



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Института электроэнергетики и
электроники

_____ Р.Р. Гибадуллин

« 24 » февраля 2026г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.02 Программируемые логические контроллеры автоматизированных систем

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность
(профиль) Цифровая автоматизация и роботизация в
электроэнергетике

Квалификация _____ Магистр _____

г. Казань, 2026

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
ТОЭ	Старший преподаватель	Ерашова Ю.Н.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	Кафедра ТОЭ	28.01.2026	7	Зав. каф. ТОЭ, д.т.н., профессор Садыков М.Ф.
Согласована	Кафедра ТОЭ	28.01.2026	7	Зав. каф. ТОЭ, д.т.н., профессор Садыков М.Ф.
Согласована	Учебно-методический совет ИЭЭ	24.02.2025	№5	Директор ИЭЭ, к.т.н., доцент Гибадуллин Р.Р.
Одобрена	Ученый совет ИЭЭ	24.02.2025	№6	Директор ИЭЭ, к.т.н., доцент Гибадуллин Р.Р.

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у магистров системных знаний и практических навыков, и компетенций в области проектирования, программирования, конфигурирования и интеграции программируемых логических контроллеров (ПЛК) как ключевых элементов современных и перспективных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) в электроэнергетике

Задачами дисциплины являются:

1. Углубленный анализ и сравнительная оценка современных аппаратных платформ ПЛК, их периферии и сетевых технологий для выбора оптимальных решений под задачи энергетики.
2. Освоение методик и инструментов промышленного программирования (архитектурные паттерны, рефакторинг, контроль версий, автоматизированное тестирование).
3. Разработка навыков проектирования отказоустойчивых, масштабируемых и безопасных (в т.ч. кибербезопасность) программно-аппаратных комплексов.
4. Изучение принципов интеграции ПЛК-систем в состав АСУ ТП, SCADA-систем и систем связи промышленных сетей.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-1 Способен осуществлять эксплуатацию, развитие и цифровую трансформацию систем автоматизации и управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергообъектов	ПК-1.2 Осуществляет разработку, программирование и эксплуатационное обслуживание систем управления на базе программируемых логических контроллеров

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.

Цифровые системы автоматизации и управления

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.

Программируемые логические контроллеры автоматизированных систем

Производственная практика (проектная)

Производственная практика (преддипломная)

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр(ы)	
			1	2
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	9	324	108	216
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	117	32	85
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	2	72	24	48
Лекции	0,7	24	8	16
Практические (семинарские) занятия	0,4	16	-	16
Лабораторные работы	0,9	32	16	16
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	7	252	84	168
Проработка учебного материала	5	180	84	96
Курсовой проект	-	-	-	-
Курсовая работа	1	36	-	36
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36		36
Промежуточная аттестация:			3	Э
				КР

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1 Современные аппаратные платформы ПЛК и выбор архитектуры для энергообъектов	36	4	4		28	ТК1	ПК 1.2.3
Раздел 2 Языки и методологии программирования	36	2	6		28	ТК2	ПК-1.2.3, ПК-1.2.У
Раздел 3 Проектирование надежных и безопасных систем автоматизации	36	2	6		28	ТК3	ПК-1.2.У, ПК-1.2.В
Зачет						ОМ 1	ПК-1.2.3, ПК-1.2.У
Итого за 1 семестр	108	8	16		84		
Раздел 4 Интеграционные технологии и промышленные сети	44	4	4	4	32	ТК4	ПК-1.2.3, ПК-1.2.У
Раздел 5	50	6	6	6	32	ТК5	ПК-1.2.У

Эксплуатационное обслуживание и управление жизненным циклом АСУ ТП							
Раздел 6 Проектирование комплексных систем управления для цифровых подстанций	50	6	6	6	32	ТК6	ПК-1.2.У, ПК-1.2.В
Курсовая работа (КР)	36				36	ОМкр	ПК-1.2.У, ПК-1.2.В
Экзамен	36				36	ОМ 2	ПК-1.2.3, ПК-1.2.У, ПК-1.2.В
Итого за 2 семестр	216	16	16	16	168		
ИТОГО	324	24	32	16	252		

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Современные аппаратные платформы ПЛК и выбор архитектуры для энергообъектов.

Раздел посвящен изучению современных подходов к построению систем автоматизации на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) для объектов энергетики.

Тема 1.1. Эволюция архитектур ПЛК: от монолитных к распределенным и программно-определяемым контроллерам.

Рассматривается исторический путь развития аппаратного и программного обеспечения ПЛК: переход от жестких монолитных структур к гибким.

Тема 1.2. Критерии выбора ПЛК для задач энергетики: производительность, надежность (MTBF, SIL), периферия (аналоговые модули, счетчики).

Фокусируется на инженерных аспектах подбора оборудования. Анализируются ключевые критерии выбора ПЛК для энергетического сектора: требования к вычислительной мощности, показатели надежности и номенклатура периферийных модулей для работы с аналоговыми сигналами и высокоточного учета.

Тема 1.3. Сравнительный анализ платформ ведущих производителей (Siemens, Schneider Electric, ABB, БВК) для энергетики.

Проводится сравнительный анализ архитектуры и функциональных особенностей ПЛК ведущих мировых и отечественных брендов с акцентом на их применимость в различных сегментах энергетики.

Тема 1.4. Проектирование системной архитектуры: централизованная, децентрализованная, гибридная.

Изучаются методологии проектирования системной архитектуры. Рассматриваются достоинства и недостатки централизованных, децентрализованных гибких схем, а также принципы их реализации для обеспечения отказоустойчивости и масштабируемости энергообъектов

Раздел 2. Продвинутое языки и методологии программирования.

Раздел посвящен современным методам разработки программного обеспечения промышленных контроллеров, выходящим за рамки базового программирования.

Тема 2.1. Объектно-ориентированное программирование (ООП) в CODESYS и TIA Portal.

Рассматривается применение парадигмы объектно-ориентированного программирования (ООП) в ведущих средах разработки. Изучаются механизмы инкапсуляции, наследования и полиморфизма применительно к языкам для повышения модульности и переиспользуемости кода.

Тема 2.2. Стандарт МЭК 61499: концепция Function Blocks для распределенных систем.

Знакомство с перспективным стандартом МЭК 61499,

Ориентированным на распределение системы управления. Анализируется концепция функциональных блоков, управляемых потоком событий, и их преимущества перед классическими циклическими ПЛК при построении систем.

Тема 2.3. Инструменты контроля версий (Git) и практики CI/CD в разработке ПО для АСУ ТП.

Освещаются вопросы профессиональной разработки и командного взаимодействия. Рассматривается внедрение систем контроля версий в процессе создания ПО для АСУ ТП, а также адаптация практик непрерывной интеграции и доставки для автоматизации тестирования и развертывания проектов.

Тема 2.4. Рефакторинг и оптимизация legacy-кода. Паттерны проектирования для АСУ ТП.

Посвящена работе с унаследованным кодом: методам его рефакторинга, оптимизации и повышения надежности без остановки производства. Отдельное внимание уделяется применению паттернов проектирования, доказавших свою эффективность в задачах промышленной автоматизации.

Раздел 3. Проектирование надежных и безопасных систем.

Раздел посвящается критически важным аспектам создания надежных и защищенных систем автоматизации, работающих реальных угроз и отказов.

Тема 3.1. Функциональная безопасность (Functional Safety): стандарты МЭК 61508/61511, Safety PLC.

Рассматриваются принципы обеспечения функциональной безопасности на основе стандартов МЭК 61508 и 61511. Изучается архитектура и особенности Safety PLC — отказоустойчивых контроллеров, предназначенных для управления системами аварийной защиты и противоаварийной автоматики.

Тема 3.2. Кибербезопасность АСУ ТП (IEC 62443): threat modeling, сегментация сети, защита периметра.

Фокусируется на вопросах кибербезопасности промышленных систем в контексте стандарта IEC 62443. Анализируются методологии моделирования угроз (threat modeling), принципы сегментации промышленных сетей и построения защищенного периметра для предотвращения

несанкционированного доступа к АСУ ТП.

Тема 3.3. Методы отказоустойчивого проектирования (N-резервирование, hot standby).

Посвящена инженерным методам обеспечения бесперебойной работы ответственных объектов. Рассматриваются архитектурные решения с N-кратным резервированием, режимы hot standby и механизмы автоматического переключения на резерв без потери управления.

Тема 3.4. Верификация и валидация: автоматизированное тестирование, симуляция, HiL-тесты.

Охватывает современные подходы к контролю качества программного обеспечения. Изучаются процессы верификации и валидации, включая автоматизированное тестирование прикладных программ, методы симуляции технологических процессов и аппаратно-программное тестирование (HiL — Hardware-in-the-Loop) для максимально достоверной проверки работы контроллеров.

Раздел 4. Интеграционные технологии и промышленные сети.

Раздел посвящен вопросам интеграции систем автоматизации в единое информационное пространство предприятия, от физического уровня передачи данных до взаимодействия с облачными сервисами и бизнес-приложениями.

Тема 4.1. Промышленные сети: Profinet, EtherNet/IP, Modbus TCP. Time-Sensitive Networking (TSN).

Рассматриваются современные промышленные сети связи. Проводится сравнительный анализ протоколов Profinet, EtherNet/IP и Modbus TCP. Особое внимание уделяется технологии Time-Sensitive Networking (TSN), обеспечивающей детерминизм передачи данных в конвергентных сетях для задач реального времени.

Тема 4.2. OPC UA как основа семантической interoperability. Информационное моделирование.

Раскрывает концепцию семантической интероперабельности на основе стандарта OPC UA. Изучаются механизмы информационного моделирования (информационные модели, Companion Specifications), позволяющие унифицировать обмен данными между разнородными устройствами и системами на уровне смыслового контекста.

Тема 4.3. Паттерны интеграции ПЛК с MES/ERP, облачными платформами (PoT).

Фокусируется на вертикальной интеграции. Анализируются паттерны взаимодействия ПЛК с системами управления производством (MES), планирования ресурсов предприятия (ERP) и промышленными облачными платформами (PoT) для организации сбора данных, аналитики и предиктивного обслуживания.

Тема 4.4. Использование промышленных шлюзов и middleware для связи разнородных систем.

Посвящена практическим аспектам сопряжения устаревших и новых систем. Рассматривается использование промышленных шлюзов и промежуточного программного обеспечения (middleware) для конвертации

протоколов, обеспечения кибербезопасности и организации надежного канала связи между разнородными сегментами АСУ ТП.

Раздел 5. Эксплуатационное обслуживание и управление жизненным циклом АСУ ТП.

Раздел посвящен вопросам эффективного управления жизненным циклом АСУ ТП — от контроля изменений на этапе разработки до стратегий технического обслуживания и модернизации на этапе промышленной эксплуатации.

Тема 5.1. Управление конфигурацией, версиями и изменениями.

Рассматриваются процессы управления конфигурацией оборудования и программного обеспечения. Изучаются методы контроля версий прикладного ПО, документации и изменений в распределенных системах, а также процедуры управления конфигурациями для обеспечения целостности и воспроизводимости проекта.

Тема 5.2. Диагностика и анализ логов. Предиктивная аналитика для технического обслуживания.

Фокусируется на инструментах мониторинга состояния систем. Анализируются методы сбора и анализа диагностической информации и системных логов, а также подходы к реализации предиктивной аналитики, позволяющей прогнозировать отказы оборудования и оптимизировать графики технического обслуживания.

Тема 5.3. Планирование модернизации и миграции систем. Управление техническим долгом.

Посвящена стратегическому планированию развития систем. Рассматриваются критерии оценки устаревания компонентов, методы планирования поэтапной миграции и модернизации, а также концепция управления техническим долгом для минимизации рисков при обновлении унаследованных систем.

Тема 5.4. Регламенты планово-предупредительного ремонта (ППР). Интеграция с системами CMMS/EAM.

Раскрывает организационные аспекты эксплуатации. Изучаются современные регламенты планово-предупредительных ремонтов (ППР) применительно к средствам автоматизации и подходы к интеграции АСУ ТП с системами управления техническим обслуживанием и ремонтами (CMMS/EAM) для автоматизации процессов обслуживания и учета.

Раздел 6. Проектирование комплексных систем управления для цифровых подстанций.

Раздел носит прикладной и прогностический характер, объединяя анализ реальных проектов с рассмотрением перспективных направлений развития промышленной автоматизации в энергетике.

Тема 6.1. Анализ реальных кейсов внедрения ПЛК на энергообъектах (подстанция, ГЭС, ТЭЦ).

Проводится разбор реальных кейсов внедрения программируемых логических контроллеров на объектах генерации и распределения электроэнергии. Анализируются архитектурные решения, особенности

программирования и эксплуатации ПЛК в условиях подстанций, гидро- и теплоэлектростанций с выделением успешных практик и типовых проблем.

Тема 6.2. Проектирование АСУ ТП цифровой подстанции с использованием МЭК 61850 и ПЛК.

Фокусируется на проектировании автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) для цифровых подстанций. Рассматриваются принципы интеграции ПЛК с протокольным стеком МЭК 61850, включая работу с GOOSE-сообщениями, MMS и семантическую совместимость устройств защиты и автоматики.

Тема 6.3. Разработка концепции системы управления микрогридом на распределенных ПЛК.

Посвящена разработке концепции управления микрогридами — локальными энергосистемами с распределенной генерацией и накоплением энергии. Изучаются подходы к координации работы разнородных источников на базе распределенных ПЛК и алгоритмы обеспечения баланса мощности в островном и сетевом режимах.

Тема 6.4. Тенденции и перспективы: программно-определяемые АСУ ТП, цифровые двойники.

Завершает раздел обзором перспективных направлений развития отрасли. Рассматриваются концепции программно-определяемых АСУ ТП (Software-Defined Automation), обеспечивающих гибкость и перенастраиваемость систем, а также технологии создания цифровых двойников (Digital Twins) для моделирования, оптимизации и прогнозирования поведения энергообъектов на протяжении всего жизненного цикла.

3.4. Тематический план практических занятий

1. Анализ технического задания и выбор аппаратно-программной платформы ПЛК для типового энергообъекта.
2. Проектирование программной архитектуры с использованием объектно-ориентированного подхода (ООП) в CODESYS.
3. Разработка алгоритма управления с использованием языка Sequential Function Chart (SFC) для сложной последовательности операций.
4. Рефакторинг и оптимизация legacy-кода программы ПЛК.
5. Аудит кибербезопасности конфигурации промышленной сети и ПЛК.
6. Разработка технико-экономического обоснования (ТЭО) модернизации системы на базе ПЛК.
7. Моделирование и анализ отказоустойчивости системы на базе резервированных ПЛК.
8. Подготовка проектной документации и регламентов эксплуатационного обслуживания.

3.5. Тематический план лабораторных работ

1. Сравнительное тестирование и конфигурирование ПЛК разных вендоров.

2. Разработка объектно-ориентированной библиотеки функциональных блоков для системы телемеханики.
3. Рефакторинг и оптимизация программы управления резервным питанием.
4. Настройка OPC UA-сервера и киберзащиты на контроллере.
5. Создание и исполнение автоматизированных тестов для программы ПЛК в среде симуляции.
6. Интеграция данных ПЛК через MQTT в имитатор ПоТ-платформы.
7. Анализ журналов событий и диагностика неисправности в смоделированной системе.
8. Проектирование архитектуры отказоустойчивой системы управления на базе распределенных ПЛК.

3.6. Курсовой проект /курсовая работа

«Проект модернизации системы противоаварийной автоматики подстанции с миграцией на новую платформу ПЛК».

«Разработка архитектуры и прототипа системы управления микрогридом на базе распределенных ПЛК (МЭК 61499)».

«Создание цифрового двойника технологического процесса энергоблока для отладки ПО ПЛК».

«Проект интеграции данных АСУ ТП цифровой подстанции (ПЛК + МЭК 61850) в корпоративную аналитическую платформу».

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ПК-1	ПК-1.2	знать:				

<p>Способе н осущест лять эксплуат ацию, развитие и цифрову ю трансфор мацию систем автомати зации и управлен ия технолог ическим и процесса ми (АСУ ТП) энергооб ъектов</p>	<p>Осуществляет разработку, программиров ание и эксплуатацион ное обслуживание систем управления на базе программируе мых логических контроллеров</p>	<p>передовые архитектуры ПЛК и распределенны х систем управления; методологии промышленной разработки ПО для АСУ ТП; принципы организации надежных и безопасных систем; стандарты для эксплуатационн ого обслуживания; инструменты диагностики и предиктивной диагностики.</p>	<p>Знания носят системный, глубокий и прикладной характер. Студент демонстрирует свободное владение всей терминологией, понимание причинно- следственных связей между архитектурой, программирован ем и обслуживанием. Способен критически анализировать стандарты, сравнивать методологии и прогнозировать тенденции развития технологий ПЛК. Видит дисциплину как единый комплекс для решения комплексных инженерных задач.</p>	<p>Знания полные и прочные в объеме программы. Студент уверенно объясняет ключевые принципы, архитектуры и процессы. Понимает логику предмета, но анализ может быть менее глубоким, а сравнение — не всегда всесторонним. Могут отсутствовать детали по новейшим разработкам или сложным интеграционны м аспектам. Владеет знаниями, достаточными для решения стандартных задач.</p>	<p>Знания фрагментарны, недостаточно глубоки или имеют пробелы в ключевых разделах. Освоена в основном общая, описательная информация. Воспроизводит определения и отдельные факты, но испытывает трудности с установлением связей между ними. Понимание поверхностное, аналитические способности слабо развиты.</p>	<p>Знания отрывочны, содержат грубые ошибки или отсутствуют по значительной части программы. Не усвоены базовые понятия и термины. Не понимает сути изучаемых процессов и систем. Не может объяснить даже основные принципы.</p>
		<p>уметь:</p>				

		<p>выполнять сравнительный анализ и выбор аппаратно-программной платформы ПЛК под конкретные требования ТЗ энергообъекта; проектировать модульную сопровождающую архитектуру программного комплекса с использованием объектно-ориентированных подходов; проводить аудит существующего кода и аппаратной конфигурации; разрабатывать регламенты планово-предупредительного обслуживания и модернизации.</p>	<p>Умеет проводить всесторонний сравнительный анализ, выявляя неочевидные преимущества и риски. Самостоятельно разрабатывает оптимальные, масштабируемые и документированные архитектурные решения. Творчески применяет ООП и средства контроля версий, внося вклад в улучшение процессов команды. Предлагает инновационные сценарии применения технологий.решений.</p>	<p>Умеет выполнять полный анализ и выбор платформы по заданному алгоритму. Разрабатывает работоспособные, логически правильные архитектуры на основе изученных шаблонов. Уверенно использует ООП и Git для решения типовых задач проектирования. Работает эффективно под умеренным руководством.</p>	<p>Умеет проводить поверхностный, описательный анализ. Проектирует упрощенные, фрагментарные архитектуры, часто следуя жесткому шаблону. Испытывает трудности с применением ООП-принципов на практике. Работа с Git сводится к базовым операциям под подробным руководством. Самостоятельная разработка затруднена.</p>	<p>Не умеет провести осмысленный анализ или сделать обоснованный выбор. Предлагаемые архитектурные решения технически нереализуемы или абсурдны. Не может применить ООП или системы контроля версий даже для элементарных задач. Не способен сформулировать осмысленный подход к проектированию.</p>
		Владеть:				

		методами проектирования и расчета схем интеграции РТС с системами управления энергообъектами.	Владеет инструментами свободно и творчески, используя их для решения нестандартных задач. Демонстрирует виртуозные навыки рефакторинга, значительно повышая качество кода. Самостоятельно проектирует и внедряет комплексные меры киберзащиты. Эффективно интегрирует разнородные системы, создавая надежные и масштабируемые решения. Способен предвидеть и нивелировать потенциальные конфликты.	Владеет основным набором инструментов уверенно, для решения типовых задач. Выполняет базовый рефакторинг и оптимизацию по методикам. Настраивает киберзащиту по готовым рекомендациям. Реализует стандартные сценарии интеграции данных. Может использовать ПО для моделирования по инструкции, но интерпретация сложных результатов может вызывать затруднения.	Владеет инструментами неуверенно, только под руководством или по строгому шаблону. Воспроизводит простейшие приемы рефакторинга. Выполняет элементарные настройки безопасности. Интеграционные решения носят фрагментарный упрощенный характер. Практически не способен самостоятельно моделированию или корректной интерпретации готовых моделей.	Не владеет инструментами разработки и симуляции. Не может провести рефакторинг, настроить безопасность или выполнить интеграцию. Не понимает логики работы даже простейших схем. Любые попытки практической работы приводят к неверным или неработоспособным результатам. Не может назвать или объяснить базовые подходы.результатам.
--	--	---	--	--	--	---

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

4.1. Учебно-методическое обеспечение

4.1.1. Основная литература

1. Вдовиченко В.В. Программирование микропроцессорных контроллеров : учебное пособие / В. В. Вдовиченко. - Санкт-Петербург : Лань, 2026. - 213 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/511864>. - ISBN 978-5-507-53856-0. - Текст : электронный.

2. Аполлонский, С. М. Электрические аппараты управления и автоматики : учебное пособие для вузов / С. М. Аполлонский, Ю. В. Куклев, В. Я. Фролов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 256 с. — ISBN 978-5-507-53867-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/503413>.

3. Ставров С.Г. Языки и методы программирования ПЛК : учебное

пособие / С. Г. Ставров, В. М. Пушков, О. В. Блинов ; науч. ред. С. Б. Плетников. - Иваново : ИГЭУ, 2020. - 64 с. - URL: <https://elib.ispu.ru/node/8406>. - Текст : электронный.

4. Тугов В. В. Проектирование автоматизированных систем управления : учебное пособие / В. В. Тугов, А. И. Сергеев, Н. С. Шаров. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2026. - 169 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/508785>. - ISBN 978-5-507-51265-2. - Текст : электронный.

4.1.2. Дополнительная литература

1. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega : руководство пользователя / А. В. Евстифеев. - Москва : Додэка - XXI, 2007. - 592 с. - Текст : непосредственный.

2. Смирнов Ю. А. Технические средства автоматизации и управления : учебное пособие / Ю. А. Смирнов. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 456 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/174286>. - Текст : электронный.

4.2. Информационное обеспечение

4.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

Электронные ресурсы КГЭУ: <https://lms.kgeu.ru/>

4.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

1. Российская национальная библиотека

Адрес: <http://nlr.ru/>

2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU

Адрес: <http://elibrary.ru>

3. Электронная библиотека диссертаций (РГБ)

Адрес: diss.rsl.ru

4. Национальная электронная библиотека (НЭБ)

Адрес: <https://rusneb.ru/>

5. Техническая библиотека

Адрес: <http://techlibrary.ru>

6. Федеральный институт промышленной собственности

Адрес: new.fips.ru

7. Информационные справочные системы – ИСС «Кодекс» / «Техэксперт»

Адрес: <http://app.kgeu.local/Home/Apps>

4.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

1. Windows 7 Профессиональная (Starter)

2. LabVIEW Professional Development System for Windows

3. NI Academic Site License – Multisim Teaching Only (Smaili)
4. NI Academic Site License – LabVIEW Teaching and Research (Smaili)
5. Office Professional Plus 2007 Windows32 Russian DiskKit MVL CD
6. LabVIEW DIGITAL Filter
7. LabVIEW Full Development System for Windows (NI Software Suite)
8. NI LabVIEW Signal Express for Windows (Сервис на ПО NI)
9. Adobe Acrobat
10. LMS Moodle
11. SCADA-система

5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	А-304	Доска аудиторная, компьютер в комплекте с монитором, проектор
Практические занятия	А-309	Доска аудиторная, компьютеры с мониторами (12 шт.), проектор
Лабораторные работы	Учебная лаборатория «компьютерное моделирование и ижиниринг в области энергетики и машиностроения», Г-408 Компьютерный класс с выходом в Интернет	Специализированной лабораторное оборудование по профилю лаборатории: Специализированная учебная мебель, технические средства обучения
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет А-309	компьютеры с мониторами (12 шт.), проектор
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

6. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-

двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www//kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время

занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

7. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности

ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГУ»)

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине

Б1.В.02 Программируемые логические контроллеры автоматизированных систем

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность
(профиль) Цифровая автоматизация и роботизация в
электроэнергетике

Квалификация Магистр

Оценочные материалы по дисциплине «Программируемые логические контроллеры автоматизированных систем» предназначены для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

1. Технологическая карта

Семестр 1 (зачет)

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
Раздел 1. «Современные аппаратные платформы ПЛК и выбор архитектуры для энергообъектов»	ТК1	10	0-15					10-25	10-25
Защита лабораторной работы		10							
Раздел 2. «Языки и методологии программирования»	ТК2			20	0-15			20-35	20-35
Защита лабораторной работы				20					
Раздел 3. «Проектирование надежных и безопасных систем»	ТК3					25	0-15	25-40	25-40
Конспектирование учебного материала						5			
Защита лабораторной работы						10			
Письменный опрос						10			
Промежуточная аттестация (зачет)	ОМ 1								0-45
Задание промежуточной									0-45

Семестр 2(КР)

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
Этап 1. «Подготовительный (теоретико-аналитический)»		15	0-15					15-30	15-30

1. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ПК-1	ПК-1.2	знать:	Знания носят системный, глубокий и прикладной характер. Студент демонстрирует свободное владение всей терминологией, понимание причинно-следственных связей между архитектурой, программированием и обслуживанием. Способен критически анализировать стандарты, сравнивать методологии и прогнозировать тенденции развития технологий ПЛК. Видит дисциплину как единый комплекс для решения комплексных инженерных задач.	Знания полные и прочные в объеме программы. Студент уверенно объясняет ключевые принципы, архитектуры и процессы. Понимает логику предмета, но анализ может быть менее глубоким, а сравнение — не всегда всесторонним. Могут отсутствовать детали по новейшим разработкам или сложным интеграционным аспектам. Владеет знаниями, достаточными для решения стандартных задач.	Знания фрагментарны, недостаточно глубоки или имеют пробелы в ключевых разделах. Освоена в основном общая, описательная информация. Воспроизводит определения и отдельные факты, но испытывает трудности с установлением связей между ними. Понимание поверхностное, аналитические способности слабо развиты.	Знания отрывочны, содержат грубые ошибки или отсутствуют по значительной части программы. Не усвоены базовые понятия и термины. Не понимает сути изучаемых процессов и систем. Не может объяснить даже основные принципы.
Способность осуществлять эксплуатацию, развитие и цифровую трансформацию систем автоматизации и управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергообъектов	Осуществляет разработку, программирование и эксплуатационное обслуживание систем управления на базе программируемых логических контроллеров	передовые архитектуры ПЛК и распределенных систем управления; методологии промышленной разработки ПО для АСУ ТП; принципы организации надежных и безопасных систем; стандарты для эксплуатационного обслуживания; инструменты диагностики и предиктивной диагностики.				
уметь:						

		<p>выполнять сравнительный анализ и выбор аппаратно-программной платформы ПЛК под конкретные требования ТЗ энергообъекта; проектировать модульную сопровождающую архитектуру программного комплекса с использованием объектно-ориентированных подходов; проводить аудит существующего кода и аппаратной конфигурации; разрабатывать регламенты планово-предупредительного обслуживания и модернизации.</p>	<p>Умеет проводить всесторонний анализ, выявляя неочевидные преимущества и риски. Самостоятельно разрабатывает оптимальные, масштабируемые и документированные архитектурные решения. Творчески применяет ООП и средства контроля версий, внося вклад в улучшение процессов команд. Предлагает инновационные сценарии применения технологий.решений.</p>	<p>Умеет выполнять полный анализ и выбор платформы по заданному алгоритму. Разрабатывает работоспособные, логически правильные архитектуры на основе изученных шаблонов. Уверенно использует ООП и Git для решения типовых задач проектирования. Работает эффективно под умеренным руководством.</p>	<p>Умеет проводить поверхностный, описательный анализ. Проектирует упрощенные, фрагментарные архитектуры, часто следуя жесткому шаблону. Испытывает трудности с применением ООП-принципов на практике. Работа с Git сводится к базовым операциям под подробным руководством. Самостоятельная разработка затруднена.</p>	<p>Не умеет провести осмысленный анализ или сделать обоснованный выбор. Предлагаемые архитектурные решения технически нереализуемы или абсурдны. Не может применить ООП или системы контроля версий даже для элементарных задач. Не способен сформулировать осмысленный подход к проектированию.</p>
<p>владеть:</p>		<p>методами проектирования и расчета схем интеграции РТС с системами управления энергообъектами.</p>	<p>Владеет инструментами свободно и творчески, используя их для решения нестандартных задач. Демонстрирует виртуозные навыки рефакторинга, значительно повышая качество кода. Самостоятельно проектирует и внедряет комплексные меры киберзащиты. Эффективно интегрирует разнородные системы, создавая надежные и масштабируемые решения. Способен предвидеть и нивелировать потенциальные конфликты.</p>	<p>Владеет основным набором инструментов уверенно, для решения типовых задач. Выполняет базовый рефакторинг и оптимизацию по методикам. Настраивает киберзащиту по готовым рекомендациям. Реализует стандартные сценарии интеграции данных. Может использовать ПО для моделирования по инструкции, но интерпретация сложных результатов может вызывать затруднения.</p>	<p>Владеет инструментами неуверенно, только под руководством или по строгому шаблону. Воспроизводит простейшие приемы рефакторинга. Выполняет элементарные настройки безопасности. Интеграционные решения носят фрагментарный или излишне упрощенный характер. Практически не способен к самостоятельному моделированию или корректной интерпретации готовых моделей.</p>	<p>Не владеет инструментами разработки и симуляции. Не может провести рефакторинг, настроить безопасность или выполнить интеграцию. Не понимает логики работы даже простейших схем. Любые попытки практической работы приводят к неверным или неработоспособным результатам. Не может назвать или объяснить базовые подходы.результатам.</p>

Оценка **«отлично»** выставляется за *глубокие и детализированные знания по всем разделам дисциплины, выходящие за рамки обязательной программы. Свободно применяет полученные знания для решения сложных, комплексных задач, моделирующих реальные профессиональные ситуации в области проектирования и обслуживания систем на ПЛК. Видит междисциплинарные связи.*

Оценка **«хорошо»** выставляется за *полный и прочный объем знаний в рамках программы. Уверенно объясняет ключевые принципы, архитектуры и процессы, понимает логику предмета. Уверенно применяет знания для решения стандартных задач, предусмотренных программой.*

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за *фрагментарные, недостаточно глубокие знания. Выполняет простейшие виды работ.*

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за *недостаточное усвоение базовой терминологии и принципов дисциплины, невозможность применять знания на практике, отсутствие понимания принципиальной структуры и назначения систем на ПЛК.*

2. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Кейс-задача (КЗ)	Проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы	Задания для решения кейс-задачи
Курсовой проект (КП),	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся	Темы проектов
Конспектирование учебного материала	Краткое текстовое представление переработанной информации	Перечень разделов

Отчет по лабораторной работе (ОЛР)	Выполнение лабораторной работы, обработка результатов испытаний, измерений, эксперимента. Оформление отчета, защита результатов лабораторной работы по отчету	Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы, перечень требований к отчету
------------------------------------	---	--

3. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Текущий контроль ТК1:

Проверяемая компетенция: ПК 1.2.3

ЛР 1. Сравнительное тестирование и конфигурирование ПЛК разных вендоров

Базовые вопросы:

1. Какие конкретные модели ПЛК и от каких производителей вы сравнивали?
2. Назовите их основные аппаратные характеристики (тип ЦП, объем памяти, количество слотов).
3. Опишите пошагово процесс начальной конфигурации (создание проекта, настройка аппаратной конфигурации, загрузка ОС) для одного из изученных ПЛК.
4. Какой интерфейс программирования (среда разработки) использовался для каждого контроллера?
5. В чем вы видите основные различия в пользовательском интерфейсе и логике работы?

Углубленные вопросы:

6. По каким ключевым критериям (например: стоимость, поддержка специфических промышленных протоколов, наличие safety-функций, экосистема датчиков) вы проводили сравнение?
7. Какой ПЛК и почему оказался предпочтительнее для гипотетического проекта АСУ ТП подстанции?
8. С какими типичными трудностями можно столкнуться при миграции проекта с одного типа ПЛК (например, Siemens) на другой (например, CODESYS-совместимый)? Можно ли говорить о полной переносимости кода?
9. В чем заключаются архитектурные различия (монолитная vs. модульная, централизованная vs. распределенная) между рассмотренными платформами и как это влияет на область их применения в энергетике?

Текущий контроль ТК2:

Проверяемая компетенция: ПК-1.2.3, ПК-1.2.У

ЛР 2. Разработка объектно-ориентированной библиотеки

функциональных блоков для системы телемеханики

Базовые вопросы:

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте функциональные блоки (классы), которые вы разработали в своей библиотеке (например, Дискретный Сигнал, Телемеханическая Команда, Уставка ПИД).
2. Что такое инкапсуляция в контексте ООП для ПЛК?
3. Приведите пример из вашей работы: какие данные вы «спрятали» внутри блока, а какие сделали доступными (интерфейс)?
4. Как вы организовали наследование в библиотеке?
5. Приведите пример родительского и дочернего класса, объясните преимущество такого подхода.

Углубленные вопросы:

6. Как использование ООП-библиотеки, по вашему мнению, повлияет на скорость разработки, читаемость и сопровождаемость большого проекта АСУ ТП по сравнению с традиционным подходом (набором изолированных программ)?
7. Опишите механизм обработки ошибок или исключительных ситуаций внутри ваших функциональных блоков.
8. Как обеспечивается безопасность при некорректных входных данных?
9. Каким образом ваша библиотека может быть адаптирована или расширена для поддержки стандарта МЭК 61850 (цифровые подстанции)? Какие новые классы или методы потребовались бы?

ЛР 3. Рефакторинг и оптимизация программы управления резервным питанием

Базовые вопросы:

1. Что такое «запах кода» (code smell)? Приведите 2-3 конкретных примера, которые вы обнаружили в исходной программе.
2. Какие конкретные приемы рефакторинга вы применили (например, «Выделение метода», «Замена магического числа константой», «Инкапсуляция поля»)? Покажите на фрагменте кода «до» и «после».
3. Как вы оценивали эффективность оптимизации? Измерили ли вы время выполнения цикла или использование памяти до и после изменений?

Углубленные вопросы:

4. При рефакторинге как вы обеспечивали, что функциональность программы не сломалась? Использовали ли вы какие-либо методы верификации (например, модульные тесты, проверку на тестовых сценариях)?
5. Объясните, как оптимизация кода влияет не только на быстродействие, но и на надежность системы и удобство ее дальнейшего обслуживания.
6. В какой момент проекта модернизации АСУ ТП целесообразно проводить крупный рефакторинг? Каковы риски и преимущества?

Текущий контроль ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ПК-1.2.У, ПК-1.2.В

ЛР 4. Настройка OPC UA-сервера и киберзащиты на контроллере

Базовые вопросы:

1. Объясните простыми словами, чем OPC UA принципиально отличается от классического OPC DA? В чем его основные преимущества для современных АСУ ТП?

2. Какие «узлы» (Nodes) и «пространства имен» (Namespaces) вы создали в адресном пространстве OPC UA-сервера? Как они соответствуют переменным вашей программы ПЛК?

3. Перечислите основные меры кибербезопасности, которые вы настроили на контроллере или в сети (например, аутентификация, шифрование, файрвол).

Углубленные вопросы:

4. Опишите возможные последствия для энергообъекта, если OPC UA-сервер ПЛК будет сконфигурирован без базовых мер безопасности и окажется в открытой сети. Каков наиболее вероятный вектор атаки?

5. Как стандарт IEC 62443 (кибербезопасность АСУ ТП) регламентирует настройку таких сервисов, как OPC UA? На каком уровне (1-4) вы проводили настройку в лабораторной работе?

6. Предложите архитектурное решение, как можно организовать безопасный сбор данных с десятков ПЛК, развернутых на разных подстанциях, в единый центр мониторинга с использованием OPC UA.

Конспектирование учебного материала по разделам:

Раздел 1. *Современные аппаратные платформы ПЛК и выбор архитектуры для энергообъектов.*

Тема 1.1. Эволюция архитектур ПЛК: от монолитных к распределенным и программно-определяемым контроллерам.

Тема 1.2. Критерии выбора ПЛК для задач энергетики: производительность, надежность (MTBF, SIL), периферия (аналоговые модули, счетчики).

Тема 1.3. Сравнительный анализ платформ ведущих производителей (Siemens, Schneider Electric, ABB, БВК) для энергетики.

Тема 1.4. Проектирование системной архитектуры: централизованная, децентрализованная, гибридная.

Раздел 2. *Продвинутые языки и методологии программирования.*

Тема 2.1. Объектно-ориентированное программирование (ООП) в CODESYS и TIA Portal.

Тема 2.2. Стандарт МЭК 61499: концепция Function Blocks для распределенных систем.

Тема 2.3. Инструменты контроля версий (Git) и практики CI/CD в разработке ПО для АСУ ТП.

Тема 2.4. Рефакторинг и оптимизация legacy-кода. Паттерны проектирования для АСУ ТП.

Раздел 3. *Проектирование надежных и безопасных систем.*

Тема 3.1. Функциональная безопасность (Functional Safety): стандарты МЭК 61508/61511, Safety PLC.

Тема 3.2. Кибербезопасность АСУ ТП (IEC 62443): threat modeling, сегментация сети, защита периметра.

Тема 3.3. Методы отказоустойчивого проектирования (N-резервирование, hot standby).

Тема 3.4. Верификация и валидация: автоматизированное тестирование, симуляция, HiL-тесты.

Вопросы для письменного опроса.

1. Назовите три основных этапа эволюции архитектур ПЛК.
2. Чем распределенный ПЛК принципиально отличается от монолитного?
3. Что означает аббревиатура «SDPC» (Software-Defined Programmable Controller)?
4. Что означает показатель MTBF и как он связан с надежностью?
5. Назовите два ключевых критерия выбора ПЛК для системы противоаварийной автоматики.
6. Какой тип периферийного модуля необходим для подключения датчика 4-20 мА?
7. Какая основная среда разработки используется для программирования ПЛК Siemens S7-1500?
8. Назовите ключевое преимущество отечественных ББК (блочномодульных вычислительных комплексов) в контексте импортозамещения.
9. Какой производитель сильно продвигает концепцию «EcoStruxure» для энергетики?
10. В чем основной недостаток централизованной архитектуры АСУ ТП?
11. Когда применяется децентрализованная (распределенная) архитектура?
12. Что такое гибридная архитектура и где она может использоваться?
13. Назовите три основных принципа ООП.
14. Что такое «функциональный блок» в CODESYS с точки зрения ООП?
15. Можно ли создать класс в TIA Portal? Если да, то как называется аналог?
16. Что является основной единицей композиции в стандарте МЭК 61499?
17. Чем МЭК 61499 лучше подходит для распределенных систем, чем МЭК 61131-3?
18. Что такое «сеть функциональных блоков» (FBN)?
19. Для чего в проекте АСУ ТП используется система контроля версий Git?
20. Что означает аббревиатура CI/CD?

21. Какой этап CI/CD может автоматически проверять сборку проекта ПЛК?
22. Что такое «рефакторинг» кода?
23. Назовите один распространенный «запах кода» (code smell) в программах ПЛК.
24. Какой паттерн проектирования часто используется для реализации конечного автомата в АСУ ТП?
25. Что определяет стандарт МЭК 61508?
26. Что означает уровень полноты безопасности SIL 2?
27. Чем Safety PLC отличается от обычного ПЛК?
28. Назовите три основные угрозы (threats) кибербезопасности для АСУ ТП.
29. Что такое сегментация сети и зачем она нужна?
30. Какой стандарт является основным для кибербезопасности АСУ ТП?
31. В чем разница между резервированием 1oo2 и 2oo3?
32. Что обеспечивает более быстрое переключение: hot standby или cold standby?
33. Что такое «бутылочное горло» в отказоустойчивой архитектуре?
34. Что такое валидация в контексте ПО для ПЛК?
35. Чем HiL-тест (Hardware-in-the-Loop) лучше чистой симуляции?
36. Назовите один из инструментов для автоматизированного тестирования программ ПЛК.

Текущий контроль ТК4:

Проверяемая компетенция: ПК-1.2.3, ПК-1.2.У

ЛР 5. Создание и исполнение автоматизированных тестов для программы ПЛК в среде симуляции

Базовые вопросы:

1. Что такое модульное тестирование (Unit Testing) применительно к программам для ПЛК? Что являлось «модулем» или «юнитом» в вашем тестировании?
2. Опишите один из созданных вами тестовых случаев (Test Case): какие входные данные подавались, какое поведение (выходные данные) ожидалось и проверялось?
3. Какую среду симуляции вы использовали? В чем ее преимущества перед тестированием на реальном «железе»?

Углубленные вопросы

4. Какие типы ошибок или дефектов могут быть обнаружены с помощью автоматизированных тестов в симуляции, а какие — нет? Приведите примеры.
5. Как можно интегрировать процесс автоматического тестирования в цикл разработки ПО для АСУ ТП (CI/CD)? В чем практическая польза такого подхода для энергетической компании?
6. Разработайте концепцию тестирования для системы управления,

которая должна реагировать на аварийные события за строго заданное время (требование real-time). Как это можно проверить в симуляции?

Кейс 1: Выбор платформы ПЛК для модернизации системы релейной защиты и автоматики (РЗА) ячейки КРУ-110 кВ

Задание:

1. Анализ требований: На основе спецификации (защита от КЗ, АПВ, синхронизация, ввод/вывод дискретных и аналоговых сигналов ТТ/ТН, соответствие требованиям SIL 2/3, поддержка МЭК 61850-8-1 GOOSE/SV) составьте сравнительную таблицу для специализированных контроллеров РЗА или advanced ПЛК (например, Siemens SIPROTEC 5, Schneider Electric MiCOM Px, ABB REF 6xx, БВК «Ретом»).

2. Выбор и обоснование: Предложите конкретную аппаратную платформу и состав модулей. Дайте развернутое письменное обоснование, связав выбор с требованиями энергетики: скорость обработки (< 1 мс для защиты), помехоустойчивость, работа в условиях ЭМ помех подстанции, поддержка критичных протоколов.

3. Архитектурный эскиз: Изобразите схему подключения выбранного устройства к вторичным цепям (ТТ, ТН, цепи управления выключателем) и к промышленной сети АСУ ТП.

Кейс 2: Разработка объектно-ориентированной библиотеки функциональных блоков для цифровой подстанции (МЭК 61850)

Задание:

1. Проектирование классов: Разработайте диаграмму классов (UML) для ключевых логических узлов (Logical Nodes): XCVR (выключатель), MMXU (измерения), PTOC (защита от перегрузки по току). Определите атрибуты (данные) и методы (сервисы) в соответствии со стандартом.

2. Реализация принципов: Покажите, как принципы инкапсуляции (скрытие реализации GOOSE-рассылки), наследования (базовый класс Logical_Node) и полиморфизма (общий интерфейс для отправки сообщений MMS/GOOSE) реализованы в вашей библиотеке.

3. Привязка к SCL: Опишите, как созданные программные классы будут связаны с файлом описания конфигурации подстанции (SSD/SCD-файл).

Текущий контроль ТК5:

Проверяемая компетенция: ПК-1.2.У

ЛР 6. Интеграция данных ПЛК через MQTT в имитатор IoT-платформы

Базовые вопросы:

1. Объясните архитектуру «издатель-подписчик» (publish-subscribe). Кто в вашей лабораторной работе выступал в роли издателя (publisher), а кто — подписчика (subscriber)?

2. Что такое «топик» (topic) в MQTT? По какому принципу вы организовали структуру топиков для передачи данных (например, kgeu/power_station/voltage)?

3. Какие данные (теги) с ПЛК вы передавали на IoT-платформу и с какой периодичностью?

Углубленные вопросы:

4. Сравните протоколы MQTT и OPC UA для задач промышленного IoT. В каких сценариях предпочтительнее использовать MQTT, а в каких OPC UA? Можно ли их использовать совместно?

5. Какие механизмы обеспечения качества обслуживания (QoS levels) предусмотрены в MQTT и какой уровень вы использовали? Почему? Что произойдет при потере связи?

6. Предложите, как на основе потока данных с ПЛК в IoT-платформе можно построить простейшую систему предиктивной аналитики (например, прогнозирование нагрузки или выявление аномалий).

ЛР 7. Анализ журналов событий и диагностика неисправности в смоделированной системе

Базовые вопросы:

1. Какие источники журналов (логов) вы анализировали (журнал контроллера, системные события, алармы SCADA)?

2. Опишите симптом неисправности, которая была смоделирована в системе (например, «не срабатывает команда на включение выключателя»).

3. Какую последовательность событий в журнале вы идентифицировали как ключевую для диагностики? Как вы отделили причину от следствия?

Углубленные вопросы:

4. Разработайте общий алгоритм действий инженера при анализе сложного, неочевидного сбоя в АСУ ТП на основе журналов событий. С чего начать, на что обращать внимание в первую очередь?

5. Какие инструменты (например, Logstash, Grafana, специализированные SCADA-инструменты) могут помочь автоматизировать сбор, фильтрацию и визуализацию журналов с множества энергообъектов?

6. Как информация из журналов событий может быть использована для формирования «цифрового следа» оборудования и планирования его технического обслуживания (переход от реактивного к предиктивному обслуживанию)?

Кейс 3: Алгоритм автоматического восстановления питания секции собственных нужд (СН) подстанции

Задание:

1. Разработка SFC: Создайте детальную SFC-диаграмму. Основные шаги: «Нормальная схема (Ввод1)», «Контроль напряжения Ввод1», «Потеря напряжения», «Попытка АВР на Ввод2», «Контроль готовности ДГ», «Запуск ДГ и переключение», «Восстановление основного ввода».

2. Учет специфики энергетики: Встройте в алгоритм обязательные для энергетики задержки (для гашения дуги, проверки синхронизма), блокировки от многократных включений и приоритетность источников.

3. Диагностика: Добавьте параллельные ветви для формирования аварийных сигналов и журналирования событий с временными метками для последующего анализа.

Кейс 4: Рефакторинг программы ПЛК системы регулирования возбуждения синхронного генератора (АРВ)

Задание:

1. Анализ энергетического кода: Изучите предоставленный фрагмент (содержит прямое управление тиристорным преобразователем, ПИД-регулирование напряжения, ограничители). Найдите 3-4 характерные для АСУ ТП энергообъектов проблемы: «жестко зашитые» уставки, отсутствие режима «ручного/автоматического» управления, смещение алгоритмов регулирования и логики защиты.

2. Стратегия рефакторинга: Предложите план, включающий: выделение функциональных блоков для ПИД_Регулятор_Напряжения, Ограничитель_Статора_РотОра, Логика_Переключения_Режимов; введение структур для уставок; организацию кода по функциональным слоям (управление, регулирование, защита).

3. Оптимизация для реального времени: Предложите изменения, направленные на снижение времени выполнения цикла (например, замена тригонометрических вычислений табличными данными, оптимизация алгоритма ПИД).

Кейс 5: Аудит кибербезопасности сегмента сети АСУ ТП цифровой подстанции

Задание:

1. Анализ топологии: На схеме сегмента сети (IED, коммутаторы, межсетевой экран, АРМ) идентифицируйте критические с точки зрения ИБ точки: несанкционированные физические порты, непроверенный трафик SV, отсутствие аутентификации GOOSE-сообщений, прямой доступ из корпоративной сети.

2. Разработка мер: Для каждой угрозы предложите конкретные контрмеры: настройка списков контроля доступа (ACL) на коммутаторах для трафика SV/GOOSE, применение цифровых подписей для GOOSE, обязательное использование VPN для удаленного доступа инженеров.

Соответствие стандартам: Сопоставьте предлагаемые меры с требованиями конкретных разделов стандартов ИБПАЗ (Росстандарт) или IEC 62443.

Текущий контроль ТК6:

Проверяемая компетенция: ПК-1.2.У, ПК-1.2.В

ЛР 8. Проектирование архитектуры отказоустойчивой системы управления на базе распределенных ПЛК

Базовые вопросы:

1. Какую топологию сети (звезда, кольцо, линейная) вы выбрали для связи распределенных ПЛК? Объясните свой выбор.

2. Что такое «горячее» (hot standby) и «холодное» (cold standby) резервирование? Какой тип и для каких компонентов системы (ЦП, сеть, питание) вы заложили в проект?

3. Как в вашей архитектуре организован обмен данными между главным и резервным контроллером для обеспечения бесшовного переключения?

Углубленные вопросы:

4. Рассчитайте (или оцените) показатель доступности (Availability) вашей спроектированной системы. Какие факторы влияют на него наибольшим образом?

5. Как требования стандарта МЭК 61508/61511 (функциональная безопасность) влияют на архитектурные решения при проектировании отказоустойчивых систем для критически важных энергообъектов (например, систем защиты)?

6. Предложите и обоснуйте решение для случая, когда необходимо обеспечить отказоустойчивость не только на уровне одного объекта (подстанции), но и на уровне сети распределенных объектов (микросетей). Какие новые вызовы это создает?

Кейс 6: ТЭО внедрения системы предиктивной аналитики для главных силовых трансформаторов на базе ПЛК и IoT

Задание:

1. Расчет КапЭкс: Составьте смету на оборудование (ПЛК, датчики ДГС, термометры, шлюзы IoT, облачная подписка) и работы для 3 трансформаторов.

2. Расчет экономического эффекта: Оцените предотвращенные убытки от одного прогнозируемого избежания аварии трансформатора (стоимость ремонта, недоотпуск электроэнергии). Оцените эффект от оптимизации ремонтов (переход от планово-предупредительных к ремонтам по состоянию).

3. Оценка окупаемости: Рассчитайте чистый дисконтированный доход (NPV) или срок окупаемости проекта. Учтите операционные расходы (обслуживание ПО, каналы связи).

Кейс 7: Моделирование отказоустойчивости системы управления технологическими защитами энергоблока

Задание:

1. Выбор архитектуры: Обоснуйте выбор архитектуры резервирования (например, 2oo3 с горячим резервом) для достижения требуемых показателей безопасности. Сравните с архитектурой 1oo2.

2. Расчет показателей надежности: Используя модель Маркова или дерево отказов, оцените PFD (Probability of Failure on Demand) для

предложенной архитектуры, задав интенсивности отказов для ПЛК, источников питания, датчиков.

3. Анализ зависимости: Проанализируйте, как на итоговую надежность системы влияет регулярность функционального тестирования (proof test) и его полнота.

Кейс 8: Разработка регламента эксплуатации и обслуживания ПЛК в составе АСУ ТП распределительной сети 6-10 кВ

Задание:

1. Регламент ввода в эксплуатацию: Разработайте пошаговую процедуру для бригады при включении нового ПЛК на КТП: проверка заземления, настройка адресации по протоколу DNP3 или IEC 60870-5-104, тестовый опрос телеметрии, проверка работы дискретных выходов на отключение фидера.

2. Регламент планового ТО: Создайте помесичный и годичный чек-лист для диспетчерской службы и выездных бригад: проверка уровня заряда батареи резервного питания ПЛК, верификация контрольных сумм программы, анализ журналов срабатываний защит, тестовый опрос всех сигналов.

3. Инструкция при неисправности: Разработайте четкий алгоритм действий диспетчера при поступлении сигнала «Отказ ПЛК» или потере связи: анализ альтернативных данных, переключение на локальное ручное управление на объекте, вызов аварийной бригады с запасным модулем.

Конспектирование учебного материала по разделам:

Раздел 4. *Интеграционные технологии и промышленные сети.*

Тема 4.1. Промышленные сети: Profinet, EtherNet/IP, Modbus TCP. Time-Sensitive Networking (TSN).

Тема 4.2. OPC UA как основа семантической interoperability. Информационное моделирование.

Тема 4.3. Паттерны интеграции ПЛК с MES/ERP, облачными платформами (IoT).

Тема 4.4. Использование промышленных шлюзов и middleware для связи разнородных систем.

Раздел 5. *Эксплуатационное обслуживание и управление жизненным циклом АСУ ТП.*

Тема 5.1. Управление конфигурацией, версиями и изменениями.

Тема 5.2. Диагностика и анализ логов. Предиктивная аналитика для технического обслуживания.

Тема 5.3. Планирование модернизации и миграции систем. Управление техническим долгом.

Тема 5.4. Регламенты планово-предупредительного ремонта (ППР). Интеграция с системами CMMS/EAM.

Раздел 6. *Проектирование комплексных систем управления для цифровых подстанций.*

Тема 6.1. Анализ реальных кейсов внедрения ПЛК на энергообъектах

(подстанция, ГЭС, ТЭЦ).

Тема 6.2. Проектирование АСУ ТП цифровой подстанции с использованием МЭК 61850 и ПЛК.

Тема 6.3. Разработка концепции системы управления микрогридом на распределенных ПЛК.

Тема 6.4. Тенденции и перспективы: программно-определяемые АСУ ТП, цифровые двойники.

Для промежуточной аттестации:

ОМ1

Вопросы для подготовки к зачету (семестр 1)

1. Назовите три основных этапа эволюции архитектур ПЛК.
2. Чем распределенный ПЛК принципиально отличается от монолитного?
3. Что означает аббревиатура «SDPC» (Software-Defined Programmable Controller)?
4. Что означает показатель МТВФ и как он связан с надежностью?
5. Назовите два ключевых критерия выбора ПЛК для системы противоаварийной автоматики.
6. Какой тип периферийного модуля необходим для подключения датчика 4-20 мА?
7. Какая основная среда разработки используется для программирования ПЛК Siemens S7-1500?
8. Назовите ключевое преимущество отечественных БВК (блочномодульных вычислительных комплексов) в контексте импортозамещения.
9. Какой производитель сильно продвигает концепцию «EcoStruxure» для энергетики?
10. В чем основной недостаток централизованной архитектуры АСУ ТП?
11. Когда применяется децентрализованная (распределенная) архитектура?
12. Что такое гибридная архитектура и где она может использоваться?
13. Назовите три основных принципа ООП.
14. Что такое «функциональный блок» в CODESYS с точки зрения ООП?
15. Можно ли создать класс в TIA Portal? Если да, то как называется аналог?
16. Что является основной единицей композиции в стандарте МЭК 61499?
17. Чем МЭК 61499 лучше подходит для распределенных систем, чем МЭК 61131-3?
18. Что такое «сеть функциональных блоков» (FBN)?

19. Для чего в проекте АСУ ТП используется система контроля версий Git?
20. Что означает аббревиатура CI/CD?
21. Какой этап CI/CD может автоматически проверять сборку проекта ПЛК?
22. Что такое «рефакторинг» кода?
23. Назовите один распространенный «запах кода» (code smell) в программах ПЛК.
24. Какой паттерн проектирования часто используется для реализации конечного автомата в АСУ ТП?
25. Что определяет стандарт МЭК 61508?
26. Что означает уровень полноты безопасности SIL 2?
27. Чем Safety PLC отличается от обычного ПЛК?
28. Назовите три основные угрозы (threats) кибербезопасности для АСУ ТП.
29. Что такое сегментация сети и зачем она нужна?
30. Какой стандарт является основным для кибербезопасности АСУ ТП?
31. В чем разница между резервированием 1oo2 и 2oo3?
32. Что обеспечивает более быстрое переключение: hot standby или cold standby?
33. Что такое «бутылочное горло» в отказоустойчивой архитектуре?
34. Что такое валидация в контексте ПО для ПЛК?
35. Чем HiL-тест (Hardware-in-the-Loop) лучше чистой симуляции?
36. Назовите один из инструментов для автоматизированного тестирования программ ПЛК.

ОМкр

Темы курсовых работ:

«Проект модернизации системы противоаварийной автоматики подстанции с миграцией на новую платформу ПЛК».

«Разработка архитектуры и прототипа системы управления микрогридом на базе распределенных ПЛК (МЭК 61499)».

«Создание цифрового двойника технологического процесса энергоблока для отладки ПО ПЛК».

«Проект интеграции данных АСУ ТП цифровой подстанции (ПЛК + МЭК 61850) в корпоративную аналитическую платформу».

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

ОМ2

Вопросы для подготовки к экзамену (семестр 2)

Теоретические вопросы (по разделам 1-6)

1. Эволюция архитектур ПЛК: от монолитных систем к программно-определяемым контроллерам (SDPC). Дайте сравнительный анализ, выделив ключевые преимущества и области применения каждого этапа в энергетике.

2. Критерии выбора аппаратной платформы ПЛК для систем релейной защиты и автоматики (РЗА) подстанции. Раскройте роль показателей: время обработки цикла (scan time), уровень полноты безопасности (SIL), поддержка протоколов МЭК 61850.

3. Сравнительный анализ рыночных предложений ведущих производителей (Siemens, Schneider Electric, отечественные ББК) для задач цифровой подстанции. Какие факторы, помимо технических характеристик, становятся критичными при выборе сегодня?

4. Централизованная, распределенная и гибридная архитектура АСУ ТП энергообъекта. Приведите конкретные примеры применения каждой из них (например, для ТЭЦ, распределительной подстанции, системы собственных нужд) и обоснуйте выбор.

5. Объектно-ориентированное программирование (ООП) в средах CODESYS и TIA Portal: реализация принципов инкапсуляции, наследования и полиморфизма на примере разработки библиотеки функциональных блоков для типового оборудования подстанции (выключатель, трансформатор).

6. Стандарт МЭК 61499: концепция функциональных блоков (FB), событийного управления и распределенного исполнения. Объясните, почему данный стандарт рассматривается как перспективная основа для систем управления микрогридами и виртуальными электростанциями (VPP).

7. Инструменты контроля версий (Git) и практики CI/CD в жизненном цикле ПО для АСУ ТП. Опишите типичный пайплайн (pipeline) для проекта модернизации программного обеспечения ПЛК цифровой подстанции, включая этапы тестирования.

8. Рефакторинг legacy-кода в проектах энергетики. Опишите типичные «запахи кода» в старых программах ПЛК и стратегию их поэтапного устранения без остановки технологического процесса. Приведите примеры паттернов проектирования, полезных для АСУ ТП.

9. Функциональная безопасность (Functional Safety) в энергетике: стандарты МЭК 61508 и МЭК 61511. Раскройте понятие уровня полноты безопасности (SIL). Как требования SIL влияют на выбор аппаратуры (Safety PLC) и архитектуру системы технологических защит энергоблока?

10. Кибербезопасность АСУ ТП энергообъектов согласно стандарту IEC 62443. Опишите модель угроз, принцип глубокоэшелонированной обороны и конкретные меры защиты на уровне: а) периметра сети, б) сегмента управления, в) отдельного ПЛК.

11. Методы отказоустойчивого проектирования: резервирование 1oo1, 1oo2, 2oo3. Рассчитайте и сравните показатели надежности (PFD, PFDavg) для схем горячего (hot standby) и холодного (cold standby) резервирования при заданных интенсивностях отказов.

12. Верификация и валидация программного обеспечения критичных систем. Дайте определение терминам. Опишите роль и место следующих

методов в жизненном цикле ПО ПЛК: статический анализ кода, модульное тестирование в симуляторе, HiL-тестирование.

13. OPC UA как универсальная платформа семантической интероперабельности в энергетике. Раскройте преимущества перед OPC Classic. Объясните роль информационного моделирования (Information Model) и как оно используется для интеграции данных ПЛК с MES-системой предприятия.

14. Промышленные сети реального времени: Profinet IRT, EtherNet/IP с CIP Motion, TSN (Time-Sensitive Networking). Сравните их подходы к обеспечению детерминизма. Где в энергетике предъявляются жесткие требования к детерминизму сети?

15. Паттерны интеграции ПЛК с облачными IoT-платформами (например, на базе MQTT). Опишите типовую архитектуру системы удаленного мониторинга состояния силового трансформатора с передачей данных ДГС и термографии. Какие возникают challenges с точки зрения безопасности и задержек?

16. Управление конфигурацией и изменениями в парке ПЛК распределительной сети. Опишите процесс управления версиями программного обеспечения, аппаратными конфигурациями и сетевыми настройками для сотен распределенных устройств.

17. Предиктивная аналитика как основа технического обслуживания по состоянию (CbM) энергооборудования. Какие данные с ПЛК могут быть использованы для прогнозирования отказов? Опишите упрощенную архитектуру системы предиктивного обслуживания узла КРУЭ.

18. Планирование модернизации и миграции систем АСУ ТП. Разработайте поэтапный план миграции с устаревшей системы телемеханики на новую платформу для подстанции без длительного перерыва в электроснабжении потребителей.

19. Спроектируйте концепцию системы АСУ ТП для микрогрида с распределенной генерацией (СЭС, ВЭУ, ДГУ) и накопителями. Опишите архитектуру управления, роль ПЛК разного уровня, протоколы обмена данными и алгоритмы балансировки.

20. Проанализируйте кейс внедрения цифровой подстанции. Какие ключевые решения необходимо принять на этапе проектирования относительно: а) выбора между ПЛК и специализированными устройствами РЗА, б) архитектуры шины процесса (GOOSE/SV), в) интеграции с вышестоящим уровнем АСУ ТП?

21. Тенденции развития: программно-определяемые АСУ ТП (SDC) и цифровые двойники (Digital Twin). Как эти концепции меняют роль традиционного ПЛК и подходы к проектированию систем управления в энергетике?

Практические задачи (экзаменационные задачи)

Задача 1 (Архитектура и выбор).

Дано техническое задание на модернизацию системы автоматического ввода

резерва (ABP) для двухтрансформаторной подстанции 110/10 кВ с требованием SIL 2. Необходимо обеспечить контроль синхронизма, работу на трех независимых источниках, интеграцию в SCADA по IEC 60870-5-104.

Вопрос: Предложите и обоснуйте тип архитектуры (централизованная/распределенная). Выберите конкретную модель ПЛК (из 2 предложенных вариантов), дав сравнительный анализ по критериям: наличие hardware-модулей для измерения векторов напряжения, поддержка протоколов, время обработки цикла. Составьте упрощенную спецификацию необходимых модулей ввода-вывода.

Задача 2 (Программирование и безопасность). В программе ПЛК, управляющего системой регулирования возбуждения синхронного генератора, обнаружен legacy-код. Фрагмент содержит «магические числа» для уставок, смешанную логику управления и защиты, отсутствие структуры.

Вопрос: Разработайте план рефакторинга этого фрагмента. Предложите новую модульную структуру (назовите 3-4 функциональных блока), примените один паттерн проектирования. Отдельно перечислите 3 меры кибербезопасности, которые должны быть обязательно применены к данному ПЛК, учитывая его критическую роль.

Задача 3 (Надежность и ТО).

Система технологических защит котла высокого давления реализована на архитектуре 2003 (три независимых канала на ПЛК). Известна интенсивность отказов одного канала (λ) и время восстановления (MTTR).

Вопрос: 1) Объясните, почему для данной системы выбрана архитектура 2003, а не 1002. 2) Рассчитайте вероятность опасного отказа системы (PFD) для заданного интервала функционального тестирования (T). 3) На основании расчета предложите оптимальную периодичность тестирования и составьте чек-лист операций для его проведения.

Задача 4 (Интеграция и экономика).

Рассматривается проект внедрения системы мониторинга температуры и вибрации подшипников циркуляционных насосов на ГЭС с передачей данных по MQTT в облачную аналитическую платформу.

Вопрос: 1) Нарисуйте схему интеграции существующих ПЛК насосов с облаком через промышленный шлюз IIoT. 2) Оцените экономический эффект от предотвращения одного аварийного останова насоса (данные для расчета предоставлены: стоимость ремонта, стоимость недоотпущенной электроэнергии). 3) Сделайте вывод об окупаемости проекта при известной стоимости внедрения.

Задача 5 (Цифровая подстанция).

Вам поручено разработать концепцию АСУ ТП для новой цифровой подстанции 220 кВ. Подстанция должна работать в unmanned-режиме с передачей всех данных в вышестоящий ЦДУ.

Вопрос: Ответьте на следующие пункты концепции:

а) *Аппаратный уровень*: Будете ли вы использовать ПЛК общего назначения, специализированные устройства РЗА или гибридную схему? Обоснуйте

б) *Сетевая архитектура*: Предложите схему сегментации сети (Process Bus, Station Bus). Как обеспечить кибербезопасность?

в) *Программная модель*: Как будет организовано программное обеспечение верхнего уровня ПЛК? Предложите подход (например, на основе МЭК 61499 или ООП-библиотек).

г) *Эксплуатация*: Какие новые регламенты и ключевые показатели (KPI) для обслуживания вы предложите для такой подстанции?