

УДК 621.311

**ОПИСАНИЕ ТРЕНАЖЕРОВ ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 - 10 КВ  
DESCRIPTION OF OPERATIONAL SWITCHING SIMULATORS  
IN THE 0.4 - 10 KV ELECTRICAL NETWORK**

И.Н. Адамович, В.Ю. Докутович, К.Д. Сырцов  
Научный руководитель – Д.А. Секацкий, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
sekatski@bntu.by

I. Adamovich, V. Dokutovich, K. Syrtsov  
Supervisor – D. Sekatsky, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе рассматриваются принцип работы, устройство и функции тренажеров оперативных переключений в электрических сетях.*

***Abstract:** this article examines the principle of operation, device and functions of simulators of operational switching in electrical networks.*

***Ключевые слова:** тренажер, обучение персонала, оперативные переключения, компьютерная программа, виртуальная реальность, электрические сети.*

***Keywords:** simulator, staff training, operational switching, computer program, virtual reality, electrical networks.*

### **Введение**

Оперативные переключения в электросети 0,4 - 10 кВ — это процедуры переключения электрических цепей на другие источники питания или отключения их для проведения работ в сети. Переключения нужны для обеспечения надежной, безопасной и устойчивой работы оборудования.

Они могут быть реализованы вручную или автоматически с помощью релейной защиты. В процессе переключения могут применяться разные устройства: выключатели, разъединители, трансформаторы и т. д.

Переключения могут производиться как планоно, так и в экстренных случаях, например, при обрыве цепи или перегрузке. В любом случае, при проведении операторных переключений необходимо соблюдать все требования безопасности и правила работы с электрооборудованием.

Для приобретения навыков оперативных переключений и отработки нестандартных ситуаций целесообразна разработка различных тренажерных программ и систем.

### **Основная часть**

Тренажеры оперативного переключения предназначены для проведения тренировок и экзаменов по плановым или аварийным оперативным переключениям в специально подготовленных тренажерных программах.

После получения данных и выбора инструментов для визуализации можно начать создавать программу, которая будет отображать действия в понятном виде и иметь возможность максимально приблизить к реальному процесс переключений. В целом, разработка тренажера оперативных переключений в электросети является сложным процессом, который требует тщательной подготовки, изучения огромного теоретического материала и постоянного совершенствования, ведь с каждым годом появляется более новое и технологичное оборудование.

Самые распространённые тренажеры, это специальные программы для компьютера. Они содержат в себе некоторые метабазы знаний, в которых описаны основные правила типовых инструкций по переключениям в электроустановках [1, с. 102]. Эти тренажеры можно использовать как в учебных целях и в производственных условиях, так и в проведении конкурсов оперативного персонала диспетчерской службы энергосистем, МЭС, ПЭС и электростанций.

Любой тренажер представляет собой графическую оболочку с разнообразным количеством модулей, которые можно дополнительно внедрять из вне в программу. Каждый модуль - это отдельное устройство электростанций и подстанций, например, устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА) [2, с. 340]. Графический редактор встроенный в тренажер позволяет пользователям получить визуальное представление самой схемы и наблюдать процессы происходящий при том или ином выборе.

Рассмотрим типовой российский тренажер TWR 12. По нынешнее время он разрабатывается и дополняется новыми функциями. Этот тренажер позволяет моделировать энергообъекты различного уровня – от городских и распределительных сетей до электростанций и энергосистем.

Предназначен тренажер для:

- диспетчеров ЦДУ, РРС, ОДУ, РДУ, МЭС, МРСК, ПЭС;
- дежурных подстанций ОВБ;
- сотрудников электроцехов электрической станции;
- диспетчеров распределительных и городских сетей;
- сотрудников энергетических служб промышленных предприятий, железной дороги и т. д.

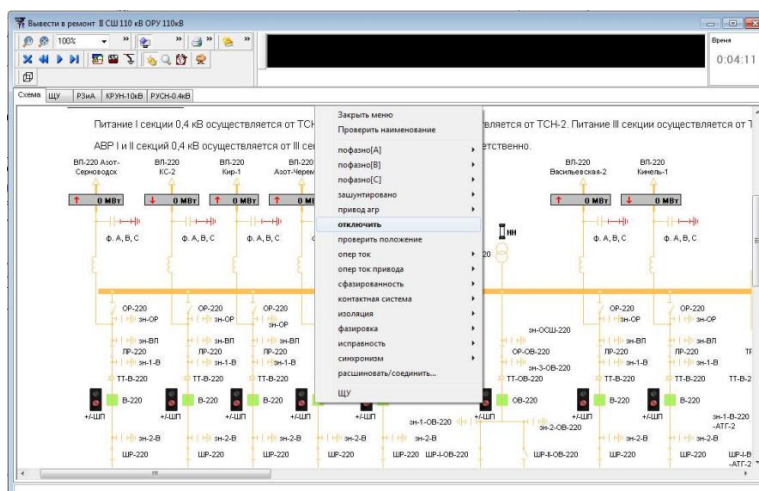


Рисунок 1 - Интерфейс тренинга

У этого тренажера есть графическая оболочка в виде электронного макета (рисунок 1), представляющего схему энергообъекта или сети энергоснабжения, панелей релейной защиты и автоматики, изображения щитов управления, а также анимированных изображений реального основного оборудования ОРУ, ячеек КРУ, моделей АРМ и терминалов микропроцессорных защит [1, с. 102].

В нем есть как набор готовых тренингов, так и есть графический редактор для симуляции реальных энергообъектов.

TWR 12 имитирует следующие виды работ [1]:

- Коммутации (Работа на открытом распределительном устройстве);
- Управление оборудованием (выключателем и др.);
- Работа с релейной защитой и автоматикой (рисунок 2);
- Проверка исправности оборудования, показаний приборов;
- Выполнение действий через АРМ.

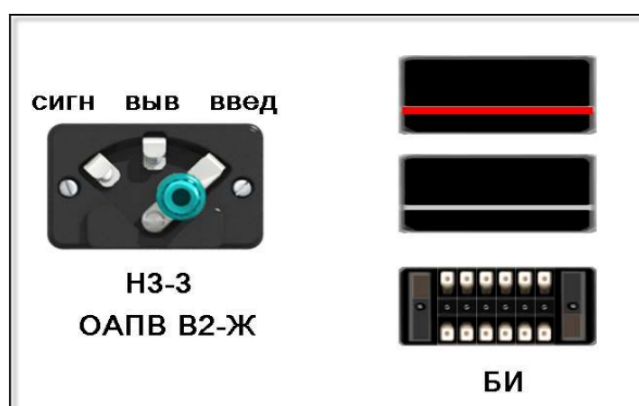


Рисунок 2 - РЗиА

Тренажер имеет несколько режимов: создание тренировки, редактирование тренировки, проведение теста (с возможностью вывода подсказок), тренировка с оценкой [1, с. 103].

Проблемы большинства тренажеров - это наглядность и осязаемость. Однако благодаря развитию технологий эти проблемы частично решены: с помощью видео и аудио дорожек элементов схемы (модулей).

Для начала тренинга необходимо, сначала создать этот тренинг в графической оболочке программы с помощью модулей. Ввести все параметры элементов схемы, смоделировать аварию, отключением некоторых модулей или симулированием поломок в модулях и расставить правильный порядок переключения элементов схемы.

В этом и есть еще одна проблема тренажеров: они не могут сами точно определить, что необходимо сделать при аварии. Тренажер может лишь примерно понять в чем проблема, но точных ответов не выводит. Для решения этой проблемы можно подключить отдельный модуль с искусственным интеллектом (ИИ), который будет продолжать обучаться при обучении персонала. Достигаться это будет путем создания тренировочных схем персоналом и порядком отключения, которое запрограммировал специалист по оперативным переключениям. По этим схемам будет обучаться ИИ. Так как на данный момент мы живем в период развития цифровых технологий, то ИИ можно подключить к другим электростанциям через интернет и объединить в один сервер. Такой ИИ

сможет в будущем создавать, проверять и возможно даже заменить человека в простых процедурах оперативного переключения.

Несмотря на то, что тренажеры постоянно совершенствуются и позволяют довольно точно смоделировать оперативные переключения, существует ряд недостатков, которые значительно снижают эффективность обучения [3, с. 55].

Первым и главным недостатком является не адекватное отражение манипуляций, производимых над щитами управления и схемами распределительных устройств из-за использования примитивной 2D графики.

Во-вторых, большинство операций могут быть произведены в пару кликов мыши, в то время как в действительности они занимают больше времени и усилий. К примерам таких операций можно отнести вывеску плакатов, проверку и использование средств индивидуальной защиты, перемещение по энергообъекту (навигация).

В-третьих, конфигурация интерфейса программного обеспечения тренажера может служить как подсказка к последующим действиям и, как следствие, упрощать задачу обучаемому, снижая эффективность обучения.

Ввиду всех этих недостатков можно заключить, что используемые в повсеместной практике тренажеры формируют по большей части теоретическое представление о переключениях, при этом полностью отсутствует эффект присутствия, что может привести к непредсказуемым действиям персонала в настоящей нештатной ситуации. Существующие тренажеры более подходят для диспетчеров. Для электромонтеров же необходимо проводить более наглядные тренировки, отражающие их непосредственные задачи, где, в первую очередь, оттачиваются умение быстрого и безошибочного действия согласно бланкам переключений.

В связи с развитием технологий виртуальной реальности (VR) актуальной стала возможность их использования в том числе в сфере энергетике [3, с. 56]. VR-тренажеры позволяют создать виртуальные прототипы, полностью соответствующие реальным энергообъектам, а, благодаря таким новейшим разработкам, как VR-шлемы, 3D-кубы, достигается полное погружение в процесс обучения и устраняются недостатки, приведенные выше. Поэтому, всё более часто VR-технологии используются как средство обучения и тренировки оперативного и оперативно-ремонтного персонала подстанций.

Существующие на сегодняшний день тренажеры позволяют создавать различные сценарии, затрагивающие широкий спектр задач, и включают следующие виды сценариев [4, с. 31]:

- 1) сложные оперативные переключения с большим количеством действий, осуществляемых по бланкам задач: вывод в ремонт трансформаторов, линий электропередач и т. д.;

- 2) операторные переключения при возникновении нештатной ситуации: короткого замыкания на линии, выхода из работы выключателя и пр.;

- 3) сценарии допуска: подготовка рабочего места в соответствии с правилами техники безопасности, осмотр места проведения аварийно-восстановительных работ и т. д.

Тренажер виртуальной реальности (рисунок 3) в общем случае включает в себя следующие элементы [5, с. 8]:

1) персональный компьютер с машиночитаемым носителем (включает в себя монитор 16 и системный блок рабочей станции тренажера 15). Он отвечает за логическую часть тренажера и содержит графическую трехмерную оболочку. Логическая часть в свою очередь включает модуль защиты, модуль оценки, модуль расчета режима и коммутационный модуль.

2) периферийные устройства, подключаемые к ПК и обеспечивающие навигацию в виртуальной среде. К ним относятся VR-шлем (11), джойстики, инфракрасная камера (13), трекеры мелкой моторики и положения рук (12) и специальная беговая дорожка (14).

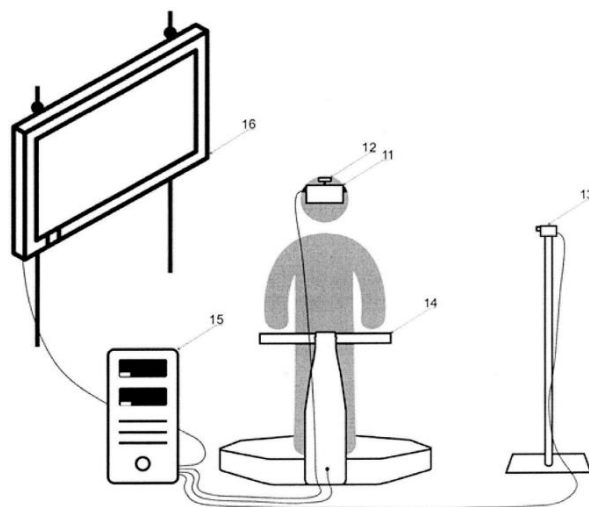


Рисунок 3 - Принципиальная схема тренажера

Способ тренировки может быть описан следующим алгоритмом [5, с. 5]:

1) посредством программного обеспечения создается визуализация макета подстанции;

2) обучаемый, взаимодействуя с прототипом подстанции через периферийные устройства (рисунок 4), выполняет оперативные переключения на тренажере согласно полученным бланкам по оперативным переключениям (в зависимости от сценария);

3) логическая часть тренажера производит пересчет режима и производит оценку действий оператора, а затем передает результаты в графическую оболочку тренажера.

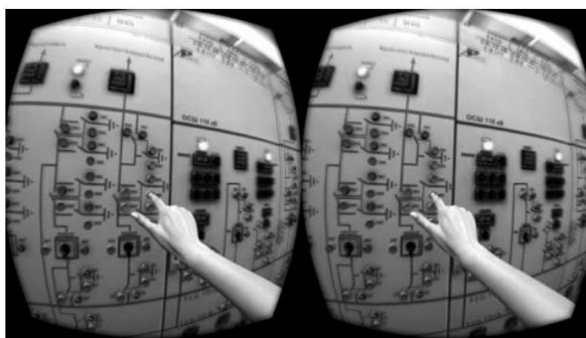


Рисунок 4 - Вид щита управления через шлем виртуальной реальности

### **Заключение**

Таким образом, VR-тренажеры являются наилучшими и наиболее перспективными тренажерами, разработанными на сегодняшний день. Помимо гарантии безопасности обучающегося во время тренировки и исключения возможности повреждения материальных объектов во время выполнения работ, они позволяют наиболее точно и достоверно воссоздать ситуации, возможные в действительности. Эффект погружения обеспечивает максимальную эффективность обучения и вовлеченность обучающихся в процесс.

На данный момент существует небольшое количество готовых технологических решений, однако с появлением универсальных программ применение данных тренажеров будет значительно более широким.

### **Литература**

1. Г.В. Меркурьев. Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами/ Г.В. Меркурьев. // Методическое пособие: Санкт-Петербург, 2002. – С. 102-06
2. Оперативное управление в энергосистемах: учеб. пособие / Е.В. Калентионок, В.Г. Прокопенко, В.Т. Федин; под общ. ред. В.Т. Федина. – Минск: Выш. Шк., 2019. -351 с. : ил.
3. Новые подходы к тренировкам оперативного персонала подстанций / Насыров Р. Р. [и др.] // Электричество. - 2015. - № 8. - С. 52-58.
4. Виртуальный тренажер оперативных переключений / Насыров Р. Р. [и др.]. // Электричество. - 2016. - № 3. - С. 27-32.
5. Тренажер оперативного и эксплуатационного персонала на основе моделей виртуальной реальности трансформаторной подстанции // Описание изобретения к патенту // Федеральная служба по интеллектуальной собственности 2016.