

Секция №7

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ



Scientific section №7

EDUCATIONAL TECHNOLOGIES AND TRAINING PROGRAMS FOR SPECIALISTS FOR ELECTRICAL POWER INDUSTRY

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕНАЖЁРА ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Васи́лашко О.Е.¹, Назаров А.А.^{1,2}

¹Филиал АО «СО ЕЭС» Смоленское РДУ, ²Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Россия
e-mail: vasila-oleg@yandex.ru

Аннотация

Состояние вопроса: На сегодняшний день в энергетике подавляющее большинство бизнес-процессов оптимизировано путём использования специфических программных комплексов и информационно-управляющих систем. Практически любой программный продукт является интеллектуальной собственностью разработчика, и его использование возможно лишь на коммерческой основе. Вместе с тем, применение в рамках образовательного процесса современных программных средств, эксплуатируемых электроэнергетическими компаниями, является взаимовыгодным для всех участников такой практики.

Материалы и методы: В статье описан опыт использования в рамках образовательного процесса Филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске такого специализированного программного комплекса, - тренажёра оперативных переключений в электроустановках.

Результаты: Разработан и внедрён в учебный курс Филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске практикум по оперативным переключениям для студентов профильных специальностей на базе тренажёра оперативных переключений.

Выводы: Использование в образовательном процессе современных специализированных программных комплексов позволяет оптимизировать время на подготовку будущих специалистов энергокомпаний, повысить их заинтересованность в дальнейшем трудоустройстве в энергетике, а также способствует приобретению обучающимися специфических знаний и навыков.

Ключевые слова: специализированное образование, оперативные переключения, тренажёр переключений.

USING THE SIMULATOR OF OPERATIONAL SWITCHING IN ELECTRICAL INSTALLATIONS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Oleg Vasilashko¹, Alexey Nazarov^{1,2}

¹Branch of JSC "SO UPS" Smolensk RDD
²Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "NRU "MEI" in Smolensk
Smolensk, Russia
e-mail: vasila-oleg@yandex.ru

Abstract

Background: Today, the vast majority of business processes in the energy sector are optimized through the use of specific software packages and information and control systems. Almost any software product is the intellectual property of its developer, and its use is only possible on a commercial basis. However, the use of modern software tools operated by electricity companies in the educational process is mutually beneficial for all participants.

Materials and Methods: The article describes the experience of using such a specialized software package, a simulator of operational switching in electrical installations, as part of the educational process of the Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "NRU "MEI" in Smolensk.

Results: A workshop on operational switching for students of specialized specialties based on an operational switching simulator has been developed and implemented in the training course of the Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "NRU "MEI" in Smolensk.

Conclusions: The use of modern specialized software systems in the educational process allows for optimizing the time required to train future specialists for energy companies, increasing their interest in further employment in the energy sector, and facilitating the acquisition of specific knowledge and skills by students.

Key words: specialized education, operational switches, and a switch simulator.

1. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в электроэнергетике, как и во многих других отраслях экономики нашей страны, ощущается нарастающий дефицит кадров. Помимо очевидных демографических и социально-экономических факторов, значительное влияние на сохранение данной негативной тенденции оказывает снижение престижности профессии энергетика в целом.

Проблема усугубляется оторванностью образовательных программ в ВУЗе от реальных задач, стоящих перед энергокомпаниями. Это, в свою очередь, приводит к тому, что им приходится тратить значительное количество ресурсов на «дообучение» студентов, что требует дополнительных затрат и увеличивает длительность периода подготовки и адаптации персонала.

В настоящее время рядом энергокомпаний уже реализуются различные проекты, связанные с подготовкой студентов по специализированным программам, при этом, зачастую, с такими студентами заключается предварительный договор, по которому стороны несут взаимные обязательства в части дальнейшего трудоустройства.

В процессе обучения по таким программам будущие энергетики могут познакомиться с информационно-управляющими системами, которые им придётся использовать в дальнейшем в своей трудовой деятельности, и попробовать свои силы в решении задач, приближенных к реальным бизнес-процессам, существующим в энергетике. Однако доля студентов, обучающихся по таким программам, остается сравнительно небольшой, что не отвечает комплексной задаче повышения качества образования для студентов электроэнергетического направления.

В Филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске в учебных курсах «Автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления» для магистрантов 1 курса и «Оперативно-диспетчерское управление электроэнергетическими системами» для бакалавров 4 курса разработан и внедрён практикум по оперативным переключениям в электроустановках на тренажёре оперативных переключений СК-11.NOTS (Network Operations Training Simulator) (далее – ТОП).

Данная практика позволяет всему потоку студентов получить навыки по производству оперативных переключений в электроустановках, управлению электроэнергетическими режимами, познакомиться с реальными схемами объектов электроэнергетики и понять процессы оперативно-диспетчерского и оперативно-технологического управления объектами ЭЭС.

Статья посвящена анализу опыта применения ТОП и перспективам его дальнейшего использования в образовательном процессе.

II. ОПИСАНИЕ ИСПОЛЪЗУЕМОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

С 2007 года диспетчеры региональных диспетчерских управлений АО «СО ЭЭС» состязаются в решении профессиональных задач на Морозовской

энергосистеме [1]. В своём составе она содержит различные типы объектов электроэнергетики, существующих в ЕЭС России. Электрические станции представлены ГЭС, ГРЭС, ТЭЦ, ВЭС и СЭС. Электрические подстанции представлены тремя классами напряжения: 4 ПС 500 кВ, 16 ПС 220 кВ и 25 ПС 110 кВ. В перечне линий электропередачи присутствуют как ВЛ, так и КВЛ. На ряде объектов реализовано дистанционное управление (ДУ) из диспетчерского центра (ДЦ) Морозовского РДУ.

Участники при подготовке к региональным соревнованиям диспетчерского мастерства имеют возможность заблаговременно ознакомиться с полным описанием Морозовской энергосистемы, в котором содержится множество особенностей, касающихся порядка переключений на объектах электроэнергетики, входящих в операционную зону Морозовского РДУ. Например, ряд ЛЭП находятся под наведенным напряжением, а на некоторых объектах возможно возникновение явления феррорезонанса между ёмкостью выключателей и индуктивностью ТН. Кроме того, ряд особенностей, имеющих большое значение при определении правильного порядка переключений, обусловлен компоновкой распределительных устройств объектов, распределением функций ДУ оборудованием, местами установки измерительных трансформаторов тока и напряжения, составом и размещением устройств РЗА, наличием устройств ПА и каналов передачи аварийных сигналов и команд.

По причине того, что количество часов, отведённых в учебном плане на ознакомление с ТОП, ограничено, решаемые студентами в рамках практикума задачи значительно уступают по сложности тем, которые приходится решать диспетчерам при прохождении соревнований. В дальнейшем, при накоплении достаточного опыта проведения занятий и получении студентами необходимых навыков, возможно усложнение заданий.

III. ОПИСАНИЕ ТОП

ТОП предназначен для [2]:

- обучения порядку проведения оперативных переключений персонала центров оперативно-диспетчерского управления электрическими сетями;
- проведения соревнований профессионального мастерства диспетчерского и оперативного персонала по переключениям.

Ключевые компоненты ТОП:

- математическая модель ЭЭС, рассчитывающая параметры электроэнергетического режима в различных ситуациях (нормальные, аварийные, ремонтные схемы);
- пользовательский интерфейс с визуализацией главных схем ЭЭС, ПС, ЭС, устройств РЗА;
- сценарии тренировок, предусматривающие аварии, нарушения режимов, которые необходимо обнаружить и ликвидировать.

В общем случае тренировочный процесс с использованием ТОП можно разделить на 3 этапа [3]:

- 1) подготовка тренировки;
- 2) проведение тренировки;

3) оценка результатов тренировки.

Технолог подготавливает модель электрической сети, исходный режим, сценарии внешних событий и прочую информацию, необходимую для обеспечения тренировочной сессии. Сценарий тренировки – это описание тренировки, включающее в себя условия проведения тренировки, события и карту эталонных действий тренируемого [3].

В качестве условий проведения тренировки может задаваться информация о состоянии коммутационных аппаратов (топологические условия), параметрах режима работы энергосистемы (режимные условия) или иные условия (например, температура и скорость ветра) на момент старта тренировки, которые могут влиять на действия тренируемого.

В контексте проведения тренировки по переключениям под событием понимают запрограммированное заранее воздействие извне на тренировочный процесс, которое характеризуется новой вводной информацией для тренируемого и может сопровождаться воздействием на энергосистему.

Карта эталонных действий тренируемого используется для автоматического анализа результатов проведения тренировки. Действия возможно объединять в группы по смысловому признаку. Действия в группе могут выполняться как в строгой последовательности, так и в произвольном порядке [3].

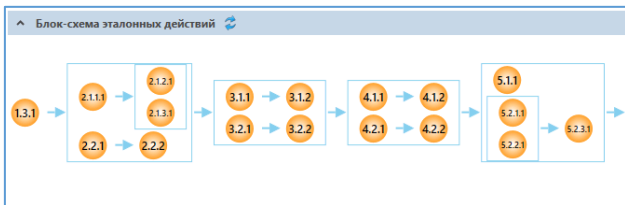


Рис. 1. Фрагмент блок-схемы эталонных действий

В ходе проведения тренировки в ТОП тренирующийся может выполнять следующие действия:

- коммутация;
- дистанционное управление;
- с плакатами и пометками;
- проверочные операции;
- осмотр;
- с оперативным током;
- операции во вторичных цепях ТН;
- операции с УРЗиА;
- управление аналоговым значением (генерации и потребления);
- изменение положения анцапф РПН;
- оперативные переговоры;
- произвольные действия.

Прохождение тренировки в ТОП возможно по одному из двух вариантов, - учебная тренировка, либо контрольная. В режиме учебной тренировки существует возможность воспользоваться подсказкой при выборе очередного действия.

По ходу тренировки автоматически формируется последовательность выполняемых операций, - журнал тренировки. После завершения тренировки выполняется сравнение эталонных действий с журналом тренировки.

Тренировка завершена	
Максимальная сумма баллов за тренировку	- 180
Сумма баллов за тренировку	- 162
Сумма баллов за выполненные действия	- 165
Сумма баллов за пропущенные действия	- 10
Сумма баллов за нарушение порядка	- 5
Сумма штрафных баллов	- 3
Сумма баллов за управление режимом	- 0
Итоговая оценка за тренировку	- 90%
17:06:06	

Рис. 2. Сводная информация о результатах прохождения тренировки

По результатам сравнения формируется протокол, который содержит все выполненные, а также предусмотренные картой эталонных действий, но не выполненные тренируемым операции [3].

IV. ЗАДАНИЯ, РЕШАЕМЫЕ СТУДЕНТАМИ НА ТОП

При подготовке сценариев тренировок было решено взять за основу последовательность операций, приведённую в [4].

Оптимальными, с точки зрения сложности реализации в ТОП и выполнения студентами, были признаны переключения по выводу в ремонт (и вводу в работу):

- ЛЭП с отпайкой;
- ЛЭП посредством ДУ из ДЦ с замыканием поля;
- СШ с переводом присоединений;
- трансформатора на двухтрансформаторной ПС;
- выключателя ЛЭП с переводом ЛЭП на ОВ
- коммутационных аппаратов и ЛЭП при их повреждении.

Как было отмечено выше, ТОП позволяет проводить как учебные, так и контрольные тренировки. Вначале студентам было предложено в режиме учебной тренировки выполнить переключения по выводу в ремонт оборудования, а затем в форме контрольной тренировки произвести обратные действия по вводу его в работу. Также рассматривались действия при ликвидации повреждений коммутационных аппаратов и ЛЭП

V. РОЛЬ И МЕСТО ТОП В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

При помощи интеграции ТОП в образовательный процесс ВУЗа можно решать множество задач, список которых приведён в Таблице 1.

Таблица 1. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ТОП В УЧЕБНУЮ ПРОГРАММУ ВУЗА

Уровень подготовки	Цели и задачи использования ТОП
Бакалавриат	Закрепление теории. Наглядное изучение схем ЭЭС и ПС. Изучение порядка оперативных переключений. Формирование первичных навыков. Включение/отключение выключателей, разъединителей, заземление оборудования
Магистратура	Рассмотрение процесса переключений с точки зрения управления режимами ЭЭС. Определение ремонтных схем сети. Изучение влияния изменения топологии сети на режим работы энергосистемы.

Уровень подготовки	Цели и задачи использования ТОП
	Введение в курс ликвидации аварий. Локализация и ликвидация аварий. Анализ последствий аварийных отключений.
Профессиональная переподготовка/ Повышение квалификации	Обучение новым навыкам. Обучение работе с ТОП в роли технолога. Знакомство с ТОП на позиции тренируемого. Углубление профессиональных знаний. Наглядный разбор принципов переключений. Моделирование и разбор сложных аварий.

В пользу применения ТОП в процессе обучения для решения указанных задач говорит ряд его неоспоримых преимуществ, самое главное из которых – это «право на ошибку». Студент может совершить неправильное действие (например, отключить не тот выключатель), увидеть виртуальные последствия (моделирование короткого замыкания, поражение персонала), но в реальности никто не пострадает, и оборудование не выйдет из строя.

Другим не менее важным преимуществом ТОП является визуализация невидимых процессов. Студент не просто заучивает последовательность действий, а наблюдает, как команды с экрана приводят к изменениям в схеме: разрываются электрические связи, перераспределяются потоки мощности, изменяются параметры электроэнергетического режима и т.п.

Одновременно с этим ТОП позволяет моделировать редкие, но крайне опасные ситуации (обрывы ЛЭП, полные исчезновения напряжения и т.п.).

Еще одним преимуществом ТОП является возможность привлечения к занятиям персонала диспетчерских центров – диспетчеров ЭЭС, которые могут дополнить теоритические знания студентов практическим опытом управления энергосистемой и переключений в электроустановках.

И наконец, благодаря интерактивности ТОП, лекции и семинары превращаются в увлекательные практические занятия, где вместо статичных схем на доске — динамичная, реагирующая на действия модель энергосистемы.

VI. ВЫВОДЫ

Применение ТОП в качестве средств обучения в рамках практических занятий позволяет повысить качество подготовки студентов, их вовлечённость в образовательный процесс и способствует развитию у них интереса к профессии и будущей трудовой деятельности.

Одновременно с этим, с точки зрения ВУЗа, включение в учебный процесс практикума на базе ТОП позволяет поддерживать и повышать актуальность образовательных программ, тем самым способствуя

повышению привлекательности обучения в данном учебном заведении.

Для работодателя положительный эффект от интеграции ТОП в учебный процесс также очевиден, ведь по окончании ВУЗа молодые специалисты уже знакомы с деятельностью компании, и на их адаптацию тратится значительно меньше ресурсов.

Наконец, для разработчика ТОП практика внедрения в образовательный процесс также может быть полезна. Во-первых, упоминание программного продукта и включение его в учебный план ВУЗа повышает статус компании-разработчика. Во-вторых, проведение подобных практических занятий способствует расширению аудитории продвинутых пользователей ТОП. В-третьих, компания-разработчик также заинтересована в поиске молодых работников, и некоторые из студентов, возможно, захотят начать свой трудовой путь именно в рядах её сотрудников.

Дальнейшее развитие опыта внедрения ТОП в образовательный процесс может проходить в нескольких направлениях. Первым из них может быть усложнение заданий, решаемых студентами, приближение их по сути и содержанию к реальным соревнованиям диспетчерского персонала, проводимым в АО «СО ЕЭС». Также возможно предусмотреть более углубленное изучение самого ТОП с позиции технолога, включив в практикум задания по подготовке тренировок по переключениям.

Таким образом, использование ТОП в ВУЗе - это принципиальный шаг к созданию современной, безопасной и эффективной системы подготовки инженеров-энергетиков. Его применение позволяет закрыть разрыв между теоретическими знаниями и практическими навыками, формируя у выпускников те самые компетенции, которые востребованы на современном рынке труда и от которых напрямую зависит надёжность и безопасность электроэнергетического комплекса страны.

Список литературы

- [1] Описание объектов электроэнергетики и организации оперативно-диспетчерского управления Морозовской энергосистемы. - Москва: [б.и.], 2024. - 86 с.
- [2] АО «Монитор Электрик»: официальный сайт, – Пятигорск, 2025 URL: <https://monitel.ru/applications/ck11-nots/> (дата обращения – 28.10.25).
- [3] Справочная система Тренажёра переключений NOTS. Документация разработчика АО «Монитор Электрик». Версия 1.5.4, редакция 10. (дата обращения - октябрь 2025).
- [4] Приказ Министерства энергетики РФ от 13 сентября 2018 г. N 757 "Об утверждении Правил переключений в электроустановках" (с изменениями и дополнениями). Гарант [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/72111268/>

ПОВЫШЕНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ РАБОТНИКОВ ТЭК В ОБЛАСТИ РЫНКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Матвийчук Н.В., Лукошкин Е.Г.

ООО «Сургутэнергосбыт»
Сургут, Россия
e-mail: matviychuknv@mail.ru

Аннотация

Состояние вопроса: Главной задачей любого потребителя электроэнергии (мощности) является достижение энергосберегающего режима работы технологических процессов. Снижению энергетических затрат уделяется большое внимание, но для многоуровневой организационной структуры предприятия ключевым фактором для достижения поставленных задач энергоэффективности является компетентный персонал.

Формирование уровня знаний в области рынков электроэнергии (мощности) нацелено на повышение производительности и эффективности трудовой деятельности сотрудников организации,

Материалы и методы: Нормативно правовые акты действующего законодательства РФ в области электроэнергетики и основы рынков электроэнергии (мощности).

Результаты: Повышение знаний в специфике модели рынка электроэнергии (мощности) как начальный этап энергоэффективного функционирования промышленных предприятий ТЭК.

Выводы: Повышение компетенций работников в области рынков электроэнергии (мощности) способствует формированию эффективного планирования режимов работы энергоёмких технологических процессов на предприятиях ТЭК, что оказывает положительное влияние на надежность Единой энергетической системы России.

Ключевые слова: электроэнергия, электрическая мощность, управление электропотреблением, целостная система планирования, прогнозирование электропотребления.

IMPROVING THE COMPETENCIES OF FUEL AND ENERGY SECTOR EMPLOYEES IN THE FIELD OF ELECTRICITY MARKETS

Nikita Matviychuk, Evgeniy Lukoshkin

ООО «Surgutenergosbyt»
Surgut, Russia
e-mail: matviychuknv@mail.ru

Abstract

Background: The main task of any consumer of electricity (capacity) is to achieve an energy-efficient power supply regime. The use of energy-saving equipment without a clear understanding of the area of responsibility of participants in the electricity (capacity) markets within the framework of the Unified Energy System of Russia is not aimed at obtaining a systemic effect of energy saving.

Materials and methods: Regulatory legal acts of the current legislation of the Russian Federation in the field of electric power industry and fundamentals of electricity (capacity) markets.

Results: Increasing knowledge of the specifics of the electricity (capacity) market model as the initial stage of energy-efficient operation of industrial enterprises of the fuel and energy complex.

Conclusions: Improving the competence of employees in the field of electricity (capacity) markets It contributes to the formation of effective planning of operating modes of energy-intensive technological processes at fuel and energy complex enterprises, which has a positive impact on the reliability of the Unified Energy System of Russia.

Key words: electricity, electrical power, electricity consumption management, integrated planning system, and electricity consumption forecasting.

I. ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергия – это важнейший ресурс в современном мире, способствующий как созданию комфортных условий для жизни рядового гражданина, так и достижению экономических успехов предприятий и государства.

Потребителю электроэнергии сегодня, помимо элементарных знаний основ физики процесса выработки электроэнергии, для снижения энергетических затрат, необходимо обладать достаточной нормативной базой для понимания регулирования отношений участников рынков электроэнергии (мощности), на пути следования

электроэнергии от электростанции до конечного потребителя.

Учитывая многоуровневую структуру предприятия, влияющую на принятие решений по планированию и управлению энергопотреблением, основная проблема на сегодняшний день заключается в не достаточном уровне знаний рыночных механизмов покупки электроэнергии и мощности не только инженерами-энергетиками, но и специалистами других профессий.

Введение целостной системы планирования и управления энергопотреблением, охватывающей все уровни предприятия, является приоритетной задачей для достижения системного эффекта энергосбережения, который может быть получен при повышении компетенций специалистов.

II. ПОВЫШЕНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ РАБОТНИКОВ

С целью повышения компетенций работников промышленных предприятий, целесообразно внедрение обучающей программы по повышению уровня знаний устройства и правил оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ).

Данная обучающая программа позволит сократить затраты на электроэнергию по средством учета технологических взаимодействий между отдельными цехами и производствами, что отразится в системном эффекте энергосбережения. Разрешит межуровневые противоречия при планировании и управлении электропотреблением технологических процессов в многоуровневой структуре предприятия.

III. ФАКТИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

На базе учебного комбината (центра), была реализована программа обучения ОРЭМ [1,2,3] включающая в себя следующие темы (разделы):

- Общее устройство рынка;
- Общее представление об отраслевом законодательстве, регулирующем функционирование рынка;
- Оптовый рынок электроэнергии (мощности) как организационная торговая площадка;
- Инфраструктурные организации оптового рынка;
- Участники оптового рынка;
- Регламенты оптового рынка – приложения к Договору о присоединении к торговой системе;
- Предмет торговли на оптовом рынке: электроэнергия и мощность;
- Структура договоров оптового рынка;
- Рынок на сутки вперед;
- Балансирующий рынок электроэнергии;
- Рыночные механизмы выбора состава включенного генерирующего оборудования;
- Основы рынка мощности;
- Розничные рынки;
- Ценообразование на розничных рынках.

В результате внедрения обучающей программы на предприятии уделяется должное внимание согласованию

оптимальных графиков электропотребления. Сформированы накопительные базы данных фактического электропотребления, посредством которых улучшилось почасовое планирование электропотребления в результате сокращения ошибки прогнозирования как на локальном уровне отдельных производственных участков, так и в целом на предприятии. Разработан программно-аппаратный комплекс прогнозирования почасового электропотребления (ПАК).

С целью дополнительного снижения затрат на электроэнергию на предприятии прогнозируются часы максимумов энергетической системы, в которые предприятие ограничивает свое электропотребление, что по мимо экономического эффекта улучшает надежность и пропускную способность единой энергетической системы.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ

Благодаря внедрению курса обучения ОРЭМ на предприятии улучшилось понимание энергоэффективного системного планирования потребления электроэнергии, выразившегося в снижении доли отклонений планируемых объемов потребления электроэнергии от фактических. Доли отклонений почасового планирования в 2024 году представлены на рис. 1.

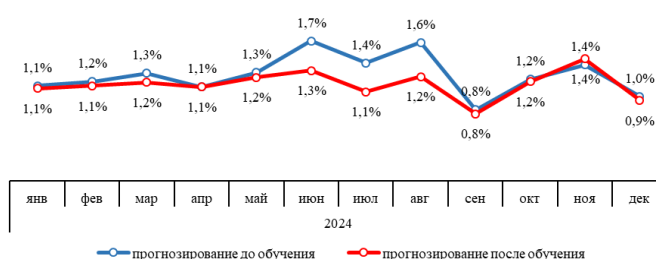


Рис. 1. Доли отклонений почасового планирования в 2024 году

Был разработан ПАК направленный на прогнозирование электропотребления с накопительной базой данных статистических событий используемых для повышения точности планирования.

В часы контроля мощности энергосистемы осуществляется снижение электропотребления, что оказывает положительное влияние на пропускную способность и надежность единой энергосистемы.

Экономический эффект от внедрения курса обучения ОРЭМ за 2024 год составил более 18 млн. руб.

Список литературы

- [1] Гусев, А. В. (2018). "Особенности функционирования оптового рынка электроэнергии в России". Энергетическая политика, № 6, стр. 102-110. — Анализ законодательства и особенностей рынка.
- [2] Министерство энергетики РФ. (2022). Стратегия развития энергетики России до 2035 года. — Основные направления развития и политики, связанные с обучением и подготовкой специалистов рынка электроэнергии.
- [3] Тимошенко, А. И. (2020). "Обучение моделей предсказания цен на электроэнергию для российского рынка". Российский журнал прикладной математики и информационных технологий, № 2, с. 134-142. — Исследование и практики обучения моделям для российского рынка.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Менделеев Д.И.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», АО «ТАТЭНЕРГО»

Казань, Россия

e-mail: Dylankn@ya.ru

Аннотация

Состояние вопроса: В статье представлен комплексный анализ внедрения технологий виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR) в образовательный процесс студентов энергетических специальностей. Анализируются преимущества VR/AR-обучения, включая повышение наглядности, безопасность отработки практических навыков и возможность моделирования сложных технологических процессов. На основе последних статистических исследований рассматриваются ключевые преимущества и экономическая эффективность VR/AR-решений. Особое внимание уделено результатам практического применения в энергетическом образовании и корпоративном обучении.

Материалы и методы: Анализ применения VR-тренажеров в образовательных организациях и на производственных площадках

Результаты: Внедрение VR показывает значительное повышение успеваемости, ускорение формирования практических навыков и лучшие результаты по усвоению техники безопасности по сравнению с традиционными методами обучения.

Выводы: Технологии виртуальной реальности показывает свою высокую эффективность, повышает интерес к обучению и перспективность для подготовки энергетиков, обеспечивая безопасное, наглядное и глубоко вовлекающее обучение. Несмотря на существующие ограничения, развитие VR/AR-симуляторов открывает новые перспективы для энергетического образования в условиях цифровизации отрасли.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR/AR-обучение, энергетическое образование, цифровые технологии, симуляторы, тренажеры

EFFICIENCY AND PROSPECTS OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES APPLICATION IN TRAINING STUDENTS OF ENERGY SPECIALTIES

Dmitrii Mendeleev

Kazan State Power Engineering University, JSC "TATENERGO"

Kazan, Russia

e-mail: Dylankn@ya.ru

Abstract

Background: This article provides a comprehensive analysis of the implementation of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technologies into the educational process for students in energy specialties. It analyzes the advantages of VR/AR learning, including enhanced visualization, the safe practice of practical skills, and the ability to simulate complex technological processes. Based on recent statistical research, the key benefits and cost-effectiveness of VR/AR solutions are examined. Particular attention is paid to the results of practical application in energy education and corporate training.

Materials and Methods: The study analyzed the use of VR simulators in educational institutions and at industrial sites.

Results: The implementation of VR demonstrated a significant increase in academic performance, an accelerated development of practical skills, and better results in mastering safety protocols compared to traditional teaching methods.

Conclusions: Virtual Reality technology proves to be highly effective, increases engagement, and is a promising tool for training energy specialists by providing safe, visual, and deeply immersive learning. Despite existing limitations, the development of VR/AR simulators opens new prospects for energy education in the context of industry digitalization.

Key words: virtual reality, VR/AR learning, energy education, digital technologies, simulators, training complexes

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные энергетические системы требуют от специалистов глубоких знаний и практических навыков работы с высокотехнологичным оборудованием. Однако традиционные методы обучения часто не позволяют в полной мере обеспечить безопасную и эффективную отработку действий в аварийных ситуациях или при работе с опасными установками. Современная энергетика переживает период активной цифровизации. 78% энергетических компаний мирового уровня уже инвестируют в технологии VR/AR для обучения персонала. Российский рынок образовательных VR-решений демонстрирует ежегодный рост на 32% что свидетельствует о возрастающей актуальности данной технологии [1]

II. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПОДГОТОВКИ

Технологии виртуальной и дополненной реальности открывают новые возможности для интерактивного обучения, позволяя моделировать реальные производственные процессы без риска для студентов.

Как отмечается в исследовании OT-Media VR/AR-решения особенно эффективны в обучении охране труда, что актуально для энергетики: на 40% выше скорость обучения по сравнению с традиционными методами, на 35% лучше запоминаемость материала, на 275% больше уверенности при применении знаний на практике. [2-3]

Для энергетической отрасли особое значение имеют данные по безопасности: на 70% сокращение количества ошибок при работе с оборудованием, на 50% снижение времени реагирования в аварийных ситуациях. [4-5]

Преимущества VR/AR-обучения:

1. Безопасность и снижение рисков. Одной из ключевых проблем в подготовке энергетиков является необходимость работы с высоким напряжением, сложным оборудованием и потенциально опасными процессами. VR-симуляторы позволяют отрабатывать действия в аварийных ситуациях (например, короткое замыкание или возгорание) без угрозы для жизни и здоровья (рис.1)

VR-тренажеры для обучения охране труда позволяют:

- имитировать опасные ситуации без реального риска;



Рис. 1. Использование VR-тренажера на энергетическом объекте

- тренировать правильные действия при ЧС;
- снижать травматизм на производстве за счет предварительной виртуальной подготовки.

2. Наглядность и интерактивность. VR/AR позволяет визуализировать сложные процессы, такие как:

- принципы работы электростанций (ТЭС, ГЭС, АЭС, ВИЭ);
- функционирование smart grid и микросетей;
- диагностика и ремонт энергооборудования.

Студенты, а также работники энергопредприятий могут "погружаться" в виртуальные модели энергоустановок, изучая их устройство в деталях. Дополненная реальность (AR) может использоваться для наложения цифровых подсказок на реальное оборудование, что упрощает обучение.

3. Экономическая эффективность. Использование VR/AR снижает затраты на организацию практики:

- не требуется доступ к реальному оборудованию;
- уменьшается расход материалов;
- сокращается время на подготовку лабораторных стендов.

Статистика применения VR на энергообъектах:

- На 45% повысилась точность диагностики оборудования
- На 60% сократилось время освоения новых технологий
- 85% студентов отмечают лучшее понимание сложных процессов

III. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В вузах VR позволяет проводить виртуальные вскрытия сложного оборудования. Студент может в буквальном смысле разобрать турбину или силовой трансформатор на детали, увидеть скрытые процессы вроде движения пара или магнитных полей, а затем собрать всё обратно — без риска повредить дорогостоящий реальный образец. На виртуальном учебном полигоне под напряжением они отрабатывают действия при авариях и даже проводят реанимационные действия на цифровом манекене — всё это без малейшей угрозы для жизни. [6-7]

На энергопредприятиях VR становится инструментом для отработки сложных регламентов. Новый сотрудник перед выходом на реальный объект в VR-очках уже знает точное расположение всех задвижек и клапанов, что сокращает время на адаптацию. Перед плановым ремонтом, например, линии электропередачи, бригада целиком отрабатывает всю процедуру в виртуальной копии: от получения наряда-допуска до установки заземлений. Это формирует мышечную память и предотвращает ошибки. Для оперативного персонала создаются симуляторы каскадных аварий в энергосистеме, где нужно принимать решения за минуты, чтобы не допустить отключений энергосистемы, — редкий, но критически важный навык, который невозможно безопасно тренировать в реальности.

Таким образом, VR устраняет главный разрыв между теорией и практикой, обеспечивая безопасное, глубокое и эффективное обучение как для студентов, так и для действующих специалистов.

Практическое применение:

- 28% технических вузов уже используют VR в обучении энергетиков
- 14 энергетических факультетов имеют полные VR-лаборатории
- Наибольшая активность в МЭИ, СПбПУ, ТПУ, УрФУ

• Примеры в энергетике: (рис.2.) «Россети» (Россия) (VR-тренажеры для подготовки оперативного персонала); Siemens AG (Германия) (VR-тренажер для обслуживания газовых турбин); National Grid (Великобритания) (Использование VR для обучения работе с высоковольтным оборудованием.) и др.

Перспективы развития до 2030 года Согласно "Стратегии развития энергетического образования РФ":

1. 100% энергетических вузов с VR-лабораториями
2. Разработка 20 отраслевых VR-стандартов
3. Подготовка 5000 VR-педагогов
4. Внедрение VR/AR в 90% технических вузов энергетического профиля
5. Снижение стоимости оборудования на 35-40%

Примеры применения VR/AR в энергетическом образовании:

А) Разрабатываются симуляторы, имитирующие работу с распределительными устройствами, где студенты учатся выполнять коммутационные операции, проводить измерения и устранять неисправности.

Б) Моделирование аварийных ситуаций VR позволяет создавать сценарии аварий (например, перегрузка трансформатора, обрыв ЛЭП), обучая студентов алгоритмам действий в критических условиях.

В) Обучение охране труда с помощью VR. VR-тренажеры для обучения охране труда уже применяются в промышленности, включая энергетику. Они позволяют: отрабатывать действия при поражении электрическим током; обучать правилам использования средств индивидуальной защиты; моделировать пожаротушение на энергообъектах и т.д. (рис. 3.)

Несмотря на доказанную эффективность, массовому внедрению VR-технологий в энергетическое образование препятствуют несколько ключевых факторов:

- Высокая первоначальная стоимость. Создание качественных VR-симуляторов, закупка оборудования и его техническое обслуживание требуют значительных инвестиций.
- Дефицит готового контента и кадров. Отрасль испытывает нехватку методических разработок и преподавателей, способных работать с VR-тренажерами.
- Технические ограничения. Такие факторы, как "эффект морской болезни" (киберболезнь) у части пользователей, необходимость регулярной калибровки оборудования и его быстрый моральный износ, остаются актуальными проблемами.



Рис. 2. Пример сценария «Работы в замкнутом пространстве, газоопасные работы» (ARPort SafetyVR)

Решение этих проблем видится в развитии государственно-частного партнерства, при котором энергетические компании инвестируют в разработку контента для профильных вузов, а университеты, в свою очередь, готовят кадры, адаптированные к цифровой среде. Стандартизация платформ и развитие библиотек готовых VR-модулей позволят значительно снизить затраты на внедрение.

Ключевым фактором успеха является сотрудничество между образовательными учреждениями и компаниями-разработчиками VR/AR-решений.

На ближайшую перспективу развитие VR-обучения в энергетике будет идти по пути создания полноценных цифровых двойников (Digital Twins) реальных энергообъектов. В отличие от статичного тренажера, цифровой двойник в реальном времени получает данные с датчиков физического объекта (например, с турбины ТЭЦ). Это позволяет не только обучать персонал, но и:

- Проводить глубокий анализ работы оборудования.
- Отрабатывать предиктивные сценарии его обслуживания.
- Тестировать новые режимы работы и оптимизировать энергопотребление.

В таблице 1 приведено сравнение методов обучения по четырем параметрам: безопасность, стоимость, эффективность и гибкость.

Таблица I. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

Параметр	Физические макеты	2D-симуляторы	VR-тренажеры	Цифровые двойники
Безопасность	Высокий риск	Условный риск	Полная безопасность	Полная безопасность
Стоимость	Очень высокая	Средняя	Средняя/высокая	Высокая (но окупается)
Эффективность	Низкая	Средняя	● Высокая	Максимальная
Гибкость	Низкая	Средняя	Высокая	Максимальная

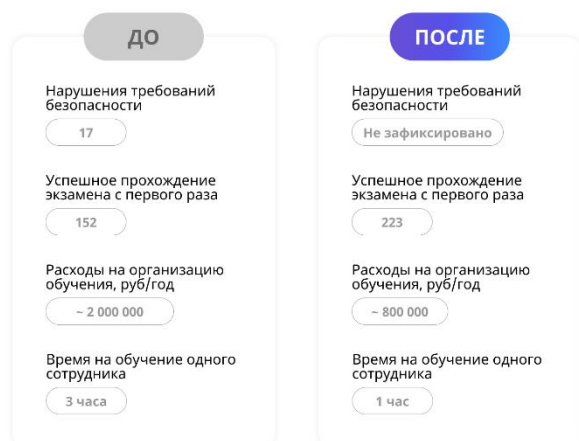


Рис. 3. Пример результатов применения VR – тренажера на производстве

Таким образом, VR-тренажеры эволюционируют из инструмента формирования навыков в комплексные аналитические платформы для управления жизненным циклом энергообъекта.

IV. ВЫВОД

Внедрение VR/AR-технологий в обучение энергетиков способствует повышению качества подготовки специалистов, обеспечивая безопасную и эффективную отработку практических навыков. Несмотря на существующие ограничения, развитие VR/AR-симуляторов открывает новые перспективы для энергетического образования в условиях цифровизации отрасли.

Перспективы развития данного направления видятся в переходе от изолированных тренажеров к созданию комплексных цифровых двойников энергообъектов, интегрированных с системами IoT и искусственного интеллекта. Это откроет возможности не только для обучения, но и для предиктивного анализа и оптимизации реальных технологических процессов. Несмотря на

существующие барьеры, такие как высокая первоначальная стоимость и дефицит квалифицированных кадров, развитие VR-обучения является стратегически важным для подготовки нового поколения энергетиков, способных эффективно работать в условиях цифровой трансформации.

Список литературы

- [1] Министерство энергетики Российской Федерации. (2020). Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года с перспективой до 2050 года [Утверждена распоряжением Правительства РФ №1523-р от 9 июня 2020 г.]. Москва. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>
- [2] Усков, Д. А., Шубина, А. С., Менделеев, Д. И., Марьин, Г. Е., Хаертдинова, А. Р. Обучение студентов и подготовка работников теплоэлектротрансформации с использованием компьютерного тренажера // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – № 2 (34).
- [3] Петров А.Н., Сидорова Е.В. Виртуальные тренажерные комплексы в подготовке оперативного персонала энергопредприятий // Энергетик. – 2022. – № 5(147). – С. 42-49. DOI: 10.25791/energetik.05.2022.1256
- [4] Кузнецов Д.М. Применение VR-технологий в образовательном процессе энергетических вузов: российский опыт // Цифровая трансформация энергетики: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 15-17 ноября 2023 г.) / под ред. В.Г. Семёнова. Государственный отчет "Внедрение immersive-технологий в энергетическом образовании" / АО "Концерн Росэнергоатом"; рук. проекта И.К. Волков. – Обнинск: НИКИЭТ, 2021. – 87 с. – (Серия "Цифровые решения для ТЭК"; вып. 12). – М.: МЭИ, 2023. – С. 115-123.
- [5] Менделеев, Д. И. Лабораторные работы для тренажерных комплексов на базе предприятий как способ для обучения студентов и переподготовки оперативного персонала / Д. И. Менделеев // Электроэнергетика глазами молодежи : материалы XII Международной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 16–19 сентября 2022 года. Том Часть II. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2022. – С. 195-198. – EDN PMVNSE.
- [6] 1. Li B. и др. Research and application of digital electrical substation virtual engineering education system // Comput. Appl. Eng. Educ. 2024. Т. 32.2. Qawqzeh Y. и др. Exploring the effectiveness of virtual reality-based training for sustainable health and occupational safety in industry 4.0. // Sci. Rep. 2025. Т. 15. № 1. С. 28930.
- [7] 1. Qawqzeh Y. и др. Exploring the effectiveness of virtual reality-based training for sustainable health and occupational safety in industry 4.0. // Sci. Rep. 2025. Т. 15. № 1. С. 28930.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТРЕНАЖЁРНОЙ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Пашков Р.А.

Филиал ПАО «Россети» – Красноярское предприятие магистральных электрических сетей
Красноярск, Россия
e-mail: roma5549@outlook.com

Аннотация

Состояние вопроса: Современные электрические подстанции 110–500 кВ характеризуются высоким уровнем автоматизации, применением микропроцессорных защит (РЗА), цифровых каналов связи и АСУ ТП. С ростом сложности оборудования и технологических процессов возрастает роль оперативного персонала, на действия которого приходится наиболее серьезные ошибки, приводящие к технологическим нарушениям. Существующие тренажёры используют упрощённые математические модели, статические мнемосхемы и не обладают средствами динамической генерации сценариев, что снижает качество подготовки персонала и ограничивает её адаптивность.

Материалы и методы: Компьютерное моделирование, визуальное программирование

Результаты: Разработан тренажер противоаварийных тренировок оперативного персонала электрических подстанций, включающий модуль генерации адаптивных сценариев на основе отечественной модели SberGPT.

Выводы: Продемонстрирована применимость отечественных нейросетевых моделей для автоматизированного формирования сценариев и формализованной оценки действий оперативного персонала, что снижает зависимость результатов тренировки от субъективных факторов. Полученные данные подтверждают функциональную состоятельность предложенной архитектуры с целью усовершенствования методов проведения тренировок оперативного персонала

Ключевые слова: тренажёр, подстанция, противоаварийная тренировка, нейросетевые модели.

EMERGENCY AND FIRE FIGHTING TRAINING SIMULATOR FOR PERSONNEL IN ELECTRIC POWER INDUSTRY ORGANIZATIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Roman Pashkov

Branch of PJSC «Rosseti» – Krasnoyarsk enterprise of backbone electrical networks
Krasnoyarsk, Russia
e-mail: roma5549@outlook.com

Abstract

Background: Modern high-voltage substations (110–500 kV) are characterized by a high level of automation, the use of microprocessor-based relay protection systems, digital communication channels, and automated process control systems. As the complexity of equipment and technological processes increases, the role of operational personnel becomes more significant, with their errors accounting for the most severe technological disturbances. Existing training simulators rely on simplified mathematical models, static mimic diagrams, and lack dynamic scenario generation capabilities, which reduces the quality and adaptability of personnel training.

Materials and Methods: Computer modeling, visual programming.

Results: A training simulator for emergency response training of substation operational personnel has been developed, incorporating a module for generating adaptive scenarios based on the domestic neural network model SberGPT.

Conclusions: The applicability of domestic neural network models for automated scenario generation and formalized assessment of operator actions has been demonstrated, reducing the dependence of training outcomes on subjective factors. The obtained results confirm the functional viability of the proposed architecture aimed at improving the methods of operational personnel training.

Keywords: training simulator, substation, emergency training, neural network models.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные электрические подстанции напряжением 110–500 кВ представляют собой сложные электротехнические комплексы, оснащённые микропроцессорными устройствами РЗА, АСУ ТП, высокопроизводительными коммуникационными контроллерами и дистанционно управляемыми коммутационными аппаратами. Повышение уровня автоматизации приводит к усложнению действий оперативного персонала, который должен анализировать большой объём разнородной информации в условиях времени, ограниченного динамикой аварийных процессов.

Значительная доля развития технологических нарушений связана с ошибками персонала: неверной оценкой сложившегося режима работы оборудования, неправильной работой с устройствами защит, ошибками при переключениях. Это определяет необходимость разработки современного тренажёра, который адекватно моделирует реальные аварийные сценарии и обеспечивает объективную оценку действий оператора.

Существующие отечественные тренажёры используют статические модели, ограниченные алгоритмы и не обладают средствами адаптивного формирования сценариев, поэтому требуется создание новых моделей тренажеров, объединяющих математические модели энергосистем, реалистичную визуализацию и интеллектуальную генерацию задач.



Рис. 1. Упрощенная схема разработанного тренажера

II. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА РАЗРАБОТКИ

1. Математическое моделирование режимов

В качестве расчётного ядра использован программный комплекс *randarpower*, представляющий собой открытую библиотеку для моделирования установившихся режимов электрических сетей, анализа токов короткого замыкания и исследования поведения схем подстанций различной конфигурации. Применение данного комплекса обусловлено его расширяемостью, достаточной точностью расчётов, сопоставимой с коммерческими вычислительными пакетами, а также наличием развитой инфраструктуры для программной генерации топологий электрических сетей, данная библиотека интегрирована в программный модуль, разработанный на языке Python, обеспечивающий автоматизированное формирование схем подстанций по структурному описанию схемы электрической подстанции, выполнение расчёта токов короткого замыкания и моделирование последствий типовых аварийных событий, включая однофазные замыкания на землю, короткие замыкания на сборных шинах, отказы выключателей и нарушения работы первичного оборудования.

2. Нейросетевая подсистема генерации, интерпретации и оценки сценариев

Одним из основных элементов разработанной системы является нейросетевая подсистема, основанная на использовании отечественной большой языковой модели SberGPT, адаптированной для задач моделирования технологических процессов и анализа действий оперативного персонала. В отличие от статических библиотек сценариев, характерных для существующих тренажёров, данная подсистема реализует принцип динамического построения тренировочных ситуаций, обеспечивая существенно более высокую вариативность, масштабируемость и полноту охвата возможных аварийных состояний.

Разработанная архитектура включает несколько функциональных модулей:

- Модуль генерации исходных условий

Формирует начальные параметры работы подстанции, включая конфигурацию схемы, оперативное состояние оборудования, параметры нагрузки и распределение потоков мощности. Генерация осуществляется с учётом физически допустимых

режимов, а также вероятностных моделей возникновения технических отказов.

- Модуль сценарного синтеза аварийных событий

Реализует последовательное формирование цепочки технологических отклонений различной степени сложности. Нейросетевая модель формирует структуру аварийной последовательности, временные зависимости между событиями, возможные точки бифуркации сценария при неоднозначных действиях оператора.

В отличие от традиционных подходов, сценарий не хранится в виде фиксированного шаблона — он и может включать редкие или комбинированные типы отказов, практически не моделируемые в существующих комплексах. Благодаря языковой модели удаётся воспроизводить не только структуру данных, но и их динамику, характерную для реальных аварийных процессов.

- Модуль оценки действий оператора

Осуществляет формализованный анализ действий обучаемого посредством сопоставления фактической последовательности операций с эталонной моделью поведения, сформированной нейросетью.

Оценка производится по метрикам своевременной реакции участника тренировки на возникающие события, корректности выполняемых действий, соответствия нормативным актам и инструкциям, предотвращения развития аварийного процесса.

Таким образом обеспечивается объективизация оценки знаний и навыков, что невозможно при классических экспертных моделях.

- Адаптивный модуль формирования уровней сложности

Нейросеть автоматически корректирует сложность сценариев в зависимости от уровня подготовки оператора, его типичных ошибок, времени реакции и структуры допущенных нарушений. Это превращает тренировочный процесс в адаптивную систему, близкую по принципам к интеллектуальным обучающим системам.

Использование нейросетевой модели обеспечивает несколько принципиальных преимуществ:

- масштабируемость сценарного пространства без необходимости ручного проектирования;

- воспроизведение редких и аварийно-опасных ситуаций, которые невозможно системно собрать в статических базах данных;

- возможность детализированной интерпретации действий оператора, включая выявление неочевидных ошибок;

- формирование объяснимых отчётов, пригодных для аттестации и анализа компетенций;

- моделирование отклонений в поведении оборудования, не описанных в стандартных методических пособиях.

Таким образом, нейросетевая подсистема формирует интеллектуальное ядро тренажёра, обеспечивая переход

от жёстко заданных сценариев к адаптивным, динамически формируемым тренировочным ситуациям, что значительно повышает эффективность и реалистичность подготовки оперативного персонала.

3. 3D-визуализация и моделирование процессов в Unreal Engine 5

Графическая часть симулятора реализована в среде Unreal Engine 5, обеспечивающей высокую степень фотореалистичности визуализации и поддержку интерактивных моделей технологического оборудования. В рамках исследования созданы трёхмерные модели выключателей, разъединителей, силовых трансформаторов, шкафов релейной защиты и автоматики, а также элементов инфраструктуры подстанции.

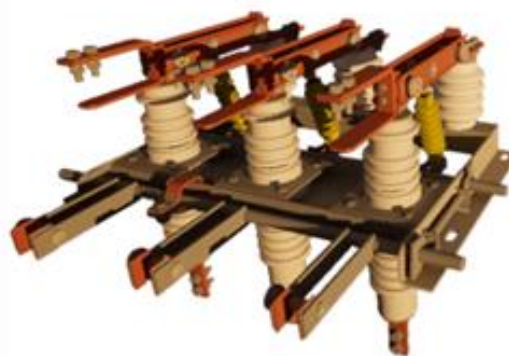


Рис. 2. 3D модель используемого в тренажере разъединителя

Для обеспечения согласованного функционирования визуальной и расчётной подсистем разработан механизм синхронизации данных, основанный на обмене структурированной информацией в формате JSON между средами Python и Unreal Engine 5. Данный механизм позволяет в реальном времени отображать результаты расчётов режима, процессы коммутации, работу защитных устройств и развитие аварийных ситуаций.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ТРЕНАЖЕРА

Разработанный программный комплекс представляет собой многокомпонентный программно-аппаратный комплекс, архитектура которого включает следующие функциональные подсистемы:

Подсистема трёхмерной визуализации (Unreal Engine 5), реализующая фотореалистичное воспроизведение технологических объектов подстанции, визуализацию коммутационных операций, а также отображение динамики аварийных процессов в реальном времени.

Математическое ядро на базе pandapower, обеспечивающее вычисление установившихся режимов, анализ токов короткого замыкания, имитацию отказов первичного оборудования и формирование параметров, необходимых для последующей визуализации и интерпретации сценариев.

Модуль алгоритмической генерации топологий подстанций, позволяющий формировать схемы распределительных устройств различных конфигураций на основе структурных описаний и параметров оборудования, а также обеспечивающий

согласованность режимных расчётов с визуальной средой.

Нейросетевой генератор сценариев, основанный на использовании отечественной большой языковой модели SberGPT, формирующий структурированные аварийные и учебно-тренировочные сценарии, включая последовательности событий и эталонные действия оператора.

Модуль формализованной оценки действий оперативного персонала, выполняющий сопоставление фактической последовательности выполненных операций с эталонными моделями, полученными от нейросетевой подсистемы, и осуществляющий формирование протоколов о результатах прохождения тренировки персоналом.

Взаимодействие указанных модулей организовано по принципу обмена структурированными данными в формате JSON, что обеспечивает синхронную работу расчётных, визуальных и аналитических компонентов симулятора.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОГО ТРЕНАЖЕРА

Для оценки работоспособности разработанного тренажера проведён комплекс функциональных испытаний, направленных на проверку корректности взаимодействия математического ядра, визуальной подсистемы и нейросетевого модуля сценарного управления. Испытания выполнялись на моделях подстанций 110 и 220 кВ с различными топологиями распределительных устройств.

В процессе тестирования подтверждена корректность моделирования аварийных процессов, формируемых расчётным модулем *randpower*, в том числе отключения и повторного включения оборудования при коротких замыканиях, поведения схемы при отказе выключателя, реализации защитных отключений и имитации аварий с повреждением нескольких элементов первичного оборудования.

Особое внимание уделялось проверке функционала нейросетевой подсистемы. Установлено, что большая языковая модель SberGPT обеспечивает генерацию технологически достоверных сценариев аварийных ситуаций с учётом реальной логики развития аварийных процессов.

В ходе испытаний выявлено, что нейросеть корректно формирует:

- исходные данные и предпосылки к возникновению аварийной ситуации;
- временную структуру последовательности событий;
- эталонную последовательность действий оперативного персонала.

Одним из ключевых результатов является подтверждённая способность нейросетевой модели адаптировать сценарий в реальном времени в зависимости от фактических действий обучаемого. При допущении оператором ошибки (несвоевременное отключение, неправильная коммутация, нарушение последовательности операций) нейросетевая подсистема выполняет динамическое обновление сценария,

учитывающее последствия ошибочного действия. На основании новых расчётных параметров и логики развития аварии модель:

- пересчитывает дальнейшую последовательность событий;
- формирует альтернативную траекторию развития аварийного процесса;
- модифицирует ожидаемые действия оператора;
- корректирует критерии оценки.

Таким образом, сценарий не является фиксированным, а функционирует как адаптивная модель, реагирующая на отклонения обучаемого от регламентированного поведения. Это обеспечивает воспроизведение реалистичных ситуаций, в которых ошибка оператора может усиливать развитие аварии, приводить к дополнительным отключениям или созданию новых очагов повреждений.

Архитектура комплекса предусматривает развёртывание всех вычислительных и визуализационных модулей на серверном оборудовании, размещённом в контролируемом контуре информационной безопасности предприятия.

Доступ оперативного персонала к тренажёрному комплексу реализуется в формате удалённого подключения через корпоративную сеть или защищённые каналы передачи данных, что позволяет осуществлять дистанционное обучение без необходимости установки специализированного программного обеспечения на рабочие станции пользователей. Клиентская часть функционирует в режиме тонкого клиента, обеспечивая обработку пользовательских действий, передачу управляющих команд и получение визуального потока от центрального сервера.

По результатам тестирования подтверждено, что интеграция нейросетевой модели с расчётным модулем и системой визуализации обеспечивает согласованную, достоверную и динамически изменяемую модель поведения подстанции при аварийных процессах. Полученные результаты демонстрируют соответствие функционирования симулятора требованиям реалистичности, адаптивности и технологического суверенитета, необходимым для совершенствования подготовки оперативного персонала электрических подстанций.

Список литературы

- [1] Магид С.И. Тренажерная подготовка персонала энергетики. — Москва: Издательство «Энергобезопасность», 2017. — 158 с.
- [2] Приказ министерства энергетики Российской Федерации от 22 сентября 2020 г. № 796 «Об утверждении правил работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации».
- [3] Герасименко А.А. Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии / Учебное пособие. — М.: КНОРУС, 2022 — 642 с.
- [4] Сайт Программные комплексы RastrWin, RastrWin3, Bars, Lincor, Rustab, RastrKZ, RastrMDP [Электронный ресурс] — <http://so-ups.ru/> (Дата обращения 20.05.2024г.).
- [5] Выписка из Протокола 55-го заседания Электроэнергетического Совета СНГ от 25 октября 2019 г. «О проекте Методических рекомендаций по проведению противоаварийных тренировок».

ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Саляхиева Н.К.
ПАО “Россети Северо-Запад”
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: salyakhievank@rosseti-sz.ru

Аннотация

Состояние вопроса: В настоящее время электроэнергетическая отрасль испытывает нехватку высококвалифицированного персонала. Возникает необходимость преобразования образовательных процессов с акцентом на формирование практической ценности программ подготовки, а также применение инновационных методов обучения.

Материалы и методы: Применялось программное обеспечение Microsoft Excel.

Результаты: Предложено применение экосистемы практико-ориентированной подготовки специалистов для электроэнергетической отрасли, направленной на формирование и развитие практических навыков у учащихся в условиях реального производственного процесса. На примере энергетической компании ПАО “Россети Северо-Запад” описана эффективность предлагаемой экосистемы.

Выводы: Развитие у выпускников вузов практических навыков является важнейшей образовательной задачей, решение которой возможно благодаря выстраиванию эффективного взаимодействия образовательной среды с отраслью.

Ключевые слова: экосистема практико-ориентированной подготовки, цифровая трансформация, инновационные методы обучения.

ISSUES OF FORMATION OF AN ECOSYSTEM OF PRACTICE-ORIENTED TRAINING OF SPECIALISTS FOR THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Natalya Salyakhieva
Public Joint Stock Company “Rosseti North-West”
Saint Petersburg, Russia
e-mail: salyakhievank@rosseti-sz.ru

Abstract

Background: Currently, the electric power industry is experiencing a shortage of highly qualified personnel. There is a need to transform educational processes with an emphasis on the formation of the practical value of training programs, as well as the use of innovative teaching methods.

Materials and Methods: Microsoft Excel

Results: The application of an ecosystem of practice-oriented training of specialists for the electric power industry is proposed, aimed at the formation and development of practical skills among students in a real production process. Using the example of the energy company PJSC “Rosseti North-West”, the effectiveness of the proposed ecosystem is described.

Conclusions: The development of practical skills among university graduates is the most important educational task, the solution of which is possible through building effective interaction between the educational environment and the industry.

Key words: ecosystem of practice-oriented training, digital transformation, innovative teaching methods.

1. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день определены следующие основные тенденции в электроэнергетической отрасли, связанные с нехваткой высококвалифицированного персонала:

- 1) недостаточный уровень развития практических навыков у выпускников вузов – фундаментальная проблема не только электроэнергетической отрасли, но и всего рынка труда в целом;
- 2) стремительное развитие электроэнергетической отрасли, цифровая трансформация электросетевой

инфраструктуры определяют необходимость рекомбинации навыков у специалистов, в частности развития цифровых компетенций;

3) ценностные ориентации представителей поколения Z формируют потребность в краткосрочных формах обучения с использованием интерактивных технологий.

Все это обуславливает необходимость преобразования образовательных процессов с акцентом на формирование практической ценности программ подготовки, а также применение инновационных методов обучения.

Создание системы доступной профессиональной ориентации и подготовки, направленной на приобретение востребованных навыков, определяется Долгосрочной программой содействия занятости молодежи на период до 2030 г. (утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 декабря 2021 г. № 3581-р) [1].

Для решения данной задачи предлагается использование комплексного подхода по подготовке специалистов. Рассмотрим возможность применения экосистемы практико-ориентированной подготовки специалистов.

II. КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

A. Определение

Экосистема практико-ориентированной подготовки специалистов (далее – Экосистема) – комплексная и взаимосвязанная образовательная среда, направленная на формирование и развитие практических навыков у учащихся в условиях реального производственного процесса.

B. Элементы Экосистемы

Определены следующие основные элементы Экосистемы, характерные для электроэнергетической отрасли:

- специализированный профиль подготовки;
- профильная практика;
- профильная стажировка;
- чемпионаты по решению инженерных кейсов, хакатоны;
- геймификация производственных процессов;
- программные симуляторы;
- лаборатории, мастерские;
- виртуальные классы.

C. Преимущества Экосистемы

Выделены следующие преимущества Экосистемы:

Для студентов:

- получение реального профессионального опыта (закрепление знаний на практике);
- развитие метакомпетенций, которые представляют собой социально-адаптивные качества,

необходимые в условиях изменений (комбинированное мышление, креативные способности, умение сотрудничать, эмпатия и эмоциональный интеллект, управление концентрацией и вниманием и другие);

- формирование уверенности в выборе профессии (понимание своих сильных сторон, карьерных возможностей).

Для вузов:

- образовательный процесс становится релевантным запросам рынка (программы обучения ориентированы на актуальные потребности работодателей);
- высокий уровень вовлеченности студентов в учебный процесс (студенты осознают значимость получаемых знаний на практике, что повышает их мотивацию к обучению);
- выпуск высококвалифицированных специалистов;
- повышение рейтинга вуза в области качества подготовки студентов.

Для работодателей:

- формирование кадрового потенциала;
- привлечение и удержание талантливой молодежи;
- развитие отрасли (тестирование новых технологий, внедрение инноваций);
- усиление hr-бренда компании.

Таким образом, Экосистема позволяет обеспечить стабильный приток высококвалифицированных, мотивированных молодых специалистов с минимальным сроком адаптации на рабочем месте. Такой эффект достигается за счет высокой вовлеченности работодателя в образовательный процесс, адресной работы с учащимися на всех курсах обучения.

Рассмотрим применение Экосистемы на примере энергетической компании ПАО “Россети Северо-Запад”.

III. ПРИМЕНЕНИЕ

ПАО “Россети Северо-Запад” осуществляет сотрудничество с 25 вузами во всех регионах присутствия компании (в Архангельской, Вологодской, Мурманской, Новгородской, Псковской областях, в Республиках Коми и Карелия, а также в г. Санкт-Петербурге), в том числе реализует Академическое партнерство с ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II” в рамках реализации Пилотного проекта в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 12.05.2023 г. № 343 “О некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования” [2].

В своей деятельности ПАО “Россети Северо-Запад” особое внимание уделяет вопросам содействия совершенствованию системы высшего образования, подготовки квалифицированных кадров для обеспечения долгосрочных потребностей электроэнергетической отрасли.

А. Специализированный профиль подготовки

На базе Вологодского государственного университета (далее – ВоГУ) открыт специализированный профиль подготовки “Цифровые технологии в электроэнергетике”, созданный при поддержке ПАО “Россети Северо-Запад” в рамках направления подготовки 13.03.02 “Электроэнергетика и электротехника”.

Образовательная программа специализированного профиля подготовки включает в себя изучение следующих дисциплин:

- микроконтроллеры;
- сети и телекоммуникации;
- системы учета электроэнергии;
- технологии программирования;
- технологии энергосбережения.

В рамках обучения предусмотрено максимальное погружение студентов в профессиональную среду:

- проводятся лабораторные работы с использованием современных цифровых систем;
- реализуется проектная деятельность по созданию цифровых решений;
- осуществляется работа с реальными данными энергосистем;
- организовано прохождение оплачиваемой практики, в том числе участие в студенческих энергетических отрядах;
- включение выпускников во внешний кадровый резерв компании и дальнейшее их трудоустройство.

Общее количество выпускников специализированного профиля подготовки ВоГУ за период с 2021 по 2025 гг. составляет 73 чел. (рис. 1).



Рис. 1. Количество выпускников специализированного профиля подготовки “Цифровые технологии в электроэнергетике” ВоГУ за период с 2021 по 2025 гг., чел.

В. Специализированная практика

В целях популяризации технических специальностей среди молодежи, их профессиональной ориентации на работу в электросетевом комплексе, содействия процессам трудовой и социальной адаптации ПАО “Россети Северо-Запад” на ежегодной основе осуществляет организацию специализированной (углубленной) практики студентов.

Основные преимущества специализированной практики:

- содействие временному трудоустройству студентов;
- получение студентами практического опыта работы на объектах компании;
- выявление наиболее перспективных студентов для дальнейшего трудоустройства.

Студенты привлекаются для работы на строящихся и реконструируемых объектах компании, выполняя следующие виды работ:

- сборка металлоконструкций опор линий электропередачи (исключая работу на высоте);
- сборка гирлянд изоляторов;
- монтаж силового оборудования;
- общестроительные работы;
- снятие показаний с приборов контроля и учета электроэнергии;
- монтаж кабельных лотков, прокладка силовых, контрольных и оптических кабелей;
- подготовка исполнительной документации.

Так, общее количество студентов, прошедших практику на объектах компании за период с 2022 по 2024 гг., составляет 2102 чел. При этом отмечается ежегодный прирост участников, примерно на 30% по сравнению с предыдущим отчетным периодом (рис. 2) [3].



Рис. 2. Количество студентов, проходящих практику в ПАО “Россети Северо-Запад” за период с 2022 по 2024 гг., чел.

С. Специализированная стажировка

В ПАО “Россети Северо-Запад” запущен проект по стажировке студентов старших курсов технических направлений “Энергия будущего: Разработка инновационных решений в области релейной защиты и автоматики”.

Основные преимущества стажировки для студентов:

- официальное трудоустройство;
- компенсация проезда;
- возможность заключения договора о целевом/дуальном обучении;
- возможность получения новой профессии (заключение ученического договора).

Отбор участников осуществляется в несколько этапов:

- тестирование, решение кейс-задания;
- прохождение собеседования с HR-специалистом;
- прохождение собеседования с сотрудником профильного подразделения.

Для реализации стажировки за каждым участником закрепляется наставник, проводятся вводные занятия и ознакомительные экскурсии на производственные объекты компании.

Продолжительность стажировки составляет от 1 до 3-х мес. В период стажировки студенты могут быть также приглашены к участию в молодежных мероприятиях компании (научных конференциях, образовательных форумах).

По итогам стажировки участники готовят презентационный отчет с описанием предлагаемого решения, представляют его наставникам, руководителям профильных структурных подразделений для проведения экспертизы. Основным критерий оценки – практическая значимость (представленное решение позволяет получить эффект от его внедрения и может быть применимо в условиях текущей деятельности компании). Лучшие участники получают оффер.

D. Геймификация

В ПАО “Россети Северо-Запад” создана интерактивная онлайн-игра “Поймай энерговора”, реализуемая в формате квеста, которая погружает участников в реальные рабочие процессы энергетической отрасли.

Эффекты:

- практическое усвоение знаний через симуляцию реальных производственных процессов и принятие решений;
- повышение технологической грамотности молодежи в области энергосбережения и безопасности;
- формирование осознанного интереса к техническим специальностям через демонстрацию их современного цифрового облика;
- воспитание энергограмотного поведения и ответственного отношения к энергопотреблению;
- снижение рисков несанкционированных вмешательств в работу энергосистем благодаря пониманию их последствий.

IV. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

Для повышения эффективности работы ПАО “Россети Северо-Запад” в части практико-ориентированной подготовки кадров требуется реализация дополнительных мероприятий. Среди них:

- создание внутреннего соревнования по решению инженерных кейсов (реальных практических заданий), преимущественно ориентированный на участников корпоративных проектов компании - студентов целевого и дуального обучения, студентов-практикантов/-стажеров;

- создание программных симуляторов для отработки практических навыков работы с энергетическими системами и оборудованием;
- открытие энерголабораторий/энергомастерских на базе вузов-партнеров компании для моделирования энергетических систем, разработки и тестирования технологий, реализации проектной деятельности с использованием цифровых продуктов;
- создание виртуальных классов (онлайн-курсов, видео-уроков по электроэнергетике).

Реализация представленных мероприятий планируется совместно с корпоративным учебным центром ЧОУ ДПО “УЦ “Энергетик”.

Учебный центр располагает современной материально-технической базой, состоящей из энергетического оборудования, учебных стендов, тренажеров, мультимедийной и компьютерной техники, VR-технологий по направлениям подготовки в области охраны труда, электроэнергетики, промышленной безопасности, электробезопасности, пожарной безопасности. Одним из сильнейших конкурентных преимуществ ЧОУ ДПО “УЦ “Энергетик” является наличие учебно-тренировочного полигона, предназначенного для проведения практических занятий и соревнований профессионального мастерства персонала ПАО “Россети Северо-Запад” [4].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения новых задач, появляющихся перед электроэнергетической отраслью, будущим специалистам особенно важно владеть практическими навыками.

Так, начинающий специалист, понимающий принципы устойчивой работы электрических сетей, особенности процессов внедрения и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики, будет, несомненно, иметь большое конкурентное преимущество на рынке труда.

Одним из решений данной задачи является применение Экосистемы практико-ориентированной подготовки специалистов, синергетический эффект которой достигается при активном использовании всех ее элементов, а также постоянной адаптации к изменениям в образовательной среде и отрасли.

Список литературы

- [1] Долгосрочная программа содействия занятости молодежи на период до 2030 г. (распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 декабря 2021 г. № 3581-р (в редакции Распоряжения Правительства Российской Федерации от 17.01.2024 № 45-р) [Электронный ресурс] URL: <http://government.ru/docs/all/138196/> (Дата обращения 14.11.2025).
- [2] Указ Президента Российской Федерации от 12.05.2023 г. № 343 “О некоторых вопросах совершенствования системы образования” [Электронный ресурс] URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49210> (Дата обращения 14.11.2025).
- [3] Годовой отчет ПАО “Россети Северо-Запад” по итогам работы за 2024 год [Электронный ресурс] URL: https://rosseti-sz.ru/upload/infodisclosure/report/Rosseti_SZ-AR2024.pdf (Дата обращения 14.11.2025).
- [4] Официальный сайт ЧОУ ДПО “УЦ “Энергетик” [Электронный ресурс] URL: <https://uc-energetik.ru/> (Дата обращения 14.11.2025).

КАДРОВЫЙ БАЛАНС В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ КАРЕЛИИ: АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РАБОТОДАТЕЛЕЙ И ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ В ИНЖЕНЕРАХ

Чернов Е.А., Петрушин Д.Е.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Петрозаводск, Россия
e-mail: he6ven@mail.ru

Аннотация

Состояние вопроса: В 2019–2025 гг. в электроэнергетике Российской Федерации фиксируется устойчивый дефицит квалифицированных кадров. Основными факторами дефицита являются старение персонала и его естественное выбытие. Дополнительное влияние оказывают снижение уровня рождаемости и падение привлекательности инженерных профессий в электроэнергетике среди молодёжи. В дополнение к существующим исследованиям, комплексный анализ структуры инженерных подразделений компаний региона позволяет оценить текущий кадровый спрос на инженерные специальности и составить численную структуру инженерных кадров с целью расширения профориентационной работы для привлечения молодых специалистов в отрасль.

Материалы и методы: Использовались метод анализа документов и вторичных данных, метод опроса (интервью), метод группировки (таксономия) и статистический метод.

Результаты: Составлена таблица, в которой указаны основные типы инженерных подразделений республики Карелия, типичные названия подразделений и в каких компаниях они встречаются, а также указана наблюдаемая численность этих подразделений.

Выводы: Выявлены причины многоуровневой проблемы кадрового дефицита инженерных специальностей в отрасли, обусловленной демографическими, экономическими и социальными факторами. Предложены рекомендации для работодателей для привлечения молодых специалистов в отрасль. Продукт проведённого исследования можно использовать в профориентационных целях.

Ключевые слова: инженер, кадры, подразделение, дефицит, энергетика, электротехника.

STAFF BALANCE IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY OF KARELIA: ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF EMPLOYERS AND ASSESSMENT OF THE NEED FOR ENGINEERS

Egor Chernov, Denis Petrushin

Petrozavodsk State University
Petrozavodsk, Russia
e-mail: he6ven@mail.ru

Abstract

Background: In 2019–2025, the Russian Federation's electric power industry is experiencing a steady shortage of qualified personnel. The main factors contributing to this shortage are the aging workforce and natural attrition. Additional factors include declining birth rates and the declining attractiveness of engineering professions in the electric power industry among young people. In addition to existing research, a comprehensive analysis of the structure of engineering departments in companies in the region allows us to assess the current demand for engineering specialists and to compile a numerical structure of engineering personnel with the aim of expanding career guidance work to attract young specialists to the industry.

Materials and methods: The methods used were document and secondary data analysis, surveys (interviews), grouping (taxonomy), and statistics.

Results: A table has been compiled listing the main types of engineering departments in the Republic of Karelia, typical department names and the companies in which they are found, as well as the observed number of employees in these departments.

Conclusions: The causes of the multi-level problem of staff shortages in engineering specialties in the industry, caused by demographic, economic, and social factors, have been identified. Recommendations have been made to employers on how to attract young professionals to the industry. The results of the study can be used for career guidance purposes.

Key words: engineer, personnel, division, shortage, energy, electrical engineering.

1. ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика, являясь базовой отраслью экономики, сталкивается с рисками, связанными с дефицитом квалифицированных инженерных кадров, что ставит под вопрос не только ее технологическое развитие, но и текущее функционирование. Как отметил директор по

персоналу АО «НПО "КИС"» Павел Козлов, «на рынке просто нет количества инженеров, необходимого для того, чтобы не просто закрыть потребности отрасли, но и обеспечить технологическую независимость» [4]. Высказывание отражает системный характер проблемы и подтверждает необходимость уточнения количественных оценок кадрового дефицита в регионе.

Данное исследование направлено на выявление и уточнение структурных подразделений энергетических компаний Республики Карелия, где работают инженеры-энергетики и электротехники, с целью выявления основных типов инженерных подразделений и оценки количества инженерных кадров, занятых в этих подразделениях, для прогнозирования потребности. Помимо этого, важной целью нашего исследования является привлечение молодых специалистов в отрасль.

II. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

В результате исследования были определены основные виды инженерных подразделений исследуемых энергетических компаний (рис. 1), их типовые названия, а также оценочная численность (Таблица 1). В рамках исследования различия в организационно-штатных наименованиях подразделений не учитывались;

классификация проводилась по функциональному признаку.



Рис. 1. Исследуемые энергетические компании

Таблица 1. Основные типы инженерных подразделений энергетических компаний Республики Карелия

Тип подразделения	Типичные подразделения (компания)	Типичные специальности инженеров	Оценочная численность (чел.)
Служба эксплуатации кабельных и воздушных линий и подстанций	Служба эксплуатации линий (Россети МЭС Северо-Запада); Служба воздушных линий и подстанций (Россети Северо-Запад, Прионежская СК); Оперативная эксплуатация (ЭН+ Гидро Карелия, НордГидро); Район обслуживания кабельных линий (ОРЭС)	Инженер по эксплуатации воздушных линий, инженер по обслуживанию подстанций, инженер по техническому обслуживанию, инженер по ремонту и диагностике линий	75-105 чел. (Россети МЭС Северо-Запада: 30-40; Россети Северо-Запад: 40-60; ЭН+ Гидро Карелия: 5, ОРЭС: 1)
Отдел автоматизированных систем управления (АСУ)	Отдел автоматизированных систем (ТНСэнерго Карелия); Центр автоматизированных систем (Северсталь); Служба корпоративных и технологических АСУ (Россети Северо-Запад); Отдел технологического развития и инноваций (Россети Северо-Запад)	Инженер по автоматизации, инженер АСУ технологическим процессом (АСУ ТП), инженер по цифровизации	70-80 чел. (Северсталь: 38; ТНСэнерго: 10-15; Россети Северо-Запад: 20)
Служба релейной защиты и автоматики (РЗА)	Служба РЗА и автоматики (Системный Оператор Единой Энергетической Системы); Служба РЗА и АСУ ТП (Россети МЭС Северо-Запада); Служба РЗА (Россети Северо-Запад); Служба РЗА и обслуживания подстанций (ОРЭС); Лаборатория РЗА, автоматики и испытаний (Северсталь); Инженеры РЗА (НордГидро)	Инженер РЗА, инженер по автоматике, инженер по устройствам защиты	65-75 чел. (Системный Оператор Единой Энергетической Системы: 9; Россети МЭС Северо-Запада: 40-50; Северсталь: 12; НордГидро: 2-4)
Оперативно-диспетчерская служба	Оперативно-Диспетчерская Служба (Системный Оператор Единой Энергетической Системы); Центр управления сетями (Россети МЭС Северо-Запада, Россети Северо-Запад); Диспетчерский отдел (Северсталь)	Инженер-диспетчер, инженер-оператор, оператор, диспетчер энергосистем	60-70 чел. (Системный Оператор Единой Энергетической Системы: 17; Россети МЭС Северо-Запада: 30-40; Северсталь: 12)
Служба диагностики и контроля	Служба диагностики (Россети МЭС Северо-Запада); Отдел мониторинга и аналитики (Россети Северо-Запад, Прионежская СК); Отдел технического контроллинга (Системный Оператор Единой Энергетической Системы); Отдел неразрушающих методов контроля (АЭМ-технологии)	Инженер по диагностике оборудования, инженер по мониторингу, инженер по метрологии, инженер по техническому контролю	30-45 чел. (Россети МЭС Северо-Запада: 8-10; Россети Северо-Запад: 5-10; Системный Оператор Единой Энергетической Системы: 3; АЭМ-технологии: 15-20)
Электротехническая лаборатория (ЭТЛ)	Электротехническая лаборатория (ТГК-1 Карельский, ЭН+ Гидро Карелия); Электротехническая группа (НордГидро); Служба изоляции и защиты (Россети Северо-Запад); Служба электротехнических измерений (Прионежская СК); Лаборатория РЗА, автоматики и испытаний (Северсталь)	Инженер ЭТЛ, инженер по электроизмерениям, инженер по испытаниям и измерениям, инженер по диагностике	25-35 чел. (ТГК-1: 4; ЭН+ Гидро Карелия: 4; Северсталь: 12; Россети Северо-Запад: 5-15)
Производственно-технический отдел	Производственно-технический отдел (ЭН+ Гидро Карелия, Россети Северо-Запад, Прионежская СК, ОРЭС); Производственно-диспетчерское управление (АЭМ-технологии)	Инженер-технолог, инженер по производству, инженер-проектировщик, инженер-техник производственный	20-30 чел. (ЭН+ Гидро Карелия: 5; Россети Северо-Запад: 10-15; ОРЭС: 6)
Отдел капитального строительства	Отдел капитального строительства (Россети Северо-Запад, Прионежская СК, ОРЭС)	Инженер-проектировщик, инженер-конструктор, инженер по капитальному строительству	15-30 чел. (Россети Северо-Запад, Прионежская СК, ОРЭС: 8-15)

Диаграмма (рис. 2) демонстрирует, что наиболее крупным подразделением является служба эксплуатации кабельных и воздушных линий и подстанций (22%), далее следуют отдел автоматизированных систем (18%) и служба релейной защиты и автоматики (17%). Это отражает структуру отрасли, где основной акцент делается на поддержание и развитие сетевого хозяйства, а также

внедрение современных цифровых решений. Остальные подразделения занимают меньшую долю (от 6 до 16%), но вместе обеспечивают полный спектр функций: от эксплуатации до модернизации и строительства новых объектов.



Рис. 2. Количественное соотношение инженеров в электроэнергетике Карелии

III. ПРИЧИНЫ ДЕФИЦИТА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Проблема дефицита кадров является результатом следующих негативных факторов:

1. Старение персонала и снижение доли молодежи

По данным Минэнерго России, доля молодых специалистов до 35 лет в энергетике снизилась с 30% (2019) до 22% (2025) при среднем падении в экономике до 27% от всех занятых [5][2]. Средний возраст работников ТЭК при этом вырос до 43 лет [5]. Со смещением возрастной структуры растёт доля сотрудников, склонных к выходу на пенсию, что увеличивает ежегодное выбытие кадров из отрасли.

2. Естественное выбытие (выход на пенсию, увольнения, смертность)

Вице-премьер Российской Федерации Александр Новак отметил, что российской энергетике требуется не менее 200–300 тыс. работников в год. По его оценке, всего в энергетике занято 2,7 млн граждан страны [3]. При долгосрочном прогнозе (5-10 лет) следует учитывать, что каждый год из энергетического сектора выбывает 7–10% кадров.

3. Снижение уровня рождаемости

Как видно из рис. 3, уровень рождаемости в республике Карелия заметно снизился с уровня 80-х годов [1]. Областью на графике отмечен период рождения специалистов, которые выйдут на работу до 2035 года. Таким образом, потенциальное число инженерных кадров, которые выйдут на работу до 2035 года ниже, чем число кадров, которые работают сейчас.

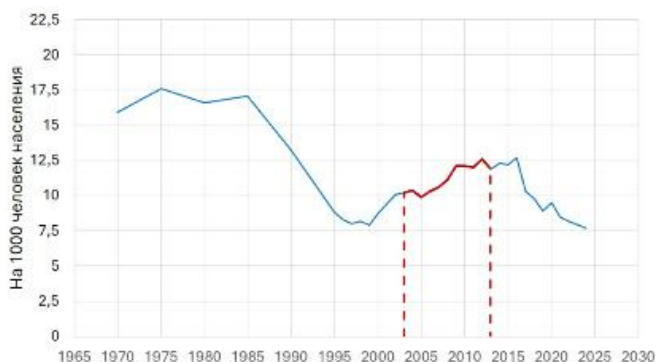


Рис. 3. Общий коэффициент рождаемости в Республике Карелия

4. Падение темпов роста зарплат

Первый заместитель генерального директора ПАО «Россети» Андрей Муров отметил, что уровень оплаты труда в электросетевом комплексе с каждым годом становится все менее и менее привлекательным для соискателей. Если в 2017 г. средняя зарплата в электроэнергетике была выше средней по России на 42%, то к 2024 г. это соотношение составило 20%. С 2017 г. средняя зарплата по России выросла на 125%, но при этом в энергетике рост составил 89% [5].

5. Падение привлекательности ТЭК

На фоне опережающего развития IT-сектора и финансовых технологий, топливно-энергетический комплекс потерял былую привлекательность. Согласно опросу «Работа.ру», в 2024 году отрасли ТЭК не вошли даже в десятку наиболее востребованных специальностей в России [5].

IV. ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В КАРЕЛИИ

Для количественной оценки потребности в инженерных кадрах используем модель воспроизводства персонала. Ежегодная потребность в замещении определяется выражением (1).

$$P = N \times k \quad (18)$$

где N – текущая численность инженерных кадров в выборке (чел.), k – среднегодовой коэффициент выбытия. При $N = 400$ и $k = 0,085$ ежегодная потребность составляет $P \approx 34$ человека.

Инженерные кадры в республике Карелия готовит только Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ), в среднем 30–40 человек в год. По результатам опроса (рис. 4), доля выпускников ПетрГУ, трудоустроившихся по специальности на территории Карелии, составляет 59%.

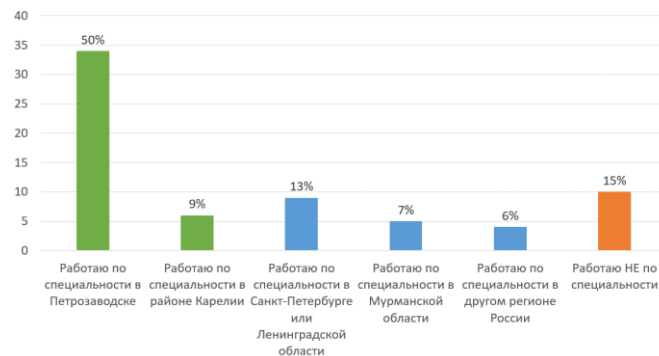


Рис. 4. Трудоустройство выпускников направления «электроэнергетика и электротехника» ПетрГУ

Дефицит инженерных кадров определяется как разность между потребностью и притоком выпускников, трудоустроившихся по специальности (2).

$$D = P - G \times s \quad (19)$$

где P – ежегодная потребность в замещении (чел./год), G – количество выпускников ПетрГУ направления «электроэнергетика и электротехника» (чел./год), s – доля выпускников, трудоустроившихся по специальности в Карелии. При $P = 34$, $G = 30-40$ и $s = 0,59$ дефицит составляет $D \approx 10-16$ человек в год.

При анализе кадровой ситуации мы должны учитывать потребности, связанные с развитием технологических

мощностей компаний. В этом контексте важно понимать, как разные стратегии экономического роста формируют спрос на специалистов.

1. При экстенсивном росте развитие достигается путём увеличения количества используемых ресурсов, что требует увеличения численности кадров.

2. При интенсивном росте развитие достигается за счет повышения эффективности использования существующих ресурсов. Цифровизация, автоматизация, применение искусственного интеллекта снижают потребность в персонале и являются приоритетом компаний при кадровом дефиците.

V. МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ДЕФИЦИТА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

На основе полученных результатов целесообразно рассмотреть следующие меры для сохранения кадров:

1. Укрепление трудовых династий

Практика включения в коллектив родственников сотрудников увеличивает доверие между работодателем и новичком, снижает текучесть кадров.

2. Политики для сохранения действующих кадров

Опытные работники могут выступать в роли наставников для молодых специалистов, передавая профессиональные навыки.

3. Внутренняя мобильность

Компаниям целесообразно мотивировать представителей среднего управленческого звена получать высшее образование для заполнения инженерных должностей.

Также рекомендуется продолжить профориентационную работу со школьниками и студентами:

1. Целевое обучение

Привлечение молодых людей, которые уже осознают перспективу карьеры в конкретной компании, повышает вероятность их закрепления.

2. Партнерские соглашения с вузами

Позволяют компаниям влиять на содержание образовательных программ, предлагать места для практик и стажировок.

3. Проведение профильных конференций

Конференции служат площадкой для привлечения интереса студентов и молодых специалистов.

4. Профориентация школьников

Развитие «энергоклассов» в школах, организация «энергосмен» в летних лагерях (например, в «Орлёнке») и другие профориентационные площадки позволяют привлекать будущих специалистов ещё на этапе школьного образования.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило определить структуру и численность инженерных подразделений электроэнергетических компаний Республики Карелия и выявить многоуровневую проблему кадрового дефицита, а также предложить меры по снижению кадрового дефицита в электроэнергетике. Результаты исследования могут быть использованы в профориентационных целях. Планом дальнейшего исследования является расширение выборки компаний Республики Карелия, связанных с энергетикой, для более точного представления структуры и потребности кадров электроэнергетики Карелии.

Список источников и литературы

- [1] Российский статистический ежегодник — Росстат. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994> (дата обращения: 04.11.2025)
- [2] Возраст больше, неделя меньше. Экономика. Газета РБК. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2025/03/27/67e3d80a9a79470c6139a65c> (дата обращения: 04.11.2025)
- [3] Новак: потребность нефтегазовой отрасли в кадрах составляет не менее 200-300 тыс. в год. ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/21364185> (дата обращения: 04.11.2025)
- [4] Что делать с кадровой проблемой в энергетике — мнения экспертов — «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». URL: <https://eepir.ru/new/chto-delat-s-kadrovoj-problemoj-v-energetike/> (дата обращения: 04.11.2025)
- [5] Кадры в кадре. Энергетическая политика. URL: <https://energy-policy.ru/kadry-v-kadre/regiony/2025/09/09/> (дата обращения: 04.11.2025)

СОДЕРЖАНИЕ

1. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

<i>Абубакиров А.Я., Беляев А.Н., Кошлаков А.Ю.</i> Моделирование энергосистем на основе нейронной сети с использованием синхронизированных векторных измерений	24
<i>Бачевский В.А., Лоцман Д.С.</i> Разработка программного обеспечения для назначения контрольных пунктов по напряжению и границ графиков напряжения в них	28
<i>Голов В.П., Кормилицын Д.Н., Суханова О.С.</i> Применение метода малых колебаний для анализа статической устойчивости двухмашинной системы с управляемой линией электропередачи	32
<i>Гришечкин А.А., Штырёв И.Д., Назаров А.А.</i> Оптимизация объемов графиков временного отключения на основе адаптивного расчёта	36
<i>Двойнишников И.В., Лымарь Н.С.</i> Прогнозирование потребления мощности и риска возникновения дефицита в условиях жары	40
<i>Дедулин А.В., Дорофеев И.И., Егоров Д.С., Матюк Д.А.</i> Проведение общесистемных противоаварийных тренировок с участием персонала АО «СО ЕЭС», объектов генерации и крупных предприятий	44
<i>Едакин К.И., Васильев А.С.</i> Программное обеспечение для формирования значений потребления активной мощности, приведённых к заданным температурным условиям	48
<i>Казначеев Н.Л., Прохоров А.В., Шлапак М.Р.</i> Исследование способов генерации искусственных данных и отбора значимых признаков при обучении нейросетей для оценки допустимых перетоков активной мощности	52
<i>Копцев И.О., Пичугина Е.В., Роголев М.Д., Десятов А.В., Прохоров А.В.</i> Совершенствование методов оценки величин вынужденного снижения мощности СЭС при ограничениях пропускной способности электрической сети	56
<i>Музыченко Г.Е.</i> Применение искусственного интеллекта в оперативно-диспетчерском управлении электроэнергетическими системами	60
<i>Пахмутова А.А., Иванов А.А., Польшалин И.С., Астахов Е.С.</i> Сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения для прогнозирования нагрузки электрозарядных станций	64
<i>Петрова А.А., Кац И.М.</i> Разработка алгоритма определения дозировки управляющих воздействий автоматики разгрузки при коротких замыканиях Саяно-Шушенской ГЭС	68
<i>Платонов Д.Ю., Дадонов А.Н.</i> Прогнозирование электрической нагрузки морских портов	72
<i>Рец В.В.</i> Максимизация запаса пропускной способности магистральной сети путём оптимизации напряжения в узлах энергосистемы	76
<i>Саитов С.Р.</i> Проблемы современных интеллектуальных моделей прогнозирования спроса на электропотребление и подходы к их решению	80
<i>Столяров Е.П.</i> Применение устройств продольной компенсации как альтернатива сетевому строительству	84
<i>Субботина Д.Д., Тягунов М.Г.</i> Оценка возможности и эффективности сооружения ГЭС-ГАЭС в створах существующих ГЭС	88
<i>Улаев И.А.</i> Оценка возможности использования технологии «виртуальная сцепка» на тяговом транзите дальневосточной железной дороги	92
<i>Флоринский А.А., Фролов А.И., Беляев А.Н.</i> Применение автоматики ограничения снижения напряжения для сохранения устойчивости двигательной нагрузки	96
<i>Хитрич Д.О., Дадонов Д.Н.</i> Оценка влияния плановых ремонтов Балаковской АЭС на устойчивость энергосистемы Саратовской области в условиях изменяющихся нагрузок и температур	100
<i>Чистяков А.С., Флоринский А.А.</i> Автоматизация верификации динамических моделей энергосистемы с помощью алгоритмов оптимизации	104
<i>Чуганов А.В.</i> Разработка алгоритма для расчета необходимых объемов графиков временных отключений при угрозе возникновения аварийных электроэнергетических режимов	108

2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ

<i>Брилинский А.С., Герасимов А.С.</i> Повышение эффективности работы противоаварийной автоматики с помощью ФПТ с автоматическим регулятором угла	113
---	-----

<i>Воробьева В.А.</i> Определение фактического вклада потребителей в общую несимметрию напряжения в точке общего присоединения	117
<i>Гвоздев Д.Б., Киселев А.Ю., Охлопков М.Н.</i> Актуальные вопросы эксплуатации концевых кабельных муфт 110–220 кВ в условиях крайнего севера: анализ причин повреждений и пути повышения надёжности	121
<i>Иксанова Р.Р., Тюгаева Э.А., Складчиков А.А.</i> Применение марковских случайных процессов для комплексной оценки надёжности силовых трансформаторов	125
<i>Колмаков А.Е.</i> Разработка системы предиктивного анализа для тепловизионного контроля оборудования с использованием интерактивной модели	129
<i>Ладыгин А.А., Куршев М.Р., Шидов А.Г.</i> Способы повышения температурной стабильности оптического тракта трансформатора тока на основе эффекта Фарадея	131
<i>Люлина П.И., Кузнецов А.А.</i> Резонансные явления в кабельных линиях с устройствами динамической компенсации типа статком	135
<i>Михайлов Д.О., Шескин Е.Б.</i> Анализ влияния транспозиции воздушных линий электропередачи на величину тока подпитки дуги в бестоковую паузу цикла ОАПВ	139
<i>Михайлов К.С., Хренников А.Ю.</i> Оценка технического состояния силовых трансформаторов по результатам хроматографического анализа	143
<i>Нагорнов А.С., Стоцкий К.С.</i> Анализ эффективности применения фазопоротного трансформатора на объектах электроэнергетики Республики Башкортостан	147
<i>Плодистый Б.А., Гуриков О.В., Михайлов Д.О.</i> Выбор параметров настройки автоматических регуляторов частоты и активной мощности гидроагрегатов энергосистемы Магадана с позиции обеспечения устойчивости регулирования частоты	151
<i>Синица М.К., Хренников А.Ю.</i> Программный расчет коэффициента скорости старения изоляции трансформаторного маслонаполненного оборудования	155
<i>Смирнов Г.Д., Скоробогатов А.А.</i> Подготовка и анализ набора осциллограмм пусков электродвигателей для задач технической диагностики	159
<i>Соловьёв С.С.</i> Оценка надёжности систем электроснабжения логико-вероятностным методом с учетом результатов технического диагностирования	163
<i>Страхов А.С., Полкошиников Д.А.</i> Диагностирование состояния узлов асинхронных двигателей по внешнему магнитному полю в режиме выбега	167
<i>Травин М.Д.</i> Перспективы использования цифровых измерительных трансформаторов тока	171
<i>Фахрутдинов Т.А., Пилипенко В.А., Миронов И.В.</i> Разработка механизма дистанционного осмотра ЛЭП посредством беспилотных воздушных судов	175

3. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ

<i>Андреев П.И., Ульянов Д.Н., Мокеев А.В.</i> Проблематика выбора первичных преобразователей тока в измерительных трансформаторах	180
<i>Арефьев П.В., Прохоров А.В., Цыденов Е.А.</i> Повышение эффективности режимов работы энергосистемы на основе оптимального распределения задания внеплановой мощности электростанций	184
<i>Вайтеленок Л.В.</i> Исследование цифрового измерительного органа сопротивления для защит с дистанционными измерительными преобразователями тока	188
<i>Вихарев Д.Ю., Воробьева Е.А., Мурзин А.Ю., Родин Н.А.</i> Оценка влияния омического сопротивления на определение параметров цепи намагничивания трансформатора тока	192
<i>Гатилов Н.С.</i> Применение цифровых технологий для интеграции инструкций по эксплуатации противоаварийной автоматики в оперативно-информационный комплекс	196
<i>Гранская А.А., Мустафин Р.Г., Касимов В.А., Минуллин Р.Г.</i> Организация высокочастотной связи по воздушным линиям электропередачи с помощью гамма-согласующего устройства	200
<i>Дмитриева А.А.</i> Определение оптимальных настроек АРВ в сетях с ВИЭ	204
<i>Добрягина О.А., Польшалин И.С., Яковлев Д.П., Романов Д.А.</i> Разработка модели машинного обучения для классификации внутренних и внешних коротких замыканий на ЛЭП, отходящих от ВЭС и СЭС	208
<i>Ефимов В.В., Стрижиченко А.В.</i> Разработка органа реле направления мощности по токовому принципу для распределительных сетей 110–220 кВ	212

<i>Ефремов Е.А., Ефремов В.А., Исмуков Г.Н.</i> Методика оценки небаланса рабочей величины органа блокировки при качаниях в условиях электромеханических переходных процессов	216
<i>Жидов С.С.</i> Выбор уставок дифференциальной защиты шин и ошинок графическим методом на основе моделирования Монте-Карло	220
<i>Иванов И.Е., Лысов Д.А.</i> Определение места повреждения на воздушной линии 500 кВ с использованием реальных данных векторных и аварийных осциллограмм	224
<i>Иванов И.Е., Умнов Я.А.</i> Идентификация параметров прямой и нулевой последовательностей ЛЭП по реальным данным СВИ	228
<i>Климова Т.Г., Максимов Р.С., Польшалин И.С., Романов Д.А.</i> Функция инъекции токов обратной последовательности как алгоритм управления силовым преобразователем	230
<i>Красникова-Вербникова В.А., Самусик К.А., Рыбин И.В., Синянский И.В.</i> Особенности моделирования шкафа отбора напряжения	234
<i>Куликов А.Л., Старшов И.С.</i> Метод объединения фазных токов для защиты от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью	239
<i>Кутумов Ю.Д., Крунов М.А.</i> О верификации математических моделей силовых трансформаторов для расчётов токов короткого замыкания с использованием аварийных осциллограмм	243
<i>Кутумов Ю.Д., Рожин А.А.</i> Исследование характеристик нерегулярных колебаний активной мощности для выбора параметров настройки устройств противоаварийной автоматики	247
<i>Лачугин В.Ф., Вертогузов Д.А.</i> Логическая защита линий распределительных сетей 6–10 кВ	251
<i>Лачугин В.Ф., Мартынов М.Е.</i> Повышение эффективности функционирования релейной защиты в распределительных сетях с помощью автоматического синтеза	255
<i>Леваков Д.А., Куликов А.Л., Осокин В.Л.</i> Применение программного комплекса PSCAD для моделирования тяговой сети переменного тока	259
<i>Малиночка С.А.</i> Исследование распознавания режимов продольно-поперечной несимметрии	263
<i>Мамаев А.А.</i> Использование GOOSE-сообщений для передачи команды телеотключения с запретом АПВ на смежные объекты электроэнергетики	267
<i>Мартынов А.Н., Мокеев А.В.</i> Лабораторные испытания цифрового измерительного трансформатора с поддержкой СВИ	271
<i>Михайлова Е.Н.</i> Методы определения параметров трансформаторов тока с учетом переходных режимов коротких замыканий	275
<i>Новиков А.И., Жидов С.С., Кац И.М.</i> Разработка методики определения минимального расчётного режима работы энергорайона по условиям обеспечения чувствительности	279
<i>Новобрицкий В.А., Федосов Д.С.</i> Анализ тока обратной последовательности при трёхфазных коротких замыканиях	283
<i>Осипова Л.В.</i> Определение и расчет постоянной времени апериодической составляющей тока короткого замыкания в сложной цепи	287
<i>Панова Е.А., Насибуллин А.Т.</i> Разработка и проверка адекватности математической модели распределительной подстанции 220/110 кВ в среде MATLAB Simulink для расчётов релейной защиты	291
<i>Панько А.В.</i> Совершенствование релейной защиты в сетях с распределенной генерацией	295
<i>Саенко А.А.</i> Архитектурные решения уровня присоединения цифровой подстанции для реализации на действующих электрических подстанциях	299
<i>Кужеков С.Л., Дегтярев А.А., Шурупов А.А., Дони Н.А., Петров Д.С.</i> Методика экспериментального определения значений Трз на реальных терминалах УРЗ с помощью математических моделей объекта защиты и ТТ	303
<i>Старостин А.Ю., Зарипов Р.А., Зырянов В.М.</i> Повышение динамической устойчивости изолированной энергосистемы с накопителем энергии	307
<i>Старостин Е.С., Кажекин И.Е.</i> Исследование эффективности импульсной защиты от однофазных замыканий на землю в распределительных сетях среднего напряжения	311
<i>Стафорандова А.О.</i> Методика и использование характеристик LVRT в ветроэнергетических установках для повышения устойчивости работы электрической сети	315
<i>Тухарь Г.О., Гончарова Е.С., Сорокин Е.В.</i> Исследование алгоритмов автоматики ограничения повышения частоты в Камчатской ЭЭС	319
<i>Тычкин А.Р., Титов В.А., Яблоков А.А.</i> Разработка метода обработки результатов ДОМП	323
<i>Фурицев Н.Г.</i> Идентификация параметров электрической цепи с использованием модели в пространстве состояний	327

<i>Харченко Е.А.</i> Влияние величины коэффициентов надёжности на систему релейной защиты	329
<i>Ходков Т.С.</i> Разработка условной автоматизации контроля состояния АОДС	333
<i>Чебыкин А.К.</i> Переход от автоматизированной к автоматической проверке релейной защиты	337
<i>Шабаль Н.С.</i> Вопросы, связанные с применением ТЗНП на понижающих трансформаторах	341
<i>Шакурин И.В.</i> Определение зависимости настройки устройств АЛАР от места замера параметров электроэнергетического режима	345
<i>Эрекайкина Е.С., Ефремов А.А.</i> Учет насыщения трансформаторов тока при функционировании релейной защиты	349
<i>Яблоков А.А., Титов В.А., Тычкин А.Р.</i> Централизованный алгоритм контроля цепей тока	353

4. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

<i>Ваишуров К.Г.</i> Повышение эффективности автоматизированной системы управления блочной комплектной трансформаторной подстанции	358
<i>Гришина М.А.</i> Применение протокола записи SIPREC в энергетике	362
<i>Замыслов И.Д.</i> Модульная архитектура помощника диспетчера на базе цифрового двойника для перехода к проактивному управлению энергосистемой	366
<i>Кальсина Ю.В.</i> Установка систем частотного регулирования для управления работой двигателей охладителей трансформаторов и маслонасосов	371
<i>Коваленко А.И., Астахов Е.С., Пахмутова А.А., Польшалин И.С., Яковлев Д.П.</i> Разработка способа автоматической оптимизации плана технического обслуживания и ремонта электрической сети на основе методов искусственного интеллекта	375
<i>Ковриженко А.А., Коровкин Н.В.</i> Применение нейронных сетей для локализации источника высших гармоник в сложной электроэнергетической системе	379
<i>Коновалова Е.А., Бобрицкая И.В.</i> Результаты промышленной эксплуатации системы прогнозирования генерации возобновляемых источников энергии	383
<i>Копылов В.В., Гуськов А.С.</i> Автоматизация обработки контрольных замеров и интеграция данных в цифровую систему управления электрическими сетями	387
<i>Костин А.П.</i> Повышение пропускной способности сети за счет инновационного использования каналов дистанционного управления	391
<i>Красько М.Д.</i> Архитектура цифровой платформы электросетевой компании для взаимодействия с потребителями с применением геоинформационных и управляющих систем	395
<i>Кутявин В.В.</i> Разработка средства автоматизации для формирования типовой таблицы допустимых токовых нагрузок ЛЭП и электросетевого оборудования	399
<i>Подлипенцев П.С., Сенин И.А.</i> Модернизация подстанций на примере ПС 330 кВ «Ильенко»	403
<i>Пузанов И.А., Болоев Е.В.</i> Идентификация фаз подключения электросчетчиков к низковольтной сети при переключениях по результатам использования корреляционного и кластерного анализа	407
<i>Распутин Д.Л.</i> Методология извлечения информативных паттернов из токовых сигналов асинхронных двигателей для систем диагностики	411
<i>Рафиков В.Р., Дубинин Д.М.</i> Разработка подхода к мониторингу возникновения аномалий на генерирующем оборудовании по данным синхронизированных векторных измерений с использованием методов машинного обучения	413
<i>Троицкий Е.Д., Умаров Г.Е., Прохоров А.В.</i> Программное обеспечение на основе нейросетевых моделей для экспресс анализа динамической устойчивости электроэнергетических систем	417
<i>Умаров Г.Е., Жиленков А.А., Беляев Н.А.</i> Валидация данных информационных моделей энергосистем на основе корреляционного анализа и методов кластеризации	421
<i>Чувашева Н.Н.</i> Взаимодействие двух комплексов ПТК ЦСПА по выбору управляющих воздействий для общих пусковых органов	425
<i>Шилов А.Ю., Крицкий М.В.</i> Применение искусственного интеллекта при проверке типовых бланков переключений	429

5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<i>Андерс М.А., Русина А.Г.</i> Обзор технологий электропередачи постоянного тока	434
<i>Андреев Г.Б., Шескин Е.Б.</i> Регулирование скорости вращения валопровода ВЭУ для демпфирования свободных и вынужденных колебаний валопровода	438

<i>Большаков Д.А., Зырянов В.М.</i> Разработка физической модели гибридного накопителя энергии в составе электродинамической модели энергосистемы	442
<i>Горбунов Д.С.</i> Определение влияния стохастического характера генерации ВЭС на пропускную способность контролируемого сечения	446
<i>Гредина С.Р.</i> Электрификация нефтегазовых проектов: новая парадигма энергообеспечения и управления эффективностью	450
<i>Гуляков С.А.</i> Источник электроимпульсных воздействий системы заземлителей на IGBT-модуле	454
<i>Данилов В.А., Кочковская С.С., Фахрутдинов Т.А.</i> Разработка архитектуры интеллектуальной системы управления качеством электрической энергии	458
<i>Захаров В.О., Кинденкова И.С.</i> Исследование возможности применения системы накопления электрической энергии в целях противоаварийного управления	462
<i>Исаев Р.С.</i> Портал перспективного развития электроэнергетики	466
<i>Карташова Е.Э.</i> Роль систем накопления в обеспечении устойчивости и надежности энергоснабжения бытового потребителя. Обзор зарубежного опыта	468
<i>Кинденкова И.С., Захаров В.О.</i> Разработка концепции и модели системы мониторинга и управления качеством электроэнергии в системах электроснабжения специализированных промышленных предприятий	472
<i>Клендер И.Л.</i> Возможности применения нейросетевых алгоритмов для обработки результатов контрольных измерений	476
<i>Красникова-Вербникова В.А., Самусик К.А., Синянский И.В.</i> Сертификационные испытания устройств РЗА : опыт и перспективы	480
<i>Кугучева Д.К., Харитонов М.С.</i> К вопросу обеспечения качества электроэнергии в сетях низкого напряжения с объектами микрогенерации	484
<i>Кузнецова Ю.Н.</i> Применение метода сплайн-интерполяции для анализа формы периодического несинусоидального сигнала	488
<i>Луговкин Д.С., Воронова М.Ю., Чекан Г.В.</i> Сравнение вариантов развития электрифицированных железных дорог с позиции надёжности и экономической составляющей	490
<i>Малимон А.П., Трофименко Е.С.</i> Развитие электрического автомобильного транспорта и зарядной инфраструктуры в России до 2035 года: базовый сценарий	494
<i>Манин Н.Т., Зайцева Е.В.</i> Определение необходимой мощности, ёмкости и вида систем накопления электрической энергии для покрытия дефицитов активной мощности в изолированных энергосистемах	498
<i>Мурашов А.Д., Трофимов И.М., Алешин Д.А., Кралин А.А., Шалухо А.В.</i> Разработка и исследование обратного преобразователя для повышения эффективности систем электроснабжения с источниками постоянного тока	502
<i>Новиков Р.М., Беляев Н.А.</i> Формирование областей рационального использования объектов распределенной генерации при долгосрочном планировании развития энергосистем	506
<i>Овчинников К.А.</i> Проблемы перехода на биржевой технологически нейтральный рынок мощности	510
<i>Овчинников К.А., Шишкина Ю.С.</i> Изменение модели РСВ для решения проблемы маргинальной убыточности резервных электростанций	514
<i>Северина Я.Д., Шакиров В.А.</i> Сравнение методов в составе двухуровневого подхода к выбору состава оборудования гибридных энергокомплексов	518
<i>Стовбун Н.С.</i> Оценка потенциала использования ветровой и солнечной энергии в Сахалинской области	522
<i>Стрижевский И.А., Сигитов О.Ю., Суслов К.В.</i> Разработка алгоритма выбора состава включенного генерирующего оборудования ветровых электростанций при их совместной работе с газотурбинными установками	526
<i>Суслов А.К., Сигитов О.Ю.</i> Разработка методики комплексного анализа колебаний мощности ветровых электростанций	530
<i>Уколов А.С.</i> Методика поиска в сети потребителей 0,4 кВ неисправных счетчиков, снижающих общий объем опросов по радиointерфейсу RF	534
<i>Улаева Э.А., Игнатенко И.В.</i> Применение технологии плавучих атомных электростанций на территории дальневосточного федерального округа	538
<i>Уманский И.В.</i> Актуальные подходы к моделированию высоковольтных передач постоянного тока	542

<i>Шевелина П.Ю., Кубасов М.К.</i> Определение оптимальной стратегии управления гибридным накопителем энергии, состоящим из литий-ионной аккумуляторной батареи и суперконденсатора, для минимизации деградации аккумуляторной батареи электромобиля	546
<i>Шопинский С.Н.</i> Повышение энергоэффективности ветроэнергетических установок	550
<i>Юсупов Б.Т., Тягунов М.Г.</i> О возможности проектирования низковольтных гидрогенераторов с переменной скоростью вращения для питания электролизных установок	552
<i>Яковлев Д.П., Астахов Е.С., Иванов А.А., Пахмутова А.А.</i> Разработка модели искусственного интеллекта для прогнозирования генерации солнечной электростанции	556

6. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

<i>Безруков А.М., Кулагин С.М., Колибаба О.Б.</i> К расчету газомазутных горелок для топков сушильных барабанов	561
<i>Газизуллин К.Ф., Менделеев Д.И.</i> Исследование влияния водоводяных теплообменников на энергоэффективность парогазовой установки	566
<i>Дарьенков А.Б., Петухов Н.М., Тихонов А.П., Чугров А.А., Храмов А.Е.</i> Исследование однофазного активного корректора коэффициента мощности с микропроцессорной системой управления	570
<i>Дарьенков А.Б., Чугров А.А., Уткин Е.А., Петухов Н.М., Храмов А.Е.</i> Имитационное исследование однофазного активного выпрямителя напряжения	574
<i>Дарьенков А.Б., Храмов А.Е.</i> Адаптивный наблюдатель координат асинхронного электропривода	578
<i>Ившин И.В., Гаделшин И.И.</i> Энергетическая рекуперация отходов с использованием микротурбинных технологий: современные подходы и перспективы устойчивого развития	582
<i>Козлова М.В., Семяшкин Р.Д.</i> Повышение эффективности термических опреснительных установок с контактным испарителем за счёт утилизации теплоты рассола и конденсата	585
<i>Кралин Ан.А., Крюков Е.В., Кралин Ал.А., Дарьенков А.Б.</i> Моделирование автономной гибридной электроэнергетической установки на основе дизель-генератора и накопителя электроэнергии	589
<i>Лукошкин Е.Г.</i> Автоматизация процесса расчёта расположения трансформаторных подстанций на предприятии	593
<i>Монгуш Ч.П., Гиришин С.С.</i> Выбор закона распределения электрической нагрузки	597
<i>Новоселова М.С., Марьин Г.Е.</i> ГТУ малой мощности, работающая на альтернативном топливе	599
<i>Пушкарский А.В.</i> Разработка методики расчёта коэффициентов совмещения максимумов нагрузок в распределительных сетях с учётом газификации	603
<i>Севостьянов А.А., Серебряков Н.А.</i> Применение обобщённого показателя при анализе качества электрической энергии в системах электроснабжения промышленных потребителей	607
<i>Сусликов П.К., Жуковский Ю.Л.</i> Мониторинг включения оборудования по общему потреблению на основе ML методов для системы управления спросом	611
<i>Шидов А.Г.</i> Применение кластеризационных методов машинного обучения для выявления нетехнических потерь по данным электропотребления	615

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<i>Василашко О.Е., Назаров А.А.</i> Использование тренажёра оперативных переключений в электроустановках в образовательном процессе	620
<i>Матвийчук Н.В., Лукошкин Е.Г.</i> Повышение компетенций работников ТЭК в области рынков электроэнергии	624
<i>Менделеев Д.И.</i> Эффективность и перспективы применения технологий виртуальной реальности в подготовке студентов энергетических специальностей	626
<i>Пашков Р.А.</i> Разработка системы тренажёрной подготовки оперативного персонала электрических подстанций на базе отечественных нейросетевых моделей	630
<i>Саляхиева Н.К.</i> Вопросы формирования экосистемы практико-ориентированной подготовки специалистов для электроэнергетической отрасли	634
<i>Чернов Е.А., Петрушин Д.Е.</i> Кадровый баланс в электроэнергетике Карелии: анализ структуры работодателей и оценка потребности в инженерах	638

Научное издание

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ – 2026

Материалы
XV Международной научно-технической конференции
23– 27 марта 2026 года

Издается в авторской редакции

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,
153003, г.Иваново, ул.Рабфаковская, 34

