

# ТРЕНАЖЕР ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА СЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ НА БАЗЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

## АВТОРЫ:

РАБИНОВИЧ М. А.,  
Д. Т. Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

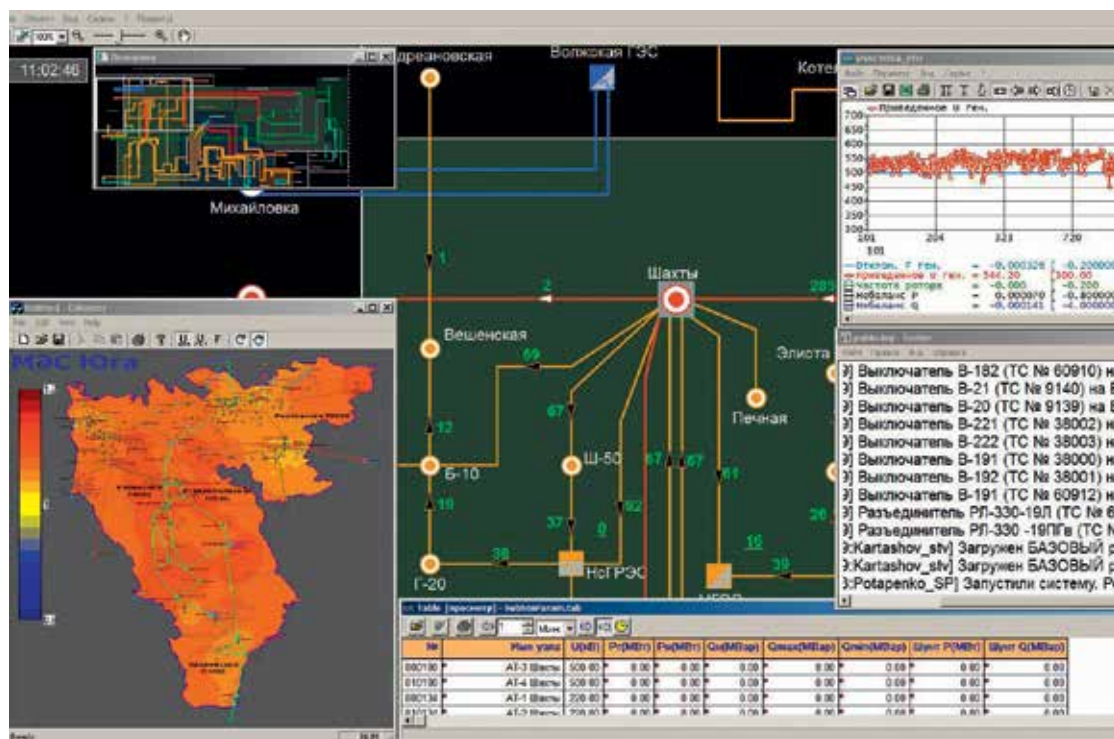
ГОЛОВИНСКИЙ И. А.,  
К. Ф.-М. Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

КАКОВСКИЙ С. К.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ПОТАПЕНКО С. П.,  
К. Т. Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

**В** процессе реформирования электроэнергетики и возникновения новых организационных структур задачи оперативного управления переключениями в сети и ее режимом серьезно усложнились. В силу этого возникла необходимость разработать новое поколение режимных тренажеров (РТ) и тренажеров оперативных переключений (ТОП). Это стало

возможным благодаря тому, что в последние годы значительно расширились технические возможности построения РТ и ТОП, решения технологических и методологических задач обучения оперативного персонала, построения систем отображения информации (рост вычислительной мощности на несколько порядков, появление средств коллективного отображения информации и т. п.).



Экранная форма  
на рабочем месте  
руководителя тренировки



Рис. 1. Тренинг персонала

ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» решает задачу построения комплекса программ управления электрическими сетями (КУЭС), составной частью которого является комплексный тренажер оперативного персонала в составе информационно связанных РТ и ТОП. КУЭС использует практически все последние достижения при построении диспетчерских тренажеров в России. Это интеллектуальная система отображения и анализа оперативной информации, коммутационная и режимная модель энергообъекта большой размерности в реальном времени, оценка состояния (ОС) сети, топологический анализ коммутационных схем и др. [1, 2]. На рис. 1 показаны рабочие места обучаемых в тренажерном комплексе «Каскад-Ретрен».

Оперативный персонал сетевых компаний в процессе управления сетью (в рамках своей компетенции) использует не только оперативно-информационный комплекс (SCADA), но и решает ряд

задач при помощи системы EMS (заявки на ремонт оборудования, анализ и контроль сети и режима по критерию N-1, оптимизация структуры сети, минимизация потерь, советчики диспетчера по оперативным переключениям и режиму и др.). Ясно, что в процессе тренировки необходимо обрабатывать не только правила оперативных переключений, но и навыки диспетчера по работе со всеми подсистемами программного комплекса.

Технологические задачи, как правило, базируются на информационно связанных режимной и коммутационной моделях ЭЭС реального времени (РВ). Все подсистемы КУЭС строятся на едином СИМ-стандарте баз данных (БД), упрощающем построение и взаимодействие задач пользователей. Существующая версия программного комплекса (ПК) реализована на локальных БД, входящих в состав отдельных подсистем.

## ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПК

В состав ПК входят коммутационная и режимная модели сетевого предприятия, объединенные общей системой управления и отображения информации. Диспетчерское управление выполняется, как правило, на уровне коммутационной схемы путем изменения состояния коммутационных аппаратов (выключателей, разъединителей и т. д.). Проверка условий и правил коммутации может быть выполнена на коммутационной модели путем ее топологического анализа. В большинстве существующих в настоящее время ТОП поведение режимных параметров практически не учитывается. Однако последствия коммутаций сказываются на режимах энергопредприятий и энергообъединения в целом, поскольку могут вызвать каскадные аварийные режимы с тяжелыми последствиями. По этой причине комплексный тренажер должен содержать модель

## ФРАГМЕНТ ОСНОВНОЙ СЕТИ МЭС НА ЭКРАНЕ ВИДЕОСТЕНЫ

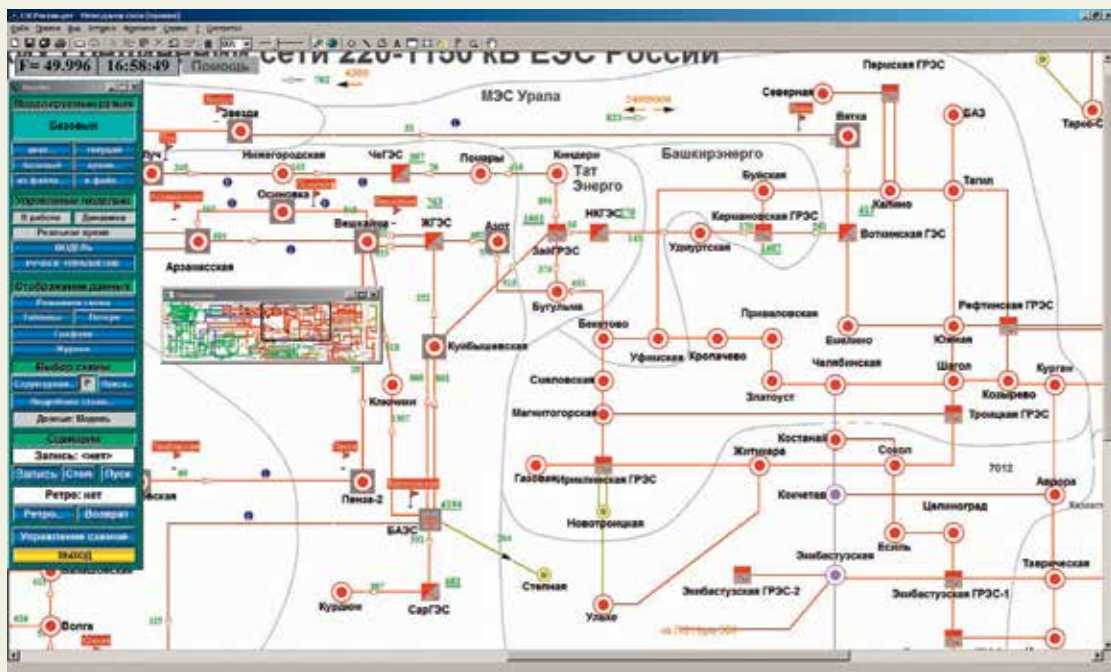


Рис. 2

режима, которая достаточно точно отражает важные с точки зрения диспетчерского управления технологические особенности. К этим особенностям относятся не только параметры установившегося режима (УР), но и переходные процессы, возникающие при коротких замыканиях (КЗ), лавине частоты и напряжения, асинхронном режиме и синхронизации. Наиболее полно указанным требованиям отвечает динамическая модель энергообъекта с учетом электромеханических и длительных переходных процессов. В ПК решается задача построения динамической модели ЭЭС РВ большой размерности, исходной информацией которой являются результат решения задачи оценивания состояния (ОС) и данные SCADA.

Сложность задачи заключается в необходимости значительного расширения размерности расчетной схемы за счет представления шин, энергоблоков и реакторов отдель-

ными узлами. Только таким образом можно организовать топологический анализ и управление моделью непосредственно с оперативной схемы и с подробных схем п/станций.

Все коммутационные операции (с выключателями, разъединителями и т. д.) обрабатываются топологическим процессором, который анализирует полную коммутационную схему энергообъединения и формирует состояние основного оборудования (ВКЛ., ОТКЛ., ПОГАШЕНО и т. д.). Эта информация поступает в темпе РВ в режимную модель, которая обрабатывает все изменения.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РТ

Несмотря на то что РТ и ТОП могут функционировать практически автономно, наибольшее правдоподобие управления сетевым объектом достигается при одновременной работе режимной и коммутационной

частей ПК. В РТ необходимо обеспечить моделирование исходных режимов, а также нормальных, утяжеленных и аварийных процессов. Исходные режимы в РТ формируются из архивов данных SCADA и системы сценариев. Система сценариев формирует также возможные ремонтные схемы и подсистемы автоматики. Отметим, что сценарии всех типов формируются по оперативной или режимной схеме сети. Пользователь на схеме (см. рис. 2) выбирает объекты (выключатели, шины, реакторы и т. д.) и задает тип и величину изменений, которые записываются в сценарий с указанием времени выполнения.

На любой стадии тренировки в ПК имеется возможность сохранить состояние коммутационных аппаратов и режимных параметров в библиотеке режимов. Далее эти режимы могут использоваться как исходные для очередной тренировки.

## СООБЩЕНИЕ ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

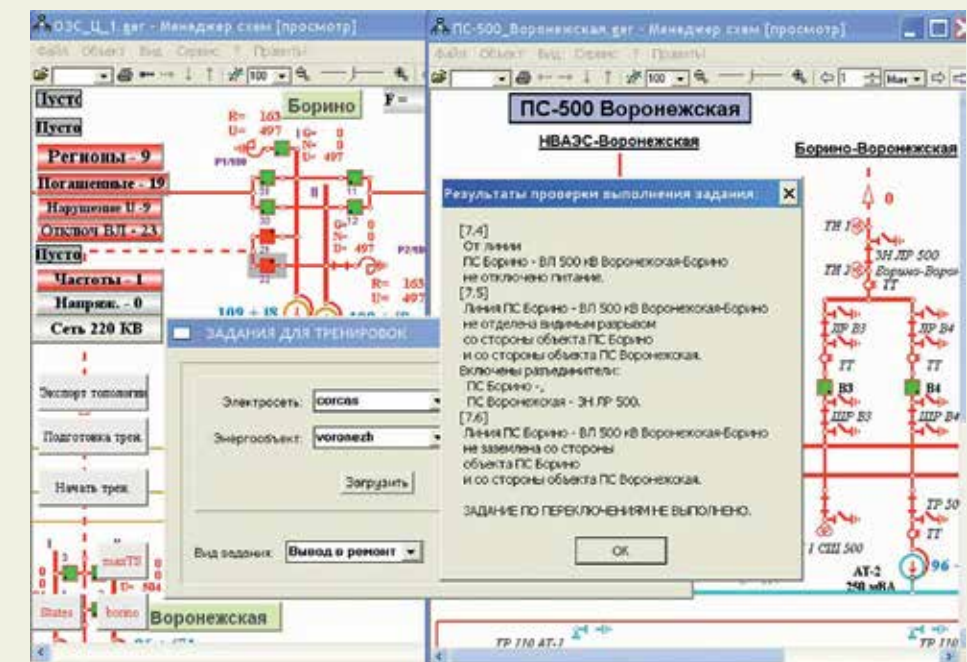


Рис. 3

Исходная информация модели задается в формате ЦДУ. Обычно этой информации недостаточно для схем большой размерности. В ПК недостающая информация для шин подстанций, блоков генерации и реакторов формируется по данным SCADA и нормативно-справочной информации (НСИ). При необходимости используются данные диспетчерской ведомости и архивная информация. Состояние топологии расчетной схемы, блоков генерации и реакторов определяется по состоянию коммутационных аппаратов (выключателей, разъединителей) в SCADA.

Исходной может быть информация о режиме расчетной схемы, полученная в рамках других программных комплексов («Растр», «Космос», «Мустанг») и данного комплекса в формате ЦДУ.

Размерность расчетной схемы неограниченна, но динамический режим РВ может поддерживаться

на типичных компьютерах для схем порядка 6000 узлов, что соответствует количеству реальных схем ФСК ЕЭС. Типичная размерность схемы уровня РДУ – 400 узлов, ОДУ – 1500 узлов. Поэтому на всех объектах внедрения комплекса удается реализовать режим РВ.

Даже в РТ все операции по управлению режимом сети выполняются на оперативной схеме энергопредприятия путем изменения состояния коммутационных аппаратов и задания генерации, нагрузки и других параметров (см. рис. 2). Именно таким образом выполняется реальное управление на рабочем месте диспетчера. При этом основное внимание уделяется контролю параметров режима, процессам синхронизации, потерям электроэнергии в сети и режиму по реактивной мощности.

Режимные тренировки могут проводиться с учетом новых средств

поддержки оперативного персонала (задача – заявка на вывод в ремонт оборудования, контроль напряжений и перетоков, расчет режима по ремонтным схемам, контроль режима по критерию N-1, помощник диспетчера по ведению режима и др.).

Так, в задаче контроль по критерию N-1 для типовой МЭС с периодом 5 минут моделируется примерно 400 (в перспективе 1000) вариантов (сценариев) возможного отключения основного оборудования. Сценарии отключения элементов оборудования могут быть достаточно сложными – от отключения одиночных ВЛ, энергоблоков или реакторов до имитации сложных каскадных аварий. Сценарии могут создаваться средствами самой задачи или непосредственно с режимной или оперативной схемы энергообъединения. Система контроля по критерию N-1 позволяет формировать несколько наборов

## ИНФОРМАЦИЯ

ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ  
ИНТЕРФЕЙС

Человеко-машинный интерфейс, или по общепринятой терминологии MMI (man – machine interface), предназначен для ввода и отображения режимной и служебной информации. Под MMI понимают комплекс программ и экранных форм, выполняющий функции связи пользователей с прикладным и системным программным обеспечением АСУ ТП или SCADA EMS.

К пользователям MMI можно отнести оперативно-диспетчерский персонал (диспетчер, оператор), персонал службы режимов, АСДУ, РЗА, телемеханики, связи и руководство ЭЭС. В комплексе КУЭС можно отображать схемы регионов и отдельные электротехнические устройства с параметрами (выключатели, разъединители, опоры ВЛ и т.д.). Окна экранных форм MMI могут отображать табличную, графическую, схемную, аварийную, сигнальную и т.п. информацию. Допускается также отображение в окнах текстовой информации и дисплейных аналогов диспетчерских приборов.

сценариев и активизировать любой из них.

В процессе тренировки диспетчер в рамках контроля по критерию N-1 получает список возможных нарушений в сети и способов их устранения.

В режиме советчика ПК контролирует нарушения предельных значений режима и выдает диспетчеру рекомендации по их устранению из набора диспетчерских инструкций с проверкой на их выполнимость по результатам моделирования. В процессе тренировки диспетчеру может быть разрешено или запрещено пользоваться вспомогательными средствами.

ПК позволяет анализировать и отображать на оперативной схеме энергообъединения и схемах подстанций состояние заявок на вывод в ремонт оборудования. В этом случае выполняется моделирование с учетом ожидаемой ремонтной схемы.

ТРЕНИРОВКИ  
ПО ОПЕРАТИВНЫМ  
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМ

В составе КУЭС предусмотрена реализация полнофункционального ТОП. В его основу положены версии тренажера по оперативным переключениям, разработанные в НТЦ ФСК ЕЭС в последние годы [3, 4]. Из них, с необходимой адаптацией, заимствованы структуры базы данных тренажера и модули проверки логических правил контроля переключений. Взаимодействие пользователя и инструктора или тренирующегося с тренажером осуществляется посредством форм человеко-машинного интерфейса ПК «Каскад», которые полностью имитируют диалог оперативного персонала в реальном управлении.

При вводе тренируемой команды на переключение коммутационного аппарата или цепи вторичного устройства логические модули тренажера проверяют, допустимо ли требуемое переключение относительно текущего состояния электросети и вторичных цепей. Эта проверка производится благодаря системе формализованных правил контроля переключений. Если проверка показала, что ни одно из правил не нарушено, команда на переключение разрешается и требуемая операция выполняется. В противном случае команда блокируется. На рис. 3 дан пример сообщения программы контроля переключений, обнаружившей нарушение правил.

Информация о разрешении команды на переключение передается тренажером в ПК «Каскад», где в соответствии с производимым переключением выполняется преобразование модели расчета динамического режима. Поскольку расчет динамической модели режима в ПК «Каскад» ведется практически непрерывно (как правило, с шагом 0,01 с), в случае разрешенной и выполненной коммутации тренирующийся наблюдает на схеме электросети изменение перетоков по линиям, напряжений на шинах и других параметров электрического режима. Таким образом, реализована синхронная работа коммутационной модели электросети с моделью динамического режима в ПК «Каскад». Специальный механизм этой информационной синхронизации позволяет избежать сколько-нибудь значительных затрат по ручному согласованию данных между режимной моделью в ПК «Каскад» и коммутационной моделью в тренажере.

Исходной информацией по топологии электросети служит ее модель в ПК «Каскад». При подготовке модели к тренировкам пользователь дает команду на экспорт топологии электросети. По этой команде

вызываются программные модули, формирующие коммутационную модель электросети в базе данных тренажера. Автоматизм информационного интерфейса между режимной и коммутационной моделями обеспечивает надежность их синхронизации. В то же время относительная независимость двух моделей друг от друга позволяет распараллелить их разработку, упростить структуру и повысить управляемость интегрированного комплекса.

Отдельная группа логических правил служит для автоматического контроля выполнения тренировочных заданий. На рис. 3 приведен пример сообщения программы контроля выполнения задания на вывод в ремонт ЛЭП. Автоматическая проверка выполнения задания может производиться по запросу тренирующегося в любой момент тренировки. Сообщения программы контроля выполнения задания играют для тренирующегося роль подсказок. Они говорят о том, какие критерии выполнения задания остаются невыполненными на текущий момент тренировки.

Правила контроля переключений и выполнения заданий в тренажере универсальны в том смысле, что каждое из них применимо ко множеству различных схем. Общее количество правил порядка 150. При применении универсального правила оно конкретизируется на основе анализа топологии схемы. Универсальные правила реализуются в тренажере «Ретрен» как встроенные, т.е. недоступные для изменений пользователем. Тем не менее пользователь сможет корректировать их действие, вводя как индивидуальные правила переключений, относящиеся к конкретным устройствам на отдельных энергообъектах, так и исключения из универсальных правил. В тренажере «Ретрен» реализуются программные средства ввода, редактирования и применения индивиду-

альных правил, а также исключений из универсальных правил.

Наиболее массовым применением тренажера по оперативным переключениям являются тренинги оперативно-диспетчерского персонала на рабочих местах и в учебных центрах. Но тренажер может применяться и в таких сферах, как обучение студентов технологии оперативных переключений, самообучение без инструктора, соревнования диспетчеров, исследовательское моделирование переключений. Поэтому наряду с основным режимом тренировок, когда команда на переключение блокируется при нарушении хотя бы одного контролируемого правила, в тренажере «Ретрен» предусматриваются и иные способы контроля команд тренируемого. В том числе:

- блокировка только тех ошибочных команд, выполнение которых может вызвать немедленную аварию. Если же нарушение правила лишь утяжеляет режим, не вызывая немедленных аварийных последствий, то сообщение о такой ошибке выводится как предупреждение и не блокирует переключение;
- контроль команд на ответственность предварительного введенному бланку (плану) переключений. Этот вид контроля отсекает лишние операции, то есть операции, которые не нарушают правила переключений, но и не ведут к цели – решению поставленной задачи переключений. При этом контролируется только состав операций, но не их очередность. Допустимую очередность контролируют правила

переключений. Тем самым обеспечивается возможность перестановок операций, допустимых по технологии переключений. Предусмотрена автоматизация составления бланков переключений, предназначенных для контроля тренировок.

Одновременно с реализацией тренажера оперативных переключений в рамках КУЭС прорабатываются методы автоматизированного контроля и планирования реальных переключений. Их основу образуют алгоритмы контроля и планирования переключений, отработанные в тренажере.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены возможности разработанного в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» универсального тренажера диспетчера сетевого предприятия, созданного с использованием современных информационных технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович М.А. Цифровая обработка информации для задач оперативного управления в электроэнергетике. – М.: Из-во НЦ ЭНАС, 2001 г.
2. Рабинович М.А. Отображение оперативной информации. Комплекс «КАСКАД-НТ 2.0». – М.: Из-во НЦ ЭНАС, 2004 г.
3. Головинский И.А., Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И. Противоаварийные тренировки на тренажере оперативных переключений с контролем стационарных режимов // Электрические станции, 2004, № 9. – с. 47–56.
4. Головинский И.А., Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И. Моделирование противоаварийного управления в ситуационно-режимных тренажерах // Электронное моделирование, Киев, 2006, № 4. – с. 89–106.