

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце: **МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**
ФИО: Порохня Андрей Алексеевич **РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Должность: И.о. директора института перспективной инженерии
Дата подписания: 19.06.2026 16:38:42
Уникальный программный ключ:
990bea3aeec848c23bd8699e48288f8d1960c600

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора института
А.А. Порохня

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

Направление подготовки	09.03.04 Программная инженерия
Направленность (профиль)	Инженерия сложных программных систем
Год начала обучения	2026
Форма обучения	очная
Реализуется в семестре	7

Введение

Назначение: ФОС предназначен для объективной оценки уровня сформированности компетенций.

ФОС является приложением к программе дисциплины «Распределённые системы управления в реальном времени».

Разработчик Е.Н. Новикова, заведующий межинститутской базовой кафедры департамента цифровых, робототехнических систем и электроники.

Проведена экспертиза ФОС. Председатель Новикова Е.Н., межинститутской базовой кафедры департамента цифровых, робототехнических систем и электроники института перспективной инженерии

Члены комиссии:

Азаров И.В., и.о. директора департамента цифровых, робототехнических систем и электроники института перспективной инженерии

Николаев Е. И., доцент департамента цифровых, робототехнических систем и электроники института перспективной инженерии

Представитель организации-работодателя Свистунов Игорь Викторович, ООО «Стилсофт»
(Ф.И.О., должность)

Экспертное заключение: ФОС по дисциплине позволяет оценить уровень сформированности компетенций. Приступить к апробации.

«____»_____2026 г.

1. Срок действия ФОС определяется сроком реализации образовательной программы.

1. Описание критериев оценивания компетенции на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Уровни сформированности компетенций, индикаторов	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
ПК-2 – Способен проектировать архитектуру распределённых программных систем с учётом нефункциональных требований (производительность, надёжность, масштабируемость)				
ИД-1пк-2 – Выделяет нефункциональные требования к распределённой РВ-системе (детерминизм, максимальная задержка, допустимый джиттер, время восстановления после отказа)	Не различает hard/soft real-time. Не может назвать параметры детерминизма.	Перечисляет требования по памяти, но не связывает с архитектурой. Упоминает задержку без количественных значений.	Формулирует требования к latency ($\leq X$ мс), jitter ($\leq Y\%$), MTTR. Обосновывает их типом РВ-системы.	Рассчитывает WCET, budget latency, deadline для каждой критичной задачи. Составляет таблицу требований к каждому узлу системы.
ИД-2пк-2 – Выбирает протоколы и middleware (CAN/EtherCAT/DDS) на основе	Не знает различий между CAN, EtherCAT и DDS.	Выбирает DDS для всех задач без обоснования.	Сравнивает задержки : EtherCAT (μ s), CAN	Обосновывает выбор в отчёте: скорость, топология, число узлов, QoS, стоимость

Уровни сформированности компетенций, индикаторов	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
требований к реальному времени и масштабируемости			(ms), DDS (ms–с). Выбирает протокол под hard real-time (EtherCAT) vs soft (DDS).	внедрения. Приводит измеренные jitter-характеристики.
ИД-3пк-2 – Проектирует модульную структуру РВ-системы с разделением на домены DDS, Partition, топики	Не понимает концепции DomainParticipant, Topic, Publisher/Subscriber.	Создаёт один DomainParticipant и один топик на всех узлах.	Разделяет управляющие и данные топики. Использует Partition для изоляции групп узлов.	Проектирует иерархию доменов для разных приоритетов РВ-задач. Настраивает discovery и изоляцию топиков через QoS.
ПК-5 – Владеет методами синхронизации времени, детерминизма и обеспечения real-time свойств в распределённых системах				
ИД-1пк-5 – Настраивает синхронизацию времени по RTP (IEEE 1588) с	Не знает назначения RTP. Не может установить	Запускает rtp4l в режиме slave, но не проверяет offset.	Настраивает master/slave, синхрони	Добивается синхронизации <10 мкс. Настраивает транспорт по Ethernet и UDPv4.

Уровни сформированности компетенций, индикаторов	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
использованием linuxptp (ptp4l, phc2sys)	linuxptp.		зирует системное время phc2sys --utc. Измеряет offset и drift (<1 мс).	Анализирует влияние нагрузки на точность РТР.
ИД-2пк-5 – Реализует детерминированное исполнение задач с использованием RMA/EDF, FreeRTOS, PREEMPT_RT	Не может написать периодическую задачу. Не знает формул планируемости.	Реализует RMA по шаблону, проверяет сумму U. Создаёт одну периодическую задачу в FreeRTOS.	Реализует RMA и EDF на C++/Python. Строит диаграммы Ганта. Настраивает CPU affinity в PREEMPT_RT.	Добивается выполнения всех задач в deadline под нагрузкой stress-ng. Оптимизирует IRQ affinity. Использует SCHED_DEADLINE.
ИД-3пк-5 – Измеряет и анализирует латентность и джиттер с помощью cyclicttest, trace-cmd, perf	Не запускает cyclicttest. Не понимает гистограмму задержек.	Запускает cyclicttest -p 80 -m. Смотрит max latency без анализа причин.	Анализирует гистограмму, находит выбросы. Запускает trace-cmd	Сравнивает латентность на PREEMPT_RT vs vanilla kernel. Локализует источник джиттера через Ftrace.

Уровни сформированности компетенций, индикаторов	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
			для захвата планировщика.	
ПК-7 – Умеет реализовывать отказоустойчивые паттерны в распределённых РВ-системах (failover, резервирование, компенсационные транзакции)				
ИД-1пк-7 – Реализует паттерн Leader-Follower с heartbeat и автоматическим failover	Не знает понятий leader, follower, heartbeat.	Реализует односторонний heartbeat. При отказе лидера переключение вручную.	Реализует автоматический failover с таймаутом. Узлы рассылают heartbeat через DDS.	Реализует выборы лидера с версионированием. Восстанавливает состояние после failover. Тестирует split-brain.
ИД-2пк-7 – Реализует резервирование 1oo2 (два канала, мажоритарная логика)	Не понимает логику голосования 1oo2.	Эмулирует два источника данных, выбор первого.	Реализует сравнение двух каналов, расхождение → переход на резерв.	Полная мажоритарная логика с диагностикой каналов. Протоколирование расхождений.
ИД-3пк-7 –	Не знает Saga,	Пишет	Реализует	Реализует

Уровни сформированности компетенций, индикаторов	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
Применяет паттерн Saga (хореография) для распределённых транзакций с компенсацией	компенсирующих транзакций.	последовательность шагов без компенсации.	т хореографию на DDS: каждый шаг публикует событие, компенсации при ошибке.	оркестрацию с центральным Saga-координатором. Тестирует частичные откаты.
ПК-10 – Способен применять инструменты профилирования, тестирования и отладки распределённых систем реального времени				
ИД-1пк-10 – Применяет GDB для отладки многопоточных РВ-приложений, включая отладку заморозков и deadlock'ов	Не может установить breakpoint в многопоточной программе.	Использует info threads, переключается между потоками.	Отлаживает race condition с watch. Использует non-stop режим.	Находит deadlock через thread apply all bt. Применяет reverse debugging.
ИД-2пк-10 – Проводит стресс-тестирование РВ-системы с stress-ng, анализирует деградацию детерминизма	Не запускает stress-ng.	Запускает стресс CPU без анализа РВ-задач.	Запускает stress-ng на CPU, VM, IO. Сравнивает latency cyclictst	Выявляет критическую нагрузку, при которой нарушаются deadline. Составляет отчёт с

Уровни сформированности компетенций, индикаторов	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
под нагрузкой			до/после нагрузки.	графиками.
ИД-3пк-10 – Использует трассировку (trace-cmd, perf) для поиска источников латентности в ядре и пользовательских приложениях	Не может записать трассу.	Записывает <code>trace-cmd record -e sched_switch</code> . Просматривает <code>trace-cmd report</code> .	Фильтрует события по PID задачи. Находит причину вытеснения.	Анализирует IRQ-handler, прерывания высокого приоритета. Локализует джиттер до конкретной функции ядра.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
1	А, В, С	Какие из перечисленных требований являются нефункциональными для распределённой РВ-системы? А) Максимальная задержка обработки события 5 мс; В) Допустимый джиттер не более 50 мкс; С) Время восстановления после отказа узла не более 100 мс; D) Функция расчёта корней квадратного уравнения	ПК-2
2	В	Какой протокол обеспечивает наименьшую детерминированную задержку (единицы микросекунд) для hard real-time систем с жёсткой топологией «ведущий-ведомый»? А) CAN bus; В) EtherCAT; С) DDS; D) TCP/IP	ПК-2
3	А, С, D	Какие элементы входят в концепцию DDS middleware? А) DomainParticipant; В) Socket; С) Topic; D) Publisher/Subscriber	ПК-2
4	С	Что такое Partition в DDS? А) Разделение жёсткого диска; В) Механизм шифрования данных; С) Логическая изоляция топиков внутри одного домена; D) Тип QoS-политики	ПК-2
5	А, В	Какие протоколы относятся к промышленным сетям реального времени? А) CAN bus; В) EtherCAT; С) HTTP; D) SMTP	ПК-2
6	В, С, D	Какие параметры учитываются при выборе middleware для РВ-системы? А) Цвет корпуса контроллера; В) Максимальное количество узлов; С) Поддержка QoS (DEADLINE, LATENCY_BUDGET); D) Детерминированность задержек	ПК-2

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
7	A	Какой патч ядра Linux используется для обеспечения свойств реального времени? A) PREEMPT_RT; B) CFS_RT; C) NO_HZ_RT; D) FULL_PREEMPT	ПК-5
8	B	Какой инструмент используется для измерения латентности прерываний в Linux PREEMPT_RT? A) gdb; B) cyclicttest; C) valgrind; D) strace	ПК-5
9	A, C	Какие алгоритмы планирования задач используются в системах реального времени? A) Rate Monotonic Assignment (RMA); B) First Come First Served (FCFS); C) Earliest Deadline First (EDF); D) Round Robin (RR)	ПК-5
10	B	Какое условие проверяет планируемость набора задач по RMA (для независимых периодических задач)? A) Сумма $U \leq 1$; B) Сумма $U \leq n(2^{(1/n)}-1)$; C) Сумма $U \leq 0.5$; D) Сумма $U \leq \log(n)$	ПК-5
11	A, D	Какие функции FreeRTOS используются для создания строго периодических задач? A) vTaskDelayUntil; B) vTaskDelay; C) xTaskCreateStatic; D) configUSE_TIME_SLICING (в паре с правильным периодом)	ПК-5
12	C	Что измеряет утилита cyclicttest -p 80 -m? A) Пропускную способность сети; B) Использование памяти; C) Гистограмму задержек планировщика; D) Скорость чтения с диска	ПК-5
13	A, B	Какие команды linuxptp используются для синхронизации времени по PTP? A) ptp4l; B) phc2sys; C) ntpd; D) timedatectl	ПК-5

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
14	В	Какая точность синхронизации времени достижима при правильной настройке PTP (IEEE 1588) в локальной сети? А) ± 1 с; В) ± 10 мкс; С) ± 10 мс; D) ± 1 нс	ПК-5
15	A, C, D	Какие инструменты позволяют трассировать планировщик Linux для поиска источников джиттера? А) trace-cmd; В) htop; С) perf; D) Ftrace	ПК-5
16	В	Что такое джиттер в контексте систем реального времени? А) Средняя задержка выполнения задачи; В) Отклонение периодичности выполнения от идеального периода; С) Максимальное время ответа системы; D) Количество переключений контекста в секунду	ПК-5
17	A	Какая политика планирования в Linux обеспечивает жёсткий дедлайн (SCHED_DEADLINE)? А) SCHED_DEADLINE; В) SCHED_FIFO; С) SCHED_RR; D) SCHED_OTHER	ПК-5
18	В, D	Какие параметры необходимо задать для задачи при использовании SCHED_DEADLINE? А) nice; В) runtime (время выполнения за период); С) priority; D) deadline (относительный дедлайн)	ПК-5
19	С	Что показывает утилита <code>phc2sys --utc</code> ? А) Текущее время PTP; В) Смещение частоты процессора; С) Синхронизацию системного времени с аппаратными часами PTP; D) Список доступных PTP-часов	ПК-5
20	A	Какой параметр в ядре Linux отвечает за максимальную частоту прерываний таймера для PB-задач? А) CONFIG_HZ; В) CONFIG_PREEMPT; С) CONFIG_IRQ_TIME_ACCOUNTING; D) CONFIG_RT_GROUP_SCHED	ПК-5

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
21	A, B, D	Какие паттерны используются для обеспечения отказоустойчивости в распределённых РВ-системах? A) Leader-Follower с heartbeat; B) Резервирование 1oo2; C) Singleton; D) Saga	ПК-7
22	B	Что означает резервирование 1oo2 (one out of two)? A) Один узел из двух является мастером; B) Два канала, мажоритарное голосование (оба должны совпадать); C) Один узел работает, второй в режиме сна; D) Два узла независимо друг от друга	ПК-7
23	A, C	Какие механизмы характерны для паттерна Leader-Follower? A) Heartbeat (периодические сигналы от лидера); B) Broadcast всех сообщений всем узлам; C) Автоматический failover при таймауте heartbeat; D) Постоянное кворумное голосование	ПК-7
24	C	Что такое Saga в распределённых системах? A) Способ синхронизации времени; B) Протокол маршрутизации; C) Паттерн для управления распределёнными транзакциями с компенсациями; D) Формат сериализации данных	ПК-7
25	A, D	Какие типы Saga существуют? A) Хореография; B) Монотонная; C) Циклическая; D) Оркестрация	ПК-7
26	B	Что такое компенсирующая транзакция в Saga? A) Транзакция, которая увеличивает производительность; B) Операция, отменяющая эффекты предыдущего шага при ошибке; C) Транзакция с наивысшим приоритетом; D) Операция резервного копирования	ПК-7

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
27	A, C	Какие проблемы могут возникнуть при реализации Leader-Follower без должной синхронизации? A) Split-brain (множество лидеров); B) Ускорение работы системы; C) Потеря состояния при failover; D) Автоматическое уменьшение джиттера	ПК-7
28	B	Как часто рекомендуется отправлять heartbeat в типичной РВ-системе? A) Раз в сутки; B) С периодом в 2-3 раза меньше допустимого времени восстановления; C) С периодом, равным максимальному дедлайну задачи; D) Только при изменении состояния	ПК-7
29	A, B	Какие факторы необходимо учитывать при выборе таймаута failover? A) Максимальное время выполнения критической задачи; B) Время обнаружения отказа (heartbeat период); C) Цвет индикатора на корпусе; D) Версия операционной системы	ПК-7
30	C	Какой паттерн следует использовать для распределённой транзакции, состоящей из 5 шагов, если на 4-м шаге произошла ошибка? A) Перезапустить все шаги сначала; B) Игнорировать ошибку; C) Выполнить компенсации для шагов 1-3; D) Завершить систему	ПК-7
31	A, B	Какие инструменты используются для отладки многопоточных РВ-приложений? A) GDB; B) ThreadSanitizer; C) ping; D) ifconfig	ПК-10
32	C	Команда thread apply all bt в GDB позволяет: A) Запустить все потоки одновременно; B) Установить breakpoint для всех потоков; C) Показать backtrace (стек вызовов) для всех потоков; D) Завершить все потоки	ПК-10

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
33	A, B, D	Какие утилиты позволяют создать нагрузку на систему при стресс-тестировании РВ-системы? A) stress-ng --cpu; B) stress-ng --vm; C) cyclicttest; D) stress-ng --io	ПК-10
34	B	Что измеряется при сравнении гистограмм cyclicttest до и после применения stress-ng? A) Средняя загрузка процессора; B) Деградация детерминизма под нагрузкой; C) Скорость работы сети; D) Количество свободной памяти	ПК-10
35	A, C	Какие события ядра можно трассировать с помощью <code>trace-cmd record -e</code> ? A) sched_switch (переключение задач); B) системные вызовы; C) irq_handler_entry (вход в обработчик прерываний); D) чтение файлов с диска	ПК-10
36	B	Как найти причину внепланового вытеснения РВ-задачи с высоким приоритетом? A) Посмотреть log файл; B) Записать трассу sched_switch и проанализировать, какая задача вытеснила; C) Перезагрузить систему; D) Увеличить приоритет задачи	ПК-10
37	A, D	Какие методы позволяют обнаружить deadlock в многопоточном РВ-приложении? A) GDB с <code>thread apply all bt</code> ; B) cyclicttest; C) stress-ng; D) ThreadSanitizer (TSan)	ПК-10
38	C	Что показывает опция <code>-h</code> в cyclicttest (например, <code>cyclicttest -h 100</code>)? A) Справку; B) Количество итераций; C) Построение гистограммы задержек с заданным количеством бакетов; D) Подавление вывода	ПК-10
39	A, B	Какие команды GDB используются для установки точки останова на конкретную строку в файле source.c? A) break source.c:25; B) b source.c:25; C) stop source.c:25; D) pause source.c:25	ПК-10

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
40	В	Как в GDB посмотреть значение переменной x в текущем контексте? А) show x; В) print x; С) display x; D) info x	ПК-10
41	А, С	Какие из перечисленных утилит входят в состав linuxptp? А) ptp4l; В) cyclicttest; С) phc2sys; D) trace-cmd	ПК-5
42	В	Какая команда позволяет запустить PTP-порт в режиме master? А) ptp4l -m; В) ptp4l -i eth0 --master_only; С) phc2sys -m; D) ptp4l --slave_only	ПК-5
43	А, D	Какие политики QoS в DDS наиболее важны для систем реального времени? А) DEADLINE; В) DURABILITY; С) OWNERSHIP; D) LATENCY_BUDGET	ПК-2
44	В	Что происходит при нарушении DEADLINE в DDS-публикаторе? А) Подписчик блокируется; В) DDS может уведомить приложение через слушатель (Listener); С) Происходит автоматическое переподключение; D) Ничего, DEADLINE не влияет	ПК-2
45	А, С	Какие команды используются для анализа латентности с помощью perf? А) perf sched latency; В) perf cyclicttest; С) perf record -e sched:sched_switch; D) perf ptp4l	ПК-10
46	В	Что такое WCET (Worst-Case Execution Time)? А) Оптимальное время выполнения задачи; В) Максимальное время выполнения задачи в худшем случае; С) Среднее время выполнения; D) Время выполнения без прерываний	ПК-5

Номер задания	Правильный ответ	Содержание вопроса	Компетенция
47	А, В	Какие методы позволяют снизить джиттер в Linux PREEMPT_RT? А) Настройка CPU affinity (привязка задач к ядрам); В) Изоляция ядер (isolcpus); С) Увеличение количества процессов; D) Использование дефолтного планировщика CFS	ПК-5
48	С	Какая утилита позволяет визуализировать трассу, записанную trace-cmd? А) gdb; В) cyclicttest; С) kernelshark; D) stress-ng	ПК-10
49	А, В, D	Какие факторы могут вызывать недетерминированные задержки в РВ-системе? А) Прерывания от устройств ввода-вывода; В) Пропуски кэша (cache misses); С) Использование constexpr; D) Работа сборщика мусора (если используется)	ПК-5
50	В	Какой параметр ядра Linux изолирует ядра от планировщика пользовательских задач? А) isolcpus; В) nohz_full; С) preempt_rt; D) irqaffinity	ПК-5

Описание шкалы оценивания

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации. Рейтинговая система оценки знаний студентов основана на использовании совокупности контрольных мероприятий по проверке пройденного материала (контрольных точек), оптимально расположенных на всем временном интервале изучения дисциплины. Принципы рейтинговой системы оценки знаний студентов основываются на требованиях, описанных в Положении об организации образовательного процесса на основе рейтинговой системы оценки знаний студентов в ФГАОУ ВО «СКФУ».

Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» (5 баллов) выставляется студенту, если он:

ПК-2: Проектирует масштабируемую распределённую РВ-архитектуру с разделением на домены DDS, резервированием 1oo2, синхронизацией PTP. Учитывает jitter, deadline и бюджет задержек. Обосновывает выбор протокола (CAN/EtherCAT/DDS) в отчёте с приведением измеренных jitter-характеристик. Проектирует иерархию доменов для разных приоритетов РВ-задач, настраивает discovery и изоляцию топиков через QoS.

ПК-5: Добивается детерминизма в условиях нагрузки (stress-ng). Оптимизирует CPU affinity и IRQ affinity. Настраивает DEADLINE/LATENCY_BUDGET в DDS. Анализирует worst-case execution time (WCET). Добивается синхронизации PTP <10 мкс. Сравнивает латентность на PREEMPT_RT vs vanilla kernel, локализует источник джиттера через Ftrace. Реализует динамическое переключение RMA↔EDF, использует SCHED_DEADLINE.

ПК-7: Реализует выборы лидера с версионированием, восстанавливает состояние после failover, тестирует split-brain. Применяет полную мажоритарную логику с диагностикой каналов для 1oo2. Реализует оркестрацию с центральным Saga-координатором, тестирует частичные откаты распределённых транзакций.

ПК-10: Находит deadlock через thread apply all bt в GDB, применяет reverse debugging. Выявляет критическую нагрузку stress-ng, при которой нарушаются deadline, составляет отчёт с графиками. Анализирует IRQ-handler и прерывания высокого приоритета, локализует джиттер до конкретной функции ядра с помощью Ftrace.

Общие требования: Код полностью документирован (Doxygen/Sphinx), разделён на отдельные пакеты/сервисы, содержит модульные и интеграционные тесты. Студент публично защищает итоговый проект, аргументированно обосновывая архитектурные решения и выбор протоколов.

Оценка «хорошо» (4 балла) выставляется студенту, если он:

ПК-2: Формулирует требования к latency ($\leq X$ мс), jitter ($\leq Y\%$), MTTR. Обосновывает их типом РВ-системы. Сравнивает задержки протоколов (EtherCAT – мкс, CAN – мс, DDS – мс–с). Выбирает протокол под hard real-time (EtherCAT) vs soft (DDS). Разделяет управляющие и данные топиксы DDS, использует Partition для изоляции групп узлов.

ПК-5: Анализирует гистограмму cyclictst, находит выбросы. Запускает trace-cmd для захвата планировщика. Настраивает master/slave PTP, синхронизирует системное время через phc2sys -utc, измеряет offset и drift (<1 мс). Реализует RMA и EDF на C++/Python, строит диаграммы Ганта. Настраивает CPU affinity в PREEMPT_RT.

ПК-7: Реализует автоматический failover с таймаутом, узлы рассылают heartbeat через DDS. Реализует сравнение двух каналов 1oo2 с переходом на резерв при расхождении. Реализует хореографию Saga на DDS: каждый шаг публикует событие, предусмотрены компенсации при ошибке.

ПК-10: Отлаживает race condition с watch в GDB, использует non-stop режим. Запускает stress-ng на CPU, VM, IO, сравнивает latency cyclictst до и после нагрузки. Фильтрует события трассировки trace-cmd по PID задачи, находит причину вытеснения.

Общие требования: Код структурирован с использованием CMake, разделён на IDL, Publisher, Subscriber, соблюдены пространства имён. Код проходит статический анализ (cppcheck/pylint). Студент защищает лабораторные работы с аргументацией выбора алгоритмов и протоколов.

Оценка «удовлетворительно» (3 балла) выставляется студенту, если он:

ПК-2: Перечисляет требования к РВ-системе, но не всегда связывает их с архитектурой. Упоминает задержку без количественных значений. Выбирает DDS для всех задач без обоснования. Создаёт один DomainParticipant и один топик на всех узлах DDS.

ПК-5: Запускает cyclictest и смотрит max latency без анализа причин. Запускает rtp4l в режиме slave, но не проверяет offset. Реализует RMA по шаблону, проверяет сумму U. Создаёт одну периодическую задачу в FreeRTOS (возможны ошибки в расчёте периода). Пишет простой Publisher/Subscriber на Fast DDS без настройки QoS.

ПК-7: Реализует односторонний heartbeat, при отказе лидера переключение выполняет вручную. Эмулирует два источника данных 1002 с выбором первого. Пишет последовательность шагов Saga без компенсирующих транзакций.

ПК-10: Запускает stress-ng --cpu без анализа РВ-задач. Использует GDB на базовом уровне: info threads, переключение между потоками. Записывает трассу trace-cmd record -e sched_switch, просматривает через trace-cmd report.

Общие требования: Код разделён на 2–3 файла, есть комментарии к сложным местам. Соблюдён базовый стиль кода (PEP8 / C++ Core Guidelines частично). Студент может описать конфигурацию РВ-системы, привести листинги кода и графики задержек.

Оценка «неудовлетворительно» (2 балла) выставляется студенту, если он:

ПК-2: Не различает hard/soft real-time. Не знает различий между CAN, EtherCAT и DDS. Не понимает концепции DomainParticipant, Topic, Publisher/Subscriber в DDS. Не может назвать параметры детерминизма.

ПК-5: Не может написать периодическую задачу в FreeRTOS. Не знает формул планируемости RMA/EDF. Не запускает cyclictest, не понимает гистограмму задержек. Не знает назначения RTP, не может установить linuxrtp. Не различает QoS-политики DDS.

ПК-7: Не знает понятий leader, follower, heartbeat. Не понимает логику голосования 1002. Не знает Saga и компенсирующих транзакций.

ПК-10: Не может установить breakpoint в многопоточной программе в GDB. Не запускает stress-ng. Не может записать трассу trace-cmd.

Общие требования: Код неструктурирован, все функции в одном файле, отсутствуют комментарии. Студент не может защитить лабораторные работы, не ориентируется в выборе протоколов и алгоритмов планирования.