УДК 621.31 DOI: 10.34031/ES.2025.1.05

ФОРМИРОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ-ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКОВ

Новиков А.В., Злобин А.И., Хорошинина Е.Н.

ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме формирования практических навыков оперативных переключений у студентов электроэнергетических специальностей высших учебных заведений и сотрудников электрических станций и подстанций. Авторы признают ценность широко используемых образовательных программ в учебных центрах и на курсах повышения квалификации, однако подчеркивают, что практический опыт, приобретенный на реальных физических моделях, способен существенно дополнить современные компьютерные методы обучения. Процесс обучения становится максимально реалистичным благодаря ощущению настоящей производственной обстановки: чувству опасности от воздействия электрического тока, осознанию серьёзности возможных ошибок, а также использованию звуковых и световых сигналов, характерных для реальных производственных ситуаций. Таким образом, сочетание теоретической подготовки с практической отработкой навыков на физической модели оборудования способствует формированию квалифицированных кадров, готовых эффективно решать оперативные задачи в условиях эксплуатации электроустановок высокого напряжения.

Ключевые слова: *схема, система шин, выключатель, тренажер, практические навыки.*

FORMATION OF PRACTICAL SKILLS OF OPERATIONAL SWITCHING IN THE TRAINING OF ELECTRIC POWER SPECIALISTS

Aleksey Novikov, Alexander Zlobin, Elena Khoroshinina

Vyatka State University, Kirov

Abstract

The article addresses the urgent issue of developing practical skills of operational switching among students majoring in power engineering at higher educational institutions as well as employees working at electric stations and substations. The authors acknowledge the value of widely used training programs offered by educational centers and professional development courses but emphasize that hands-on experience gained through real physical models can significantly enhance modern computer-based learning methods. Training becomes more realistic when trainees are immersed in a genuine industrial environment with an awareness of danger from electrical current exposure, understanding the seriousness of potential errors, and utilizing auditory and visual signals typical of actual production scenarios. Therefore, combining theoretical knowledge with practical skill acquisition on physical equipment models contributes to the formation of qualified personnel capable of efficiently addressing operational challenges under high-voltage installation operating conditions.

Keywords: *scheme, bus system, switch, training device, practical skills.*

Введение

В Вятском государственном университете подготовка бакалавров по профилю «Электрические станции» имеет эксплуатационную направленность. Будущие специалисты должны знать не только принцип действия высоковольтного оборудования [1, 2], уметь использовать современные методы расчета режимов

работы электроустановок [3], но и владеть практическими навыками производства оперативных переключений. В последние годы разработчики предлагают несколько компьютерных программ для подготовки диспетчерского состава разного уровня [4, 5]. Тренировка персонала на компьютере малоэффективна. В критическую минуту диспетчер, подготовленный по такой программе, может допустить ошибку.

Такого рода подготовка напоминает сдачу экзамена на вождение автомобиля в компьютерном классе. Очевидно, что практических навыков таким образом приобрести невозможно. Шахматисты утверждают, что ошибочность хода становится очевидной в момент касания фигуры рукой, когда отменить ход уже невозможно. Таково свойство человеческой психики. Навыки, приобретенные на физической модели-тренажере, невозможно заменить «кликом» компьютерной мыши.

Поэтому было принято решение разработать тренажеры, напоминающие диспетчерский щит управления. Физическое моделирование оперативных переключений не отвергает использование компьютерных программ, а является хорошим им дополнением, так как в памяти компьютерных программ закладываются действия с коммутационными аппаратами, устройствами РЗ и А и др.

Материалы и методы

Самой распространенной схемой [6] в Кировэнерго на напряжении 110-220 кВ является схема «Две системы сборных шин с обходной системой шин». По нормам технологического проектирования [7] схема выбирается при числе присоединений 7 и более (рис. 1). С точки зрения приобретения навыков количество присоединений существенного значения не оказывает. Для компактности разработчики ограничились четырьмя присоединениями: два силовых трансформатора Т1 и Т2 и две линии электропередач (ЛЭП) W1 и W2 (рис.3).

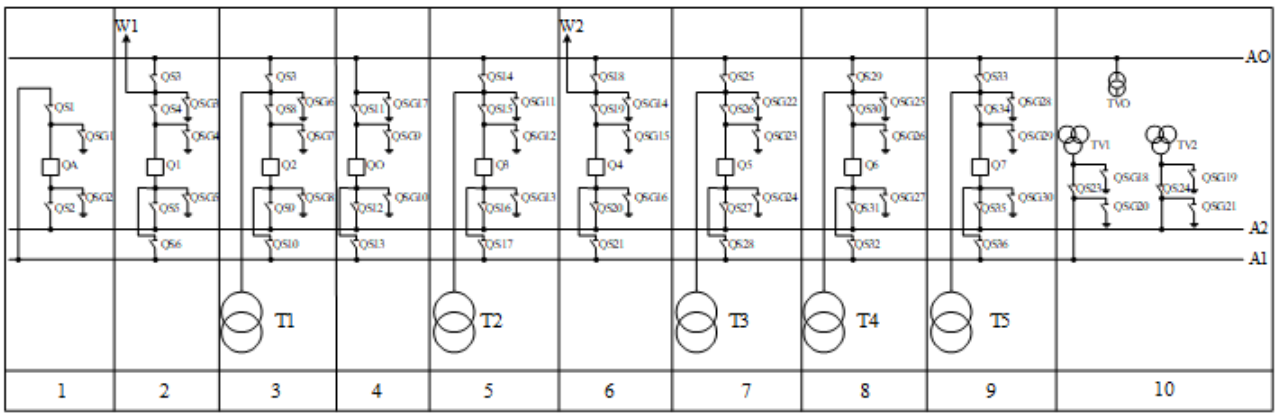

Рис. 1. Схема «Две системы сборных шин с обходной системой шин»

На схеме использованы следующие обозначения:

Выключатель QA – шиносоединительный выключатель, применяется для выравнивания потенциалов на шинах А1 и А2 при переводе присоединений с одной системы сборных шин на другую.

Выключатели Q1 – Q7 – выключатели присоединений.

Выключатель QO – обходной выключатель, применяется для замены выключателя присоединения при выводе его в ремонт.

А1 и А2 рабочие системы сборных шин, А0 – обходная система сборных шин.

QS1 – QS36 – разъединители, предназначены для создания видимого разрыва.

QSG1 – QSG30 – заземляющие ножи, включаются при ремонте выключателей для защиты персонала от наведенных напряжений и ошибочных включений.

Было предложено 2 варианта исполнения тренажера: вариант с использованием логических элементов «И-НЕ» (логическая конъюнкция с инверсией выходного сигнала) и «ИЛИ-НЕ» (логическая дизъюнкция с инверсией выходного сигнала) и релейная схема.

Вариант с использованием микросхем оказался более сложным в изготовлении, что объясняет решение разработчиков применить релейную схему, показанную на рис. 2.

Рис. 2. Релейная схема тренажера «Оперативные переключения в электроустановках»

Релейная схема состоит из двух частей:

1) реальная схема «Две системы сборных шин с обходной системой шин», в которой контакты реле выполняют функцию коммутационных аппаратов;

2) логическая схема, в которой контакты реле выполняют функцию логических элементов «И» (логическая конъюнкция) и «ИЛИ» (логическая дизъюнкция).

Лицевая панель тренажера показана на рис. 3.

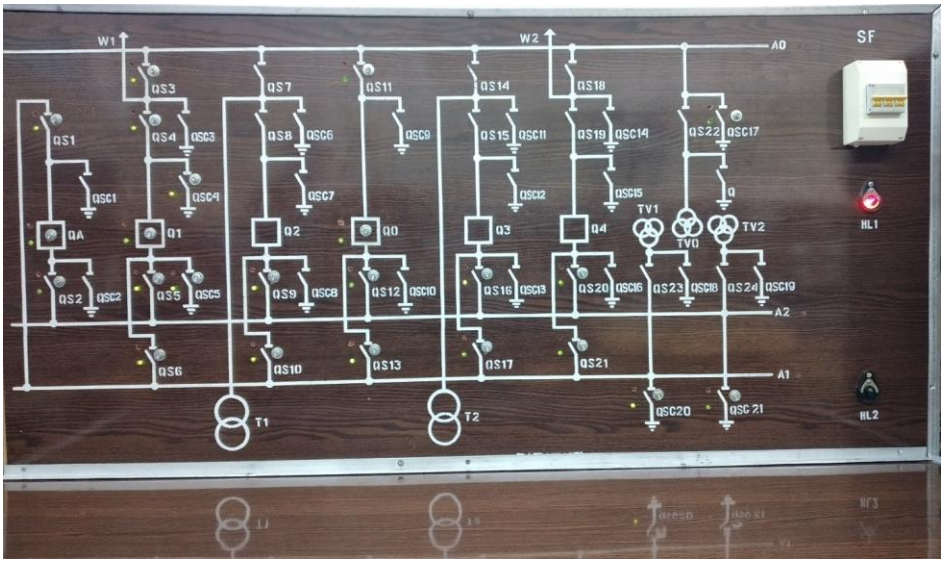

Рис. 3. Лицевая панель тренажера «Оперативные переключения в электроустановках»

Включение и отключение коммутационных аппаратов сопровождается световой индикацией красного и зеленого светодиодов.

Напряжение на сборные шины А1 или А2 подается по линии W1 через разъединитель QS4, выключатель присоединения Q1, разъединители QS5 или QS6. Если напряжение подается на сборные шины А1, то загорается сигнальная лампа HL4. Если напряжение подается на сборные шины А2, то загорается сигнальная лампа HL5. При подаче напряжения на обходную систему сборных шин загорается сигнальная лампа HL3. При ошибочных действиях с коммутационными аппаратами мигает сигнальная лампа HL2 и звенит звонок.

Тренажер позволяет выполнять операции в соответствии с бланками переключений №1, №2, №3 и №4.

Бланк переключений №1

Исходная схема: Выключатель присоединения Q1 и сборные шины А1, А2 в ремонте (заземляющие ножи QSG4, QSG5, QSG20, QSG21 включены); разъединители QS1-QS6, QS9-QS13, QS16, QS17, QS20, QS21 отключены.

Задание: Включить выключатель Q1 на сборные шины А1 (Подать напряжение с линии W1 на сборные шины А1 с помощью выключателя присоединения Q1).

Порядок переключений для бланка переключений №1 приведен в табл. 1.

Таблица 1

Порядок переключений при включении выключателя Q1 на сборные шины А1

№ п/п	Содержание операции	Расположение переключающих устройств	Операции с переключающими устройствами
1	Отключить заземляющие ножи с обеих сторон выключателя присоединения Q1	Ячейка 2 выключателя Q1	Отключить QSG4 и QSG5
2	Вывести из ремонта сборные шины А1 – отключить заземляющий нож	Ячейка 10 трансформаторов напряжения TVO, TV1, TV2	Отключить QSG20
3	Включить шинные и линейные разъединители выключателя присоединения Q1	Ячейка 2 выключателя Q1	Включить QS6 и QS4
4	Включить выключатель присоединения	Ячейка 2 выключателя Q1	Включить Q1
5	Включить шинные разъединители других присоединений	Ячейки 3 – 6 выключателей Q2-Q4	Включить QS10, QS13, QS17, QS21

Бланк переключений №2

Исходная схема: Выключатели Q1-Q4 и сборные шины А1 в работе, сборные шины А2 в ремонте; разъединители QS6, QS10, QS13, QS17, QS21 включены.

Задание: Вывести в ремонт сборные шины А1 (Перевести все присоединения со сборных шин А1 на сборные шины А2).

Порядок переключений для бланка переключений №2 приведен в табл. 2.

Таблица 2

Порядок переключений при выводе в ремонт сборной шины А1

№ п/п	Содержание операции	Расположение переключающих устройств	Операции с переключающими устройствами
1	Вывести из ремонта сборные шины А2 – отключить заземляющий нож	Ячейка 10 трансформаторов напряжения TVO, TV1, TV2	Отключить QSG21
2	Включить разъединители шиносоединительного выключателя	Ячейка 1 шиносоединительного выключателя QA	Включить QS1 и QS2
3	Включить шиносоединительный выключатель	Ячейка 1 шиносоединительного выключателя QA	Включить QA
4	Перевести присоединения с шин А1 на шины А2	Ячейки 2 - 6 выключателей Q1-Q4 Ячейки 2 - 6 выключателей Q1-Q4	Включить QS5, QS9, QS12, QS16, QS20 Отключить QS6, QS10, QS13, QS17, QS21
5	Отключить шиносоединительный выключатель	Ячейка 1 шиносоединительного выключателя QA	Отключить QA
6	Отключить разъединители шиносоединительного выключателя	Ячейка 1 шиносоединительного выключателя QA	Отключить QS1 и QS2
7	Вывести в ремонт шины А1 – включить заземляющий нож	Ячейка 10 трансформаторов напряжения TVO, TV1, TV2	Включить QSG20

Бланк переключений №3

Исходная схема: Выключатели Q1-Q4 и сборные шины А2 в работе, сборные шины А0 и А1 в ремонте; разъединители QS5, QS9, QS12, QS16, QS20 включены.

Задание: Вывести в ремонт выключатель присоединения Q1.

Порядок переключений для бланка переключений №3 приведен в табл. 3.

Таблица 3

Порядок переключений при выводе в ремонт выключателя присоединения Q1

№ п/п	Содержание операции	Расположение переключающих устройств	Операции с переключающими устройствами
1	2	3	4
1	Вывести из ремонта сборные шины А0 - отключить заземляющий нож	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Отключить QSG17
2	Проверить включенное положение разъединителя обходного выключателя со стороны сборных шин А2 или включить разъединитель обходного выключателя	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Включить QS12

Окончание табл. 3

1	2	3	4
3	Включить разъединитель обходного выключателя со стороны обходной системы шин	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Включить QS11
4	Опробовать обходную систему шин на наличие КЗ	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Включить обходной выключатель QO При отсутствии повреждений отключить обходной выключатель QO
5	Включить разъединитель присоединения к линии W1 со стороны обходной системы шин	Ячейка 2 выключателя Q1	Включить QS3
6	Включить обходной выключатель	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Включить QO
7	Отключить выводимый в ремонт выключатель присоединения	Ячейка 2 выключателя Q1	Отключить Q1
8	Отключить линейный и шинный разъединители с обеих сторон выключателя Q1	Ячейка 2 выключателя Q1	Отключить QS4 и QS5
9	Включить заземляющие ножи с обеих сторон выключателя Q1, выводимого в ремонт	Ячейка 2 выключателя Q1	Включить QSG4 и QSG5

Бланк переключений №4

Исходная схема: Обходной выключатель QO и сборные шины А2 в работе, сборные шины А1 в ремонте; разъединители QS9, QS12, QS16, QS20 включены.

Задание: Включить выключатель присоединения Q1 на сборные шины А2.

Порядок переключений для бланка переключений №4 приведен в табл. 4.

Таблица 4

Порядок переключений при включении выключателя присоединения Q1 на сборные шины А2

№ п/п	Содержание операции	Расположение переключающих устройств	Операции с переключающими устройствами
1	2	3	4
1	Отключить заземляющие ножи выключателя присоединения Q1	Ячейка 2 выключателя Q1	Отключить QSG4 и QSG5
2	Включить шинный и линейный разъединители выключателя присоединения Q1	Ячейка 2 выключателя Q1	Включить QS5 и QS4
3	Включить выключатель присоединения	Ячейка 2 выключателя Q1	Включить Q1

Окончание табл. 4

1	2	3	4
4	Отключить обходной выключатель	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Отключить QO
5	Отключить разъединитель присоединения к линии W1 со стороны обходной системы шин	Ячейка 2 выключателя Q1	Отключить QS3
6	Отключить разъединитель обходного выключателя со стороны обходной системы шин	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Отключить QS11
7	Отключить разъединитель обходного выключателя со стороны сборных шин А2	Ячейка 4 обходного выключателя QO	Отключить QS12

На тренажере «Оперативные переключения в электроустановках» управление выключателями, разъединителями и заземляющими ножами осуществляется переключателями, имеющими два положения: «включено» и «отключено». Чтобы научить студентов управлению выключателями на станциях и подстанциях на кафедре разработан и смонтирован тренажер «Управление и сигнализация на электрических станциях», показанный на рис. 4.

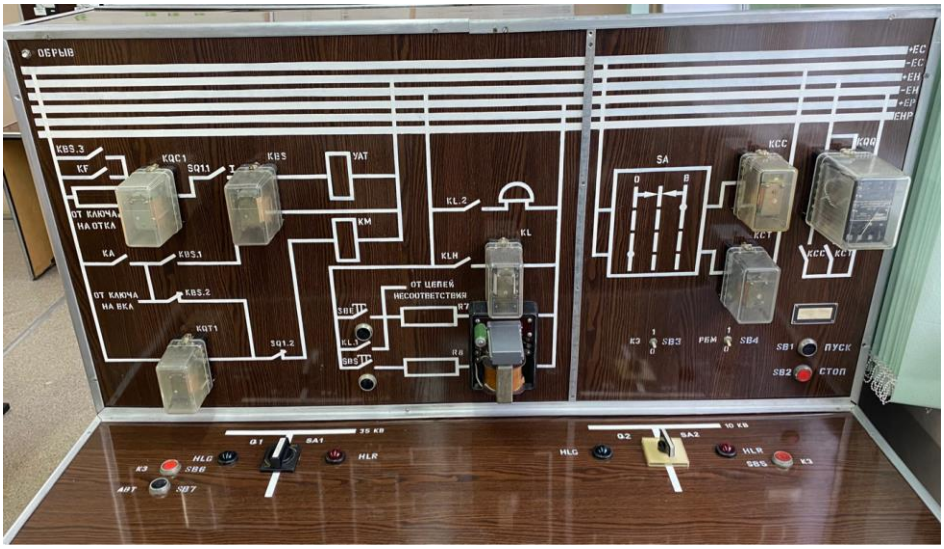

Рис. 4. Тренажер «Управление и сигнализация на электрических станциях»

Ключ управления SA1 выключателя Q1 имеет шесть положений и устанавливается на подстанциях с оперативным персоналом. Ключ управления SA2 выключателя Q2 имеет три положения и устанавливается на подстанциях без оперативного персонала.

На тренажере можно выполнить следующие действия:

1. Включить и отключить аварийно-предупреждающую сигнализацию.
2. Включить и отключить выключатель Q1 ключом управления SA1.
3. Наблюдать работу схемы при отключении выключателя Q1 от действия релейной защиты (РЗ) при коротком замыкании (КЗ).
4. Наблюдать работу схемы при включении выключателя Q1 от реле автоматики.
5. Включить выключатель Q1 на неустранимое КЗ с введённой блокировкой от «прыгания».

6. Включить выключатель Q1 на неустранимое КЗ с выведенной блокировкой от «прыгания».

7. Включить и отключить выключатель Q2 ключом управления SA2.

8. Наблюдать работу схемы при отключении выключателя Q2 от действия РЗ при КЗ.

9. Наблюдать работу схемы при обрыве предохранителя в цепи управления.

В лаборатории «Электрическая часть станций и подстанций» проходят обучение не только студенты очной и заочной форм обучения, но и оперативный персонал филиала «Кировский» ПАО «Т Плюс». Студенты и слушатели приобретают в лаборатории практические навыки оперативных переключений, необходимых при выводе в ремонт выключателя присоединения линии и системы сборных шин.

Выводы

1. Статья подчеркивает важность развития практических навыков оперативного персонала, так как компьютерные программы недостаточно эффективны для формирования глубоких практических навыков.

2. Использование физических моделей-тренажеров позволяет студентам и специалистам приобретать реальный опыт работы с оборудованием, что значительно повышает качество профессиональной подготовки.

3. Разработаны физические модели-тренажеры, имитирующие диспетчерские щиты управления, позволяющие воспроизводить реальные ситуации переключений и ошибок, встречающихся в эксплуатации электроустановок.

4. Применение физических моделей-тренажеров наряду с компьютерными программами обеспечивает комплексное освоение теории и практики, способствуя повышению квалификации специалистов.

Библиографический список

1. **Белецкий О.В., Лезнов С.И, Филатов А.А.** Обслуживание электрооборудования подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 436 с.
2. **Лезнов С.И., Тайц А.А., Приклонский Е.Н.** Обслуживание электрооборудования электростанций и подстанций: Учебник для СПТУ / 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. шк., 1985. – 288 с.
3. **Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В.** Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / 10-е изд. стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2013. – 448 с.
4. **Лапидус А.А., Семенов К.Н., Соловьева С.Н.** Оперативные переключения в электроустановках электростанций и подстанций. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – 75 с. DOI: 10.18720/SPBPU/2/s20-75.
5. **Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г.** Оперативные переключения: Уч. пос. – Благовещенск: АмГУ, 2015. – 293 с.
6. **Новиков А.В., Медов Р.В.** Схемы распределительных устройств: Уч. пос. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2008. – 50 с.
7. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы. С изменениями и дополнениями на 2025 год / 6-е и 7-е издания. – М.: Эксмо, 2025. – 514 с.

References

1. Beletskiy, O. V., Leznov, S. I, & Filatov A. A. (1985). *Obsluzhivaniye elektrooborudovaniya podstantsiy [Maintenance of electrical equipment of substations]*. Energoatomizdat. [In Russian]
2. Leznov, S. I., Tayts, A. A., & Priklonskiy, Ye. N. (1985). *Obsluzhivaniye elektrooborudovaniya elektrostantsiy i podstantsiy [Maintenance of electrical equipment of power plants and substations].* Vysshaya shkola. [In Russian]

3. Rozhkova, L. D., Karneyeva, L. K., & Chirkova, T. V. (2013). *Elektrooborudovaniye elektricheskikh stantsiy i podstantsiy* [*Electrical equipment of power stations and substations*] (10th ed). Academia. [In Russian]
4. Lapidus, A. A., Semenov, K. N., & Solov'eva, S.N. (2020). *Operativnyye pereklyucheniya v elektroustanovkakh elektrostantsiy i podstantsiy [Operational switching in electrical installations of power plants and substations]*. Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskiy universitet Petra Velikogo. https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/s20-75 [In Russian]
5. Myasoyedov, Yu. V., Myasoyedova, L. A., & Podgurskaya, I. G. (2015). *Operativnyye pereklyucheniya [Operational switching]*. Amurskiy gosudarstvennyy universitet. [In Russian]
6. Novikov, A. V., Medov, R. V. (2008). *Skhemy raspredelitel'nykh ustroystv [Switchgear diagrams]*. VyatGU. [In Russian]
7. Ministry of Energy of the Russian Federation. (2023). *Pravila ustrojstva e`lektroustanovok. Vse dejstvuyushhie razdely`. S izmeneniyami i dopolneniyami na 2025 god* [*Electrical Installation Rules. All current sections. With amendments and additions for 2025*] (6 & 7th ed.). Eksmo. [In Russian]

Сведения об авторах

Новиков Алексей Викторович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрические станции», ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров, e-mail: novikov@vyatsu.ru.
SPIN-код: 9626-6481, ORCID: 0000-0003-0138-7174.
Злобин Александр Иванович, зав. лабораторией, кафедра «Электрические станции», ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров, e-mail: zlobin@vyatsu.ru.
Хорошинина Елена Николаевна, старший преподаватель, кафедра «Электрические станции», ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров, e-mail: en_horoshinina@vyatsu.ru. SPIN-код: 1487-3092.

Authors about

Aleksey V. Novikov, Cand. of Tech. Sciences, Associated Professor, Head at the Department of Electric Stations, Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
E-mail: novikov@vyatsu.ru. ORCID: 0000-0003-0138-7174.
Alexander I. Zlobin, Head of laboratory at the Department of Electric Stations, Vyatka State University, Kirov, Russia. E-mail: zlobin@vyatsu.ru.
Elena N. Khoroshinina, Senior Lecturer at the Department of Electric Stations, Vyatka State University, Kirov, Russia. E-mail: en_horoshinina@vyatsu.ru.

Ссылки для цитирования

Новиков А.В., Злобин А.И., Хорошинина Е.Н. Формирование практических навыков оперативных переключений при обучении специалистов-электроэнергетиков // Энергетические системы. 2025. – № 1. – С. 42-50.
Novikov, A., Zlobin, A., Khoroshinina, E. (2025). Formation of practical skills of operational switching in the training of electric power specialists. *Energy Systems, 1*, 42-50. https://doi.org/10.34031/es.2025.1.06