eLibrary.ru](http://www.eLibrary.ru) - Научная электронная библиотека

[www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru) - Электронно-библиотечная система IPRbooks

## **9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

При чтении лекций используется компьютерная техника для демонстрации презентационных мультимедийных материалов. При проведении лабораторных работ используются персональные компьютеры с Ubuntu 22.04 + PREEMPT\_RT, Fast DDS, FreeRTOS, ROS 2 Humble, VS Code.

Информационные справочные системы:

Информационно-справочные системы: [fast-dds.readthedocs.io](https://fast-dds.readthedocs.io), [freertos.org/Documentation](https://freertos.org/Documentation), [docs.ros.org](https://docs.ros.org).

|   |                                                                                                                                     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <a href="https://fast-dds.readthedocs.io">https://fast-dds.readthedocs.io</a> — документация eProsima Fast DDS (доступен в РФ)      |
| 2 | <a href="https://www.freertos.org/Documentation">https://www.freertos.org/Documentation</a> — документация FreeRTOS (доступен в РФ) |

Программное обеспечение:

|   |                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | Linux Ubuntu 22.04 + PREEMPT_RT патч ядра                         |
| 2 | FreeRTOS (симулятор на Linux / STM32CubeIDE)                      |
| 3 | eProsima Fast DDS — C++ DDS middleware                            |
| 4 | cyclictest, stress-ng, trace-cmd, perf — инструменты измерения RT |
| 5 | ROS 2 Humble Hawksbill + Gazebo + RViz 2                          |

## 10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

|                        |                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекционные занятия     | Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащенная мультимедийным оборудованием и техническими средствами обучения.                                                                                        |
| Лабораторные работы    | Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащенная мультимедийным оборудованием и техническими средствами обучения.                                                                                        |
| Самостоятельная работа | Помещение для самостоятельной работы обучающихся оснащенное компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и возможностью доступа к электронной информационно-образовательной среде университета |

## 11. Особенности освоения дисциплины (модуля) лицами с ограниченными возможностями здоровья

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы, специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования, услуги ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, а также услуги сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Освоение дисциплины (модуля) обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано совместно с другими обучающимися, а также в отдельных группах.

Освоение дисциплины (модуля) обучающимися с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья.

В целях доступности получения высшего образования по образовательной программе лицами с ограниченными возможностями здоровья при освоении дисциплины (модуля) обеспечивается:

1) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по зрению:

- присутствие ассистента, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе, записывая под диктовку),
- письменные задания, а также инструкции о порядке их выполнения оформляются увеличенным шрифтом,
- специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы (имеющие крупный шрифт или аудиофайлы),
- индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс,
- при необходимости студенту для выполнения задания предоставляется увеличивающее устройство;

2) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху:

- присутствие ассистента, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе, записывая под диктовку),
- обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости обучающемуся предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;
- обеспечивается надлежащими звуковыми средствами воспроизведения информации;

3) для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата (в том числе с тяжелыми нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей):

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;
- по желанию студента задания могут выполняться в устной форме.

## **12. Особенности реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения**

Согласно части 1 статьи 16 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» под *электронным обучением* понимается организация образовательной деятельности с применением содержащейся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий, технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечивающих передачу по линиям связи указанной информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников. Под *дистанционными образовательными технологиями* понимаются образовательные технологии, реализуемые в основном с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников.

Реализация дисциплины может быть осуществлена с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично. Компоненты УМК дисциплины (рабочая программа дисциплины, оценочные и методические материалы, формы аттестации), реализуемой с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения, содержат указание на их использование.

При организации образовательной деятельности с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения могут предусматриваться асинхронный и синхронный способы осуществления взаимодействия участников образовательных отношений посредством информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

При применении дистанционных образовательных технологий и электронного обучения в расписании по дисциплине указываются: способы осуществления взаимодействия участников образовательных отношений посредством информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (ВКС-видеоконференцсвязь, ЭТ – электронное тестирование); ссылки на электронную информационно-образовательную среду СКФУ, на образовательные платформы и ресурсы иных организаций, к которым предоставляется открытый доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет»; для синхронного обучения - время проведения онлайн-занятий и преподаватели; для асинхронного обучения - авторы онлайн-курсов.

При организации промежуточной аттестации с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения используются Методические рекомендации по применению технических средств, обеспечивающих объективность результатов при проведении промежуточной и государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры с применением дистанционных образовательных технологий (Письмо Минобрнауки России от 07.12.2020 г. № МН-19/1573-АН "О направлении методических рекомендаций").

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется с использованием электронной информационно-образовательной среды СКФУ, к которой обеспечен доступ обучающихся через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет», или с использованием

ресурсов иных организаций, в том числе платформ, предоставляющих сервисы для проведения видеоконференций, онлайн-встреч и дистанционного обучения (МТС-Линк), а также с использованием возможностей социальных сетей для осуществления коммуникации обучающихся и преподавателей.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины, реализуемой с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, включает представленные в электронном виде рабочую программу, учебно-методические пособия или курс лекций, методические указания к выполнению различных видов учебной деятельности обучающихся, предусмотренных дисциплиной, и прочие учебно-методические материалы, размещенные в информационно-образовательной среде СКФУ.