

УДК 378.14

DOI: 10.54835/18102883\_2025\_38\_14

## ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ: РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

**Сухачев Илья Сергеевич<sup>1</sup>,**кандидат технических наук, доцент, заведующий базовой кафедрой  
АО «СУЭНКО» Института промышленных технологий и инжиниринга;  
suhachevis@tyuuiu.ru**Чепур Пётр Владимирович<sup>1</sup>,**кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой строительной механики Строительного института;  
chepur\_p\_v@mail.ru**Колядко Алекся Анатольевна<sup>2</sup>,**кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела,  
alesya2010-11@yandex.ru<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет,  
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38<sup>2</sup> Филиал Тюменского индустриального университета в г. Сургуте,  
Россия, 628404, г. Сургут, ул. Энтузиастов, 38

**Аннотация.** Цель работы – продемонстрировать опыт внедрения проектно-ориентированного подхода в подготовке студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» на примере комплексной разработки решений для линий электропередачи. Проект охватывает три ключевых блока: инженерный дизайн линий электропередачи; технологии мониторинга и диагностики; роботизированное обслуживание. Рассмотрены этапы реализации: инициация проекта, командообразование, анализ нормативно-технической документации (Правила устройств электроустановок, правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, строительные нормы и правила, свод правил по проектированию и строительству), проектирование конструкций, разработка алгоритмов диагностики, создание роботизированных систем, а также публичная защита результатов. В рамках сотрудничества с индустриальными партнёрами, в частности с многопрофильной энергетической компанией АО «СУЭНКО», обучающиеся получили доступ к учебно-тренировочному полигону, оснащённому современными микропроцессорными устройствами и полноразмерными конструкциями опор линий электропередачи. Для верификации проектных решений использованы методы 3D-моделирования, численного анализа, а также проведены натурные эксперименты разработанных прототипов. Результаты включают: обоснование инженерных решений, разработку алгоритмов мониторинга, создание прототипов роботизированных систем, подачу заявок на гранты различного уровня. Проект способствовал интеграции знаний обучающихся из дисциплин «Электротехника», «Приборостроение», «Мехатроника» и «Робототехника», а также формированию навыков командной работы и взаимодействия с экспертами отрасли. Особое внимание уделено аутентичности задач, соответствующих требованиям энергобезопасности и технологическим ограничениям. Реализация проекта подтвердила эффективность поэтапного подхода, сочетающего теоретическую подготовку с практической апробацией решений.

**Ключевые слова:** проектно-ориентированное обучение, электроэнергетика, АЭП, инженерный дизайн, мониторинг и диагностика, роботизированное обслуживание, командная работа, 3D-моделирование, индустриальный партнёр, учебно-тренировочный полигон

Результаты статьи получены при участии и поддержке коллектива базовой кафедры АО «СУЭНКО», кафедры электроэнергетики, руководителя образовательной программы «Мехатроника и робототехника» Института промышленных технологий и инжиниринга Тюменского индустриального университета. Авторы статьи выражают благодарность всем сотрудникам кафедр, принявшим участие в реализации проекта «АЭП. Технологии». Также выражаем благодарность анонимным рецензентам за рекомендации, позволившие улучшить качество публикации.

### Введение

Обучающиеся направления «Электроэнергетика и электротехника» нередко сталкиваются с трудностями в применении теоретических знаний к решению реальных задач энергетического сектора [1]. Отсутствие свя-

зи между дисциплинами («Электротехника», «Приборостроение», «Робототехника») и практикой приводит к снижению мотивации, а также к непониманию значимости изучаемых концепций для профессиональной деятельности [2]. В этой связи актуальным становится



внедрение образовательных подходов, формирующих у студентов запрос на углубление теоретических основ через их применение в проектах, имитирующих реальные производственные вызовы [3].

Проектно-ориентированное обучение (ПОО) признается одним из наиболее эффективных подходов в инженерном образовании, направленным на формирование профессиональных компетенций через решение комплексных, приближенных к реальности задач [1, 2, 4]. Известные модели, такие как «Conceive, Design, Implement, Operate» (CDIO), подчеркивают важность сквозного проектирования от концепции до эксплуатации [2]. Анализ существующих практик [1, 5–7] показывает, что ключевыми вызовами при реализации ПОО являются обеспечение аутентичности проектных заданий, эффективная интеграция с индустриальными партнерами и формирование междисциплинарных связей.

Предлагаемый в данной работе образовательный проект «ЛЭП. Технологии» развивает принципы ПОО, описанные в работах [1, 6], и обладает рядом конкурентных преимуществ:

- комплексность и сквозной характер: проект охватывает полный жизненный цикл объекта электроэнергетики – от архитектурно-строительного проектирования и конструирования до внедрения систем мониторинга и роботизированного обслуживания, что выходит за рамки типовых курсовых проектов на специальных дисциплинах;
- глубокая интеграция с индустриальным партнером: использование уникальной инфраструктуры учебно-тренировочного полигона АО «СУЭНКО» с полноразмерными объектами обеспечивает высокую степень аутентичности задач и верификации решений;
- жесткая привязка к нормативно-технической базе: в отличие от многих студенческих проектов, в данном случае работа строго регламентирована требованиями отраслевых стандартов, что формирует у студентов навык работы с обязательной документацией;
- ориентация на коммерциализацию: проектная деятельность изначально нацелена на получение результатов, потенциально пригодных для внедрения (промышленные образцы, алгоритмы) и подачи заявок на

грантовые конкурсы («УМНИК», студенческий стартап как диплом и др.).

В Тюменском индустриальном университете активно развивается проектно-ориентированное обучение, направленное на устранение разрыва между теорией и практикой. Проекты проходят строгий конкурсный отбор, где эксперты оценивают их актуальность, инновационность и соответствие запросам индустриальных партнёров. В период 2023–2025 гг. на базовой кафедре АО «СУЭНКО» Тюменского индустриального университета (ТИУ) стартовал образовательный проект «ЛЭП. ТЕХНОЛОГИИ», ориентированный на студентов II–IV семестров. Его цель – формирование компетенций в области проектирования, мониторинга и роботизированного обслуживания линий электропередачи (ЛЭП) через решение комплексных инженерных задач.

Проект реализуется в три этапа, соответствующих ключевым направлениям (рис. 1).

Согласно схеме реализации образовательного проекта, первый этап «Инженерный дизайн ЛЭП» связан с разработкой конструкций опор линий электропередачи с учётом действующей нормативно-технической документацией (Правила устройства электроустановок (ПУЭ), правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП), строительные нормы и правила (СНиП), свод правил (СП) по проектированию и строительству и т. д.), локальных нормативных актов и экологических требований. Второй этап «Технологии мониторинга» – с созданием систем диагностики параметров ЛЭП (например, определение мест замыканий на землю, отклонение габаритов опор линий электропередачи и т. д.) с использованием алгоритмов и приборов. Последний этап «Роботизированное обслуживание» направлен на проектирование автономных решений для обслуживания линий электропередачи в сложных климатических условиях.

Обучающиеся работают в командах под руководством преподавателей и экспертов из компаний-партнёров, например компании АО «СУЭНКО». Принципы формирования команд в рамках изучения дисциплины предполагают создание групп из 3–5 человек в каждой академической группе, сбалансированных по компетенциям (аналитика, программирование, дизайн, менеджмент и т. д.), личностным качествам (сочетание лидеров и исполнителей) и уровню вовлечённости. Ко-

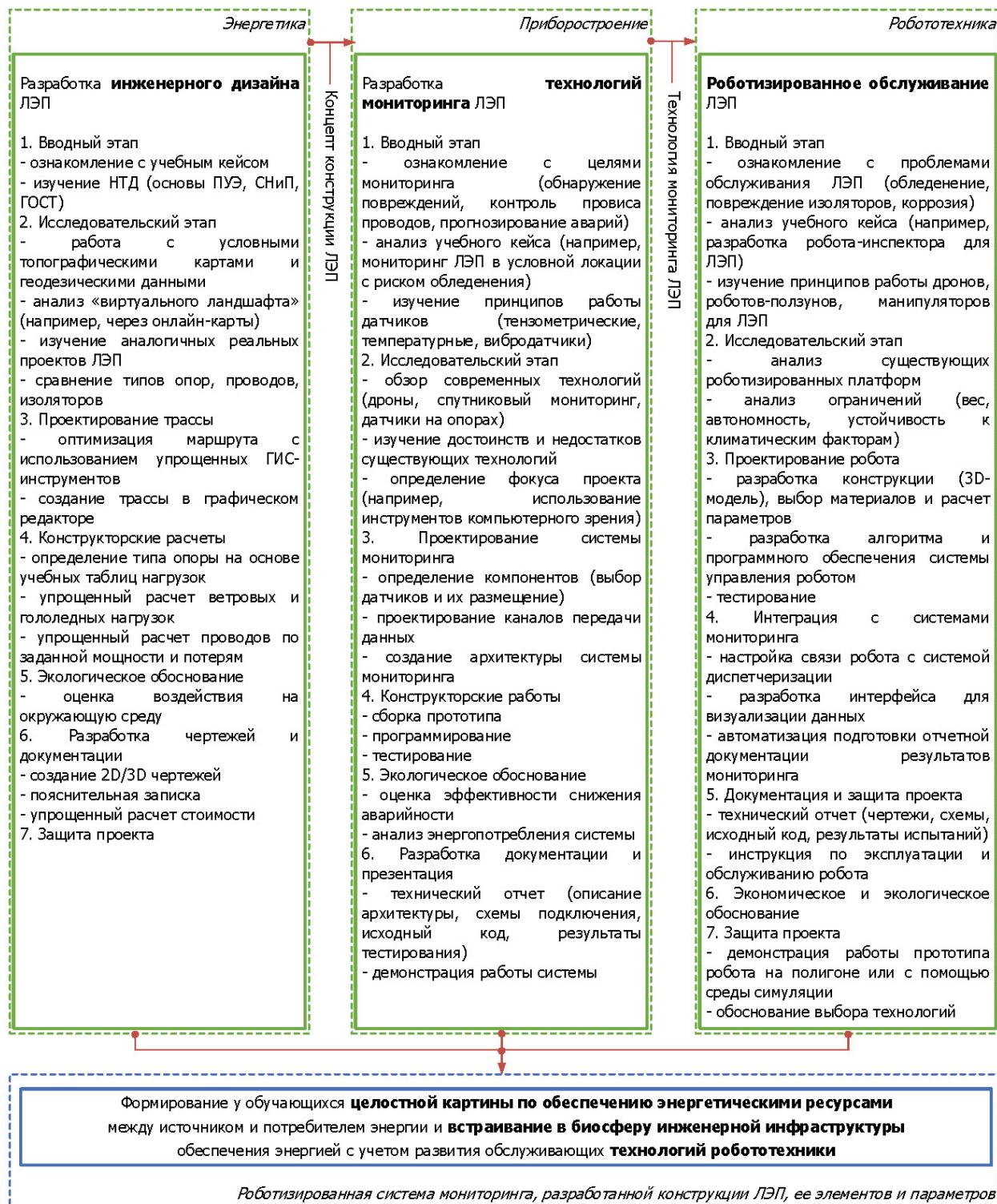


Рис. 1. Схема реализации образовательного проекта «ЛЭП. Технологии» по этапам

Fig. 1. Scheme of implementation of the educational project «Power Lines. Technologies» by stages

манды могут формироваться как самостоятельно (на основе предпочтений студентов), так и через целенаправленное распределение по навыкам (на основе анкетирования), что позволяет минимизировать конфликты и обеспечить продуктивную коллaborацию. Для повышения эффективности взаимодействия рекомендуется промежуточная рефлексия

и, при необходимости, ротация участников. Ключевая цель – создание условий для равномерной нагрузки, развития гибких навыков и достижения проектных результатов.

Для апробации решений используется учебно-тренировочный полигон, оснащенный современным оборудованием: микропроцессорными устройствами релейной защиты, ма-

кетами опор ЛЭП различного класса напряжения и робототехническими комплексами. Интеграция 3D-моделирования (например, в nanoCAD), численного анализа и натурных испытаний макетов позволяет верифицировать проектные решения.

Важным элементом обучения является участие студентов в грантовых конкурсах («УМНИК», студенческий стартап и т. п.), что формирует навыки коммерциализации технических разработок. Критерии оценки проектов включают технологическую проработанность, инновационность, экономическую эффективность и качество презентации. По итогам семестра проводится финальная защита с участием экспертов отрасли, где команды демонстрируют результаты: 3D-модели, прототипы систем мониторинга, алгоритмы управления роботами. Введение формата конкурса при защите проектов способствует повышению мотивации и качества выполнения работ. Лучшие команды определяются по совокупности баллов и награждаются дипломами I, II и III степени, что не только подчёркивает их достижения, но и создаёт здоровую соревновательную среду. Дополнительно могут вручаться благодарности за отдельные номинации (например, «За креативный подход», «За социальную значимость», «За техническую сложность»), что позволяет отметить вклад всех участников и поддержать их дальнейшую проектную активность. Такое поощрение способствует профессиональному росту студентов, укрепляет их уверенность в собственных силах и стимулирует к участию в более масштабных конкурсах.

Обратная связь, собранная через анонимные опросы, показала высокую вовлеченность студентов и их заинтересованность в решении задач, актуальных для энергетической отрасли. Реализация проекта подтвердила эффективность междисциплинарного подхода, объединяющего электротехнику, приборостроение и робототехнику, а также значимость сотрудничества с индустриальными партнёрами для подготовки конкурентоспособных специалистов.

### Основная часть

Перед выполнением практических задач студенты изучают нормативно-техническую документацию (ПУЭ, ПТЭЭП, СНиП, СП), а также основы проектирования энергетических систем. Ключевым элементом теорети-

ческой подготовки является анализ нагрузок на опоры ЛЭП, включая ветровые, ледовые и механические воздействия. К примеру, для расчета механической устойчивости конструкции (с учетом действующих норм «СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия») используется формула:

$$F = k \rho v^2 A,$$

где  $F$  – ветровая нагрузка (Н);  $k$  – аэродинамический коэффициент;  $\rho$  – плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>);  $v$  – скорость ветра (м/с);  $A$  – площадь проекции опоры (м<sup>2</sup>).

В ходе инженерного обоснования конструкции предполагается разработка расчетной схемы, сбор нагрузок (согласно норм СП), а также реализация расчета одним из существующих методов. Предпочтительными являются численные методы, позволяющие учитывать сложную геометрическую структуру сооружения.

### Инженерный дизайн ЛЭП

Инженерный дизайн ЛЭП подразумевает разработку уникальной архитектурной формы. На первом этапе студенты формируют нестандартную архитектурную концепцию, где допустимы креативные решения. При этом студенты-проектировщики не ограничены строгими нормативными требованиями и расчетами конструктивной прочности, так как эти аспекты относятся к этапу конструирования и оптимизации конструкции ЛЭП, запланированному на следующий семестр. В процессе создания архитектурной концепции применяются передовые подходы, включая бионический дизайн (рис. 2), стиль хай-тек, экодизайн, неомодерн и минимализм.



Рис. 2. Пример существующего решения по инженерному дизайну ЛЭП (Суперструна, архитектор Йонг хо Шин, Южная Корея, 2010 г.)

Fig. 2. Example of an existing power transmission line engineering design solution (Superstring, architect Yongho Shin, South Korea, 2010)

Особое внимание уделяется пропорциональности элементов, их гармоничному сочетанию, а также интеграции объекта в природный или техногенный ландшафт (рис. 3).



**Рис. 3.** Пример существующего решения совмещенной дизайнерской опоры и мачты для ветряков (Аргентинская компания DOMA, 2012 г.)

**Fig. 3.** Example of an existing solution for a combined designer support and mast for wind turbines (Argentine company DOMA, 2012)

На первом этапе студенты разрабатывают 3D-модели опор ЛЭП в программных комплексах AutoCAD и SolidWorks, учитывая требования к прочности и экологической безопасности. Концептуальная 3D-модель формируется поэтапно путем последовательного преобразования 2D-эскизов и простейших трёхмерных примитивов. Для проверки прочностных характеристик элементов расчетной схемы (несущей способности и устойчивости), а также оптимизации конструкции применяется метод конечных элементов (МКЭ) с реализацией в программном комплексе Lira Soft. Данный метод позволяет определить распределение напряжений в конструкциях, а далее сравнить их с предельно допустимыми значениями для соответствующих выбранных конструкционных материалов. По результатам оценки напряженно-деформированного состояния конструкций, с учетом действующих нагрузок, становится возможным внести изменения в первоначальную модель.

Пример разработанного обучающимися макета концепта опоры ЛЭП изображен на рис. 4. Конструктивный отличительный признак объекта выражен в применении арочной формы с прогрессивным снижением массогабаритных параметров к верхним узлам, со-

пряженной с аэродинамически оптимизированным контуром каркаса. Макет опоры был изготовлен с применением 3D-печати, материалом для аддитивного производства был PLA-пластик, масштаб макета составил 1:100.



**Рис. 4.** Макет концепта опоры ЛЭП: 1 – вид сбоку; 2 – вид снизу

**Fig. 4.** Concept mock-up of a power transmission line tower: 1 – side view; 2 – bottom view

Особенностью данной конструкции (рис. 4) является более массивное основание в отличие от верхней части, а также плавное очертание. Дополнительно для защиты от ветровых, ледовых и механических воздействий на внутренней части конструкции предусмотрены полости для размещения навесного оборудования (полимерные изоляторы, нелинейные ограничители перенапряжений, коммутационные аппараты и т. д.).

Другим примером служит разработанная обучающимися схема концепта опоры ЛЭП в виде медведя (рис. 5). Здесь акцент был сделан на промышленном дизайне, а также возможности создать из промышленного объекта яркий архитектурный образ.



**Рис. 5.** Схема концепта опоры ЛЭП в виде медведя

**Fig. 5.** Conceptual schematic of a bear-shaped power transmission line support structure

Проектирование и внедрение подобных специализированных конструкций линий электропередачи обеспечивает визуальную презентацию уникальных географических и культурных характеристик территории, способствуя формированию региональной идентичности. Параллельно данная практика предоставляет энергетическим предприятиям инструмент интеграции фирменных элементов брендинга (логотипов, цветовых схем, паттернов) в инфраструктурные объекты, реализуя тем самым стратегию корпоративного позиционирования через синтез функциональных и визуально-коммуникативных решений.

Разработанные инженерные решения для конструкций опор ЛЭП, включая их 3D-моделирование и верификацию методом конечных элементов, создают основу для внедрения современных технологий мониторинга и диагностики. Устойчивость и аэродинамическая оптимизация конструкций, подтверждённые расчётами, позволяют интегрировать в них системы мониторинга и диагностики, обеспечивающие контроль параметров линий в реальном времени. Таким образом, переход от проектирования к мониторингу демонстрирует комплексный подход к повышению надёжности и эффективности энергетической инфраструктуры, где инженерный дизайн становится платформой для внедрения интеллектуальных технологий диагностики.

#### **Технологии мониторинга ЛЭП**

Современные системы мониторинга ЛЭП представляют собой комплекс аппаратно-программных решений, направленных на непрерывный контроль технического состояния энергетической инфраструктуры. В рамках образовательного проекта в следующем семестре особое внимание уделяется разработке интеллектуальных систем диагностики, способных в реальном времени отслеживать ключевые параметры работы линий электропередачи.

Основными объектами мониторинга являются электрические характеристики (токи утечки, параметры изоляции, перенапряжения), механические нагрузки (деформации опор, колебания проводов, ветровые и ледовые воздействия), а также термические показатели (нагрев контактных соединений, температурные аномалии). Для комплексной оценки состояния ЛЭП применяются современные методы обработки сигналов и алгоритмы автоматизированного анализа данных.

Практическая реализация системы мониторинга и диагностики включает развертывание сети датчиков различного типа: тензометрических для контроля механических нагрузок, термоанемометрических для измерения температурных параметров, токовых клещей для фиксации электрических характеристик. Получаемые данные обрабатываются в специализированном программном обеспечении (MATLAB Simulink, LabVIEW) с применением цифровых фильтров и методов спектрального анализа. Результаты визуализируются в виде карт рисков, где потенциально опасные участки выделяются на основе статистических моделей и алгоритмов машинного обучения.

Для апробации разработанных решений на базе учебно-тренировочного полигона АО «СУЭНКО» имеется тестовая линия электропередачи, оснащенная современным оборудованием: микропроцессорными блоками релейной защиты и автоматики ведущих производителей, а также тепловизионными камерами для контроля температурного режима элементов ЛЭП. Проведение натурных экспериментов, включая имитацию различных аварийных ситуаций (короткие замыкания, механические перегрузки), позволяет верифицировать эффективность разработанных алгоритмов диагностики.

Перспективными направлениями развития технологий мониторинга ЛЭП являются: внедрение нейросетевых моделей для прогнозирования аварийных ситуаций на основе временных данных; использование автономных дронов-инспекторов, оснащенных лидарами и инфракрасными камерами; создание цифровых двойников линий электропередачи в среде SCADA-систем для моделирования различных эксплуатационных сценариев.

Реализация модуля мониторинга в рамках образовательного проекта подтвердила, что интеграция современных сенсорных систем с интеллектуальными алгоритмами анализа данных позволяет сократить время реагирования на аварийные ситуации на 30–40 %, а также существенно уменьшить затраты на проведение плановых проверок. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность проектно-ориентированного подхода в подготовке специалистов электроэнергетической отрасли.

### Роботизированное обслуживание ЛЭП

Третий этап включает проектирование роботизированных платформ для мониторинга и потенциального ремонта линий. Управление роботом базируется на алгоритмах машинного зрения и уравнении пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

где  $u(t)$  – управляющее воздействие;  $e(t)$  – ошибка;  $K_p, K_i, K_d$  – коэффициенты регулятора.

Уравнение ПИД-регулятора представляет собой основу системы автоматического управления, где каждая величина имеет свой физический смысл. Произведение  $K_p e(t)$  обеспечивает мгновенную реакцию на текущее отклонение управляемой величины от заданного значения. Физически это произведение определяет жесткость системы управления – чем выше коэффициент  $K_p$ , тем интенсивнее система управления стремится устранить возникающую ошибку  $e(t)$ .

Произведение  $K_i \int e(t) dt$  позволяет в процессе выполнения алгоритма управления запоминать накопленные во времени отклонения. С физической точки зрения, происходит компенсация систематических возмущений, таких как постоянная ветровая нагрузка или статическое трение в механических узлах. Особенностью интегрального воздействия является способность полностью устранять установившуюся ошибку системы, что критически важно для точного позиционирования роботизированных платформ.  $K_d (de(t))/dt$  реагирует на скорость изменения ошибки управления, выполняя функцию динамического демпфирования. Физически происходит предсказание развития процесса по его текущей динамике, предотвращая колебания и перерегулирование в системе управления. В условиях эксплуатации ЛЭП дифференциальная составляющая особенно важна для гашения вибраций, вызванных ветровыми нагрузками и механическими воздействиями.

Суммарный эффект трехкомпонентного управления обеспечивает:

- низкую статическую погрешность (до  $\pm 5$  мм для манипуляторов);
- быстродействие (время переходного процесса 0,1–0,5 с);
- робастность к внешним возмущениям (устойчивость при ветровых нагрузках до 25 м/с).

В приложении к разработанным роботизированным системам обслуживания ЛЭП ПИД-регуляторы решают следующие задачи:

- прецизионное позиционирование инструмента при выполнении ремонтных операций;
- стабилизацию полета дронов для мониторинга в турбулентных потоках;
- поддержание оптимального провиса проводов и натяжения контактных сетей при температурных деформациях.

Методика настройки коэффициентов регулятора включает:

- экспериментальное определение передаточной функции объекта;
- анализ переходных характеристик системы;
- итеративную оптимизацию параметров по критериям качества управления.

Прототипы разработанных роботов (рис. 6–9) тестируются на учебном полигоне АО «СУЭНКО», оснащенном имитаторами ЛЭП.

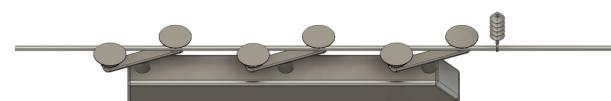


Рис. 6. 3D-модель роботизированной платформы для обслуживания ЛЭП

Fig. 6. 3D model of a robotic platform for power line maintenance



Рис. 7. Конструкция прототипа роботизированной платформы в сборе

Fig. 7. Assembled prototype design of the robotic platform

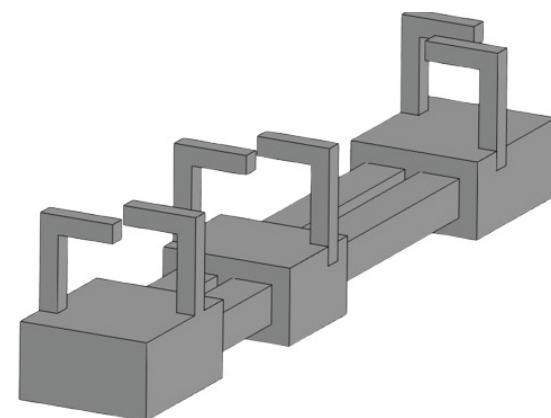


Рис. 8. 3D-модель роботизированной платформы для обслуживания ЛЭП шагающего типа

Fig. 8. 3D model of a walking robotic platform for servicing power transmission lines

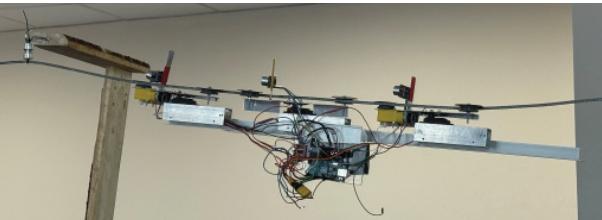


Рис. 9. Стендовые испытания роботизированной платформы с имитацией ЛЭП

Fig. 9. Bench testing of a robotic platform with simulated power lines

#### Интеграция методов и валидация результатов

Студенческие команды объединяют результаты всех этапов в единый проект. Например, 3D-модель опоры интегрируется с системой мониторинга, данные которой обрабатываются в реальном времени.

Для оценки относительного снижения затрат используются экономические индикаторы, к примеру, формула экономической эффективности (коэффициент экономической эффективности):

$$E = \frac{C_{\text{базовое}} - C_{\text{новое}}}{C_{\text{базовое}}} \cdot 100 \%,$$

где  $E$  – коэффициент экономической эффективности, %;  $C_{\text{базовое}}$ ,  $C_{\text{новое}}$  – затраты на базовое и новое решение, соответственно.

#### Задача проектов и экспертиза

Финальные проекты защищаются перед комиссией, включающей представителей индустриальных партнеров, экспертов и заведующих профильными кафедрами.

Критерии оценки включают в себя следующие показатели: технологичность (соответствие действующей нормативно-технической документации, точность расчетов); инновационность (использование AI/ML для прогноза аварий); экономику (снижение капитальных и эксплуатационных затрат).

Лучшие решения рекомендуются к внедрению в реальные системы энергосистемы компаний-партнеров ТИУ.

В процессе реализации проекта «ЛЭП. Технологии» в 2023–2024 учебном году были получены измеримые показатели, а именно, в проекте приняли участие 42 студента 2–4 семестров, объединенных в 10 команд. Успешно завершили полный цикл проекта и защитили результаты 38 обучающихся (90,5 %). Качественные показатели успеваемости по дисциплинам, связанным с проектом («Электротехника», «Мехатроника»), выросли в среднем на 12 % по сравнению с контрольными группами,

обучавшимися по традиционной методике. По результатам анонимного опроса, 85 % участников отметили повышение мотивации и уверенности в применении теоретических знаний. Троє студентов, участвовавших в проекте, были трудоустроены на неполный рабочий день в АО «СУЭНКО» на позиции, связанные с проектированием и диагностикой электрооборудования.

В процессе реализации были выявлены и преодолены следующие трудности:

- неравномерная нагрузка в командах: решена за счет введения промежуточной рефлексии и ротации ролей на основе анкетирования и оценки кураторов;
- сложность интеграции разрозненных решений (3D-моделей, алгоритмов, аппаратной части): для минимизации проблемы на старте проекта были разработаны и согласованы с индустриальным партнером единые технические требования и интерфейсы взаимодействия;
- высокие временные затраты: компенсированы за счет синхронизации графика проекта с учебным планом и выделения «окон» для проектной деятельности (чаще всего, субботний день).

К ограничениям подхода можно отнести высокие требования к материально-технической базе (необходимость полигона, специализированного ПО и оборудования) и уровню квалификации преподавателей-наставников, которые должны совмещать педагогическую и экспертную функции.

#### Заключение

Реализация образовательного проекта «ЛЭП. Технологии» на основе проектно-ориентированного подхода позволила достичь следующих основных результатов:

- сформирован комплекс профессиональных компетенций у студентов, включая навыки инженерного проектирования в средах CAD/CAE (AutoCAD, SolidWorks, Lira Soft), разработки алгоритмов мониторинга и диагностики (MATLAB, LabVIEW), программирования систем автоматического управления (включая ПИД-регуляторы) и создания прототипов роботизированных систем;
- разработаны и верифицированы конкретные технические решения, получившие положительную оценку индустриального партнера: концепции оптимизированных конструкций опор ЛЭП; алгоритмы обра-

ботки данных с датчиков для системы мониторинга; функционирующие прототипы роботизированных платформ для обслуживания ЛЭП;

- определена практическая значимость и осуществлено начало коммерциализации результатов: по материалам проекта поданы три заявки на грантовый конкурс по программе «УМНИК», подготовлены материалы для двух статей в журналы, входящие в перечень рецензируемых научных изданий.

Таким образом, образовательный проект «ЛЭП. ТЕХНОЛОГИИ» подтвердил эффективность междисциплинарного подхода. Интеграция инженерных дисциплин с практикой позволила обучающимся освоить навыки, востребованные в энергетической отрасли. Дальнейшее развитие проекта предполагает внедрение готовых решений в виде промышленных образцов и расширение сотрудничества с предприятиями топливно-энергетического комплекса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шагисултанова Ю.Н., Чепур П.В. Особенности проектно-ориентированного обучения студентов направления «Строительство» // Инженерное образование. – 2024. – № 36. – С. 113–123. DOI: 10.54835/18102883\_2024\_36\_10 EDN: HVRMET
2. Переосмысление инженерного образования. Подход CDIO / Э.Ф. Кроули, Й. Малмквист, С. Остлунд и др. – М.: ИД Высшей школы экономики, 2015. – 504 с.
3. Дубровская Е.Н., Чуланова О.Л., Куприянова Е.В. Мотивация преподавателей-наставников и студентов в проектной деятельности (на примере проекта «сквозные компетенции проектной деятельности» Сургут) // Материалы Ивановских чтений. – 2020. – № S4 (31). – С. 91–97. EDN: СЕКУБФ.
4. Громова А.И., Павловский П.В. Понятие, сущность и роль студенческой проектной деятельности и место проектного офиса в структуре ее управления // Вестник университета. – 2023. – № 10. – С. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-10-40-46> EDN: PEALVR
5. Рахманова Ю.К., Каргапольцева С.И. Проектная деятельность в техническом вузе // Молодой ученый. – 2016. – № 11 (115). – С. 1527–1531. EDN: WGGUYL
6. Стародворцева Н.П., Куликова М.Г., Маслова К.С. Проектная деятельность студентов технического вуза как пример успешной молодежной практики // Энергетика, информатика, инновации–2019: сборник трудов IX Международной научно-технической конференции. В 2-х т. – Смоленск: Универсум, 2019. – Т. 2. – С. 355–358. EDN: ARTKZY
7. Тарасова Е.Н., Хацринова О.Ю. К вопросу организации проектно-исследовательской деятельности студентов в инженерном вузе // Управление устойчивым развитием. – 2021. – № 1 (32). – С. 109–115. EDN: EANNNDY

Поступила: 05.06.2025

Принята: 25.09.2025

UDC 378.14

DOI: 10.54835/18102883\_2025\_38\_14

## PROJECTAORIENTED LEARNING IN ELECTRIC POWER ENGINEERING: DEVELOPMENT OF INTEGRATED SOLUTIONS FOR POWER TRANSMISSION LINES

**Ilya S. Sukhachev<sup>1</sup>,**

Cand. Sc., Associate Professor, Head of the Base Department, JSC «SUENKO»,  
suhachevis@tyuui.ru

**Petr V. Chepur<sup>1</sup>,**

Cand. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Structural Mechanics,  
chepur\_p\_v@mail.ru

**Alesya A. Kolyadko<sup>2</sup>,**

Cand. Sc., Associate Professor, Branch of Tyumen Industrial University in Surgut,  
alesya2010-11@yandex.ru

<sup>1</sup> Tyumen Industrial University,

38, Volodarsky street, Tyumen, 625000, Russian Federation

<sup>2</sup> Branch of Tyumen Industrial University in Surgut,

38, Entuziastov street, Surgut, 628404, Russian Federation

**References.** The purpose of this work is to demonstrate the experience of implementing a project-oriented approach in training students specializing in “Electric Power and Electrical Engineering” through the example of a comprehensive development of solutions for power transmission lines. The project encompasses three key components: engineering design of power transmission lines; monitoring and diagnostic technologies; and robotic maintenance. The implementation stages are outlined as follows: project initiation, team formation, analysis of regulatory and technical documentation (electrical installation rules; rules for the technical operation of electrical installations of consumers; building codes and regulations), structural design, development of diagnostic algorithms, creation of robotic systems, and public defense of results. Through collaboration with industry partners, notably the diversified energy company JSC “SUENKO,” students gained access to a training ground equipped with modern microprocessor-based devices and full-scale power transmission line support structures. Verification of design solutions employed 3D modeling, numerical analysis, and field testing of developed prototypes. The outcomes include substantiated engineering solutions, monitoring algorithms, robotic system prototypes, and submissions for grants at various levels. The project facilitated the integration of knowledge from disciplines such as Electrical Engineering, Instrumentation, Mechatronics, and Robotics, while fostering teamwork skills and industry expert engagement. Emphasis was placed on the authenticity of tasks aligned with energy safety requirements and technological constraints. The project execution confirmed the efficacy of a phased approach combining theoretical training with practical validation of solutions.

**Keywords:** project-oriented learning, electric power engineering, power transmission line, engineering design, monitoring and diagnostics, robotic maintenance, teamwork, 3D modeling, industrial partner, training and education site

*The results of the article were obtained with the participation and support of the staff of the basic department of JSC «SUENKO», the department of electric power engineering, the head of the educational program «Mechatronics and Robotics» of the Institute of Industrial Technologies and Engineering of the Industrial University of Tyumen. The authors of the article express their gratitude to all employees of the departments who took part in the implementation of the project «Power Lines. Technologies». We also express our gratitude to anonymous reviewers for their recommendations that allowed us to improve the quality of the publication.*

## REFERENCES

1. Shagisultanova Yu.N., Chepur P.V. Features of project-oriented training for construction students. *Engineering education*, 2024, no. 36, pp. 113–123. (In Russ.) DOI: 10.54835/18102883\_2024\_36\_10 EDN: HVRMET
2. Crowley E.F., Malmqvist J., Östlund S. *Rethinking engineering education: the CDIO approach*. Moscow, Higher School of Economics Publ., 2015. 504 p. (In Russ.)
3. Dubrovskaya E.N., Chulanova O.L., Kupriyanova E.V. Motivation of teachers-mentors and students in project activities (on the example of the project “cross-cutting competencies of project activities” Surgut). *Proceedings of the Ivanovo Readings*, 2020, no. S4 (31), pp. 91–97. (In Russ.) EDN: CEKUBF

4. Gromova A.I., Pavlovsky P.V. The concept, essence and role of student project activities and project management office placement in the structure of its management. *Vestnik Universiteta*, 2023, no. 10, pp. 40–46. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-10-40-46> EDN: PEALVR
5. Rakhmanova Yu.K., Kargapolseva S.I. Project activities in a technical university. *Young scientist*, 2016, no. 11 (115), pp. 1527–1531. (In Russ.) EDN: WGGUYL
6. Starodvortseva N.P., Kulikova M.G., Maslova K.S. Project activities of students of a technical university as an example of successful youth practice. *Energy, informatics, innovations-2019. Collected works of the IX International scientific and technical conference*. Smolensk, Universum Publ., 2019. Vol. 2, pp. 355–358. (In Russ.) EDN: ARTKZY
7. Tarasova E.N., Khatsrinova O.Yu. On the issue of design and research activities organization of engineering university students. *Managing sustainable development*, 2021, no. 1 (32), pp. 109–115. (In Russ.) EDN: EANNDY

Received: 05.06.2025

Accepted: 25.09.2025