

**А.А. Волошин, Д.М. Бисеров,
Д.А. Романов, И.С. Польшалин**
НИУ «МЭИ»
Москва, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭНЕРГОСИСТЕМЫ» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

***Аннотация.** Работа посвящена применению разработанного в НИУ «МЭИ» программно-аппаратного комплекса реального времени «Цифровой двойник энергосистемы» (ПАК РВ «ЦДЭС») для обучения специалистов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Описана методика проведения лабораторных работ по релейной защите и автоматике, в ходе которых студенты выполняют параметризацию схем, настройку виртуальных устройств и анализ осциллограмм. Сравнительный анализ с зарубежным аналогом PSCAD показал преимущества внедрения ПАК РВ «ЦДЭС» в учебный процесс: повышение успеваемости за счет свободного доступа и интуитивного русскоязычного интерфейса при сохранении точности моделирования. Сделан вывод о высокой эффективности ПАК РВ «ЦДЭС» для формирования практических навыков у обучаемых специалистов.*

**A.A. Voloshin, D.M. Biserov,
D.A. Romanov, I.S. Polygalin**
National Research University «MPEI»
Moscow, Russian Federation

APPLICATION OF THE REAL-TIME COMPLEX “DIGITAL TWIN OF THE POWER SYSTEM” FOR EDUCATIONAL PURPOSES

***Abstract.** This paper is devoted to the application of the real-time modeling complex "Digital Twin of the Power System" (Digital Twin of Power System, DTPS), developed at the National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (MPEI), for training specialists in the field of study 13.03.02 "Electric Power and Electrical Engineering". The methodology for conducting laboratory classes on relay protection and automation is described, during which students perform circuit parameterization, virtual device configuration, and oscillogram analysis. A comparative analysis with the foreign analogue PSCAD demonstrated the advantages of using the DTPS in the educational process: improved student performance due to free access and an intuitive Russian-language interface, while maintaining modeling accuracy. It is concluded that the DTPS is highly effective for developing practical skills among students.*

Для решения задач обучения специалистов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» [1] при проведении обучения используются различные программные и программно-аппаратные комплексы моделирования. Назначение этих комплексов в контексте образования – сформировать у обучающихся представление о физических принципах изучаемых процессов и явлений (с получением численных и качественных оценок), позволить изучить на практике принципы работы различных комплексов и устройств (например, релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем), применяемых в электроэнергетической системе. При этом комплекс позволяет моделировать любые виды автоматики, что повышает гибкость учебного процесса и позволяет обучающимся знакомиться со спецификой работы устройств в условиях отсутствия реальных устройств в учебной лаборатории. Практика применения моделирования в процессе обучения по направлению подготовки 13.03.02 «Название дисциплины (в РБ могут быть другие наименования дисциплин)» широко распространена как в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», так и в других вузах [2, 3]. Однако широко распространённые в отечественных вузах программные продукты, такие как PSCAD, MATLAB/Simulink, PowerFactory и ПАК RTDS, являются иностранными разработками, что создаёт определённые риски, включая языковой барьер, стоимость лицензий, экспортные ограничения со стороны производителей этих комплексов и ограничения адаптации под специфические учебные задачи.

Центром компетенций НТИ «МЭИ» разработан программно-аппаратный комплекс реального времени «Цифровой двойник энергосистемы» (ПАК РВ «ЦДЭС»). Основными особенностями комплекса при его использовании в учебных целях являются:

- Моделирование в режиме реального времени с шагом 2 мкс;
- Расчёт установившихся режимов, как нормальных, так и аварийных;
- Наличие обширной библиотеки элементов электроэнергетической системы (синхронные и асинхронные генераторы, силовые и измерительные трансформаторы (с учётом насыщения), линии электропередачи с распределёнными параметрами, нагрузки, силовые выключатели, однофазные и трехфазные элементы, силовая электроника, возобновляемые источники энергии и т.д.);

- Поддержка протоколов передачи данных, применяемых в системах мониторинга и управления в электроэнергетике МЭК 61850 (GOOSE, SV, MMS), МЭК 60870-5-104, Modbus TCP, С37.118 и др.;
- Наличие обширной библиотеки логических элементов и элементов схем управления, позволяющих реализовывать функционально-логические схемы релейной защиты и автоматики с помощью функционального блочного программирования (на языке МЭК 61131 FBD);
- Выполнение сценариев, написанных на языке программирования Python.

Данный комплекс активно применяется кафедрой релейной защиты и автоматизации энергосистем (РЗАЭ) в образовательных целях для проведения лабораторных работ по таким дисциплинам, как «Релейная защита электроэнергетических систем» и «Автоматика электроэнергетических систем». Целью настоящей работы является обобщение опыта применения «ЦДЭС» в процессе обучения и повышение компетенций обучающихся.

Методика проведения работ состоит из следующих этапов:

- Подготовительный этап;
- Практический этап.

В рамках подготовительного этапа для проведения лабораторных работ преподаватель производит наладку/создание лабораторного стенда в «ЦДЭС» путем разработки и сборки схемы электроэнергетической сети, а также функционально-логических схем релейной защиты и автоматики с последующей привязкой входных и выходных каналов моделируемых устройств к модели энергосистемы. Это позволяет избежать ошибок в топологии схем на этапе подготовки и настройки лабораторного стенда, а также достигнуть оптимизации временных ресурсов – обучающиеся в ходе лабораторных работ выполняют только действия, направленные на ознакомление с принципами и спецификой работы устройств автоматики и релейной защиты, и не выполняют предварительную настройку стенда.

В ходе лабораторной работы (практический этап) студенты самостоятельно производят следующие действия:

- параметризация схемы ЭЭС в «ЦДЭС» (ввод параметров элементов энергосистемы, определяют места, параметры и виды КЗ и т.д.);
- параметризация измерительных органов и органов выдержки времени релейной защиты и автоматики;

- конфигурирование **осциллографирования** с фиксацией электрических величин, положения выключателей, состояния короткого замыкания и других дискретных сигналов;
- проведение манипуляций и действий, предусмотренных программой лабораторной работы (так, например, обучающиеся при проведении лабораторной работы по теме «АПВ» оперативно от ключа включают выключатели в электроэнергетической сети, вводят в работу релейную защиту и АПВ, включают короткое замыкание и т.д.).

В ходе выполнения лабораторной работы обучающиеся получают навыки работы с приложениями в составе ПАК РВ «ЦДЭС» («Редактор ЭЭС», «Симулятор ЭЭС», «Конфигуратор vPLC», «Конфигуратор протоколов», «Осциллограммы», «Графики»), навыки работы с осциллограммами в формате COMTRADE, а также получают необходимые для изучения знания в объёме выполненных лабораторных работ.

На Рисунке 1 представлена схема сети к лабораторной работе по теме «АПВ».

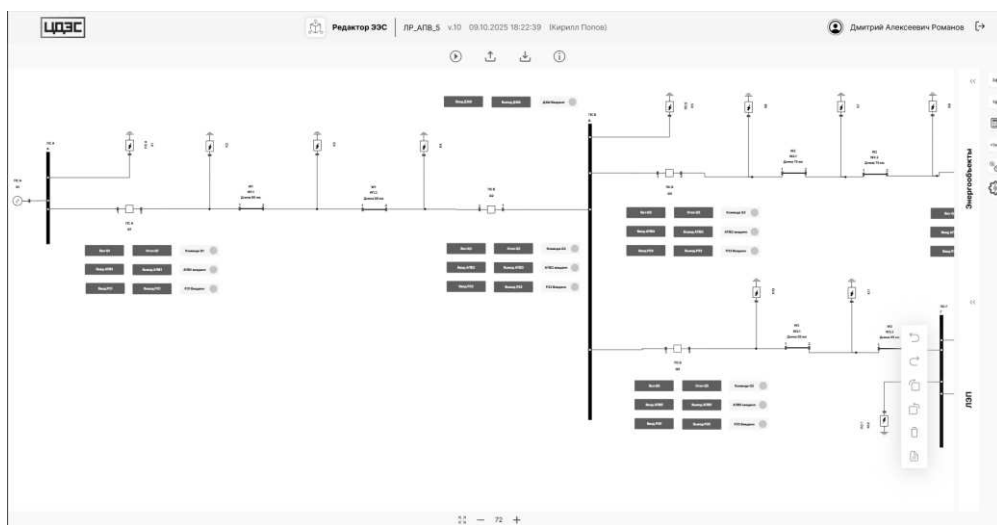


Рисунок 1 – Фрагмент схемы сети в лабораторной работе по теме «АПВ»

По результатам перевода процесса обучения с комплекса моделирования PSCAD в ПАК РВ «ЦДЭС» были отмечены следующие эффекты:

- Повышение эффективности взаимодействия обучающегося с комплексом моделирования достигается за счёт русскоязычного интерфейса, простоты и интуитивности интерфейса;

- **Формирование практических компетенций**, так как студенты осваивают не только теорию РЗА, но и практические аспекты: работу с осциллограммами COMTRADE, анализ срабатывания логики РЗА, понимание временных диаграмм;
- **Повышение успеваемости студентов**: Средний балл за защиту лабораторных работ вырос на 15% благодаря возможности самостоятельной внеаудиторной работы с комплексом ПАК РВ «ЦДЭС».
- **Сохранение точности моделирования** в сравнении с комплексом PSCAD.

Важно отметить, что область применения комплекса в НИУ «МЭИ» не ограничивается учебными аудиториями: **ПАК РВ «ЦДЭС» активно используется для выполнения научно-исследовательских работ (НИР) и проведения курсов повышения квалификации для специалистов электроэнергетических компаний.** Сопоставимая с зарубежными аналогами точность моделирования в сочетании с возможностями его интеграции с реальными устройствами по различным протоколам делает ПАК РВ «ЦДЭС» не только учебным инструментом, но и платформой для прикладных исследований и **создания виртуальных тренажёров для подготовки и отработки навыков оперативного персонала.** Таким образом, комплекс является универсальной основой для непрерывного образовательного и научно-технического цикла: от подготовки студентов до повышения квалификации действующих инженеров.

Список использованных источников

1. ФГОС 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. Приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 N 144 (ред. от 08.02.2021) // ФГОС URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-13-03-02-elektroenergetika-i-elektrotehnika-144/> (дата обращения: 01.11.2025).
2. Попов, С. А. Влияние современных программных комплексов математического моделирования на процесс обучения по направлению электроэнергетика / С. А. Попов, Г. А. Фальков // Молодежь и научно-технический прогресс : Сборник докладов XVI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах, Губкин, 06 апреля 2023 года. – Губкин-Старый Оскол: Общество с ограниченной ответственностью "Ассистент плюс", 2023. – С. 115-116. – EDN TUCZKG.

3. Валеев, Г. С. Моделирование в системах электроснабжения : Учебное пособие к лабораторным работам / Г. С. Валеев, Р. Г. Валеев ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения». – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – 51 с. – EDN JNZINJ.

УДК 681.3:553.98(574.4)

С.О. Гелдиев, А.Д. Язмуратов, И. Какаев, А.А. Азатов
Международный университет нефти и газа имени Ягшыгельди Какаева,
г. Ашхабад, Туркменистан

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫПУСКНИКОВ

***Аннотация.** В статье представлено программное обеспечение, предназначенное для автоматического формирования характеристик выпускников на основе их электронных данных и академической успеваемости. Программа реализована в виде Windows-приложения на языке Delphi и обеспечивает загрузку данных о студентах, анализ принадлежности к определённой категории успеваемости и автоматическое заполнение шаблонов характеристик формата .docx.*

S.O. Geldiyev, A.D. Yazmuradov, Y. Kakaev, A.A. Azadov
Yagshigeldi Kakaev International University of Oil and Gas
Ashgabat, Turkmenistan

SOFTWARE FOR AUTOMATED GENERATION OF GRADUATE CHARACTERISTICS

***Abstract.** The article presents software designed to automatically generate graduate characteristics based on electronic student data and academic performance categories. The application is implemented as a Windows program developed in Delphi and supports loading student folders, analyzing their performance levels, and filling predefined .docx templates.*

В образовательных учреждениях ежегодно формируются десятки и сотни характеристик для выпускников. Этот процесс традиционно является трудоёмким, поскольку требует:

- сбора данных о студентах,
- ручного переноса информации в шаблоны,
- учёта уровня успеваемости,