

# ТРЕНАЖЕР-СОВЕТЧИК ПО ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

АВТОР:

ГОЛОВИНСКИЙ И.А.,  
Д.Т.Н.,  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

**Ч**еткое знание оперативно-диспетчерским персоналом процедур выполнения оперативных переключений в электросетях – основа надежного функционирования всей электроэнергетической

системы страны. Постоянные тренировки с помощью специального Тренажера-советчика способствуют поддержанию знаний и умений персонала всех уровней оперативно-диспетчерского управления электрическими сетями.

**Ключевые слова:** электрическая сеть, тренажер по переключениям, советчик по переключениям, планирование переключений, правила переключений, квалификация персонала.



Компьютеризированные тренажеры позволяют быстро адаптировать диспетчерский персонал к работе на новых средствах диспетчерского управления

## ВВЕДЕНИЕ

Многофункциональный программный комплекс (ПК) «КАСКАД» поддерживает автоматизированное решение широкого круга задач оперативно-диспетчерского управления энергосистемами и электрическими сетями [1, 2]. Исторически он разрабатывался как комплекс для решения преимущественно режимных задач, но включал также средства проведения режимных тренировок для оперативно-диспетчерского персонала энергосистем [3, 4, 5]. Такое расширение круга решаемых задач привело к необходимости дополнить структуру этого ПК функциями контроля и управления переключениями в электрических сетях в соответствии с требованиями диспетчерских инструкций по переключениям [6, 7]. Предполагалось, что эти функции должны использоваться как для контроля реальных переключений, так и для тренировок персонала.

Эта задача была решена путем интеграции результатов проводившихся во ВНИИЭ (а затем в НТЦ ФСК ЕЭС) разработок по автоматизации контроля и планирования оперативных переключений в электросетях с комплексом «КАСКАД». Была создана серия тренажеров по оперативным переключениям «ТОП», «ОПТИМЭС» и «КОРВИН» [8, 9, 10, 11, 12]. Особенность этих тренажеров заключалась в реализации сложных логических блокировок операций на основе формализованных правил технологии переключений. Были выполнены также опытные разработки по автоматизации планирования переключений [13, 14]. Осуществлялась интеграция модели контроля и управления переключениями с режимными моделями [15, 16, 17] и с человеко-машинным интерфейсом АСДУ [14, 18]. Полученный опыт лег в основу интеграции модели контроля и управления переключе-

ниями с динамической моделью режима и человеко-машинным интерфейсом ПК «КАСКАД».

## НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ТРЕНАЖЕРА- СОВЕТЧИКА ПО ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМ

Обсуждаемый тренажер-советчик предназначен для проведения тренировок персонала всех уровней оперативно-диспетчерского управления электрическими сетями. Цель тренировок состоит в усвоении оперативно-диспетчерским персоналом знаний и навыков выполнения оперативных переключений в электросетях. Второе назначение тренажера – оперативное планирование переключений в электрических сетях и блокирующий контроль при их выполнении. Тренажер-советчик обладает функциями автоматического контроля (блокировки) переключений и автоматизированного оперативного планирования переключений – составления бланков переключений.

Тренировки и планирование переключений осуществляются на имитационной модели электрической сети. При переключениях производится расчет электрического режима на динамической модели режима в ПК «КАСКАД».

Автоматический контроль (с возможностью блокировки ошибочных команд) производится с помощью формализованных правил логической блокировки переключений. Эти правила выражают в формализованном виде ограничения на выполнение переключений,

содержащиеся в диспетчерских инструкциях. Если программа обнаруживает, что введенная команда противоречит правилам логической блокировки, пользователю высылается сообщение об ошибке, и операция может быть заблокирована (рис. 1). Тренажер-советчик всегда блокирует команды, не разрешенные аппаратными блокировками, – например, такими, как блокировки разъединителей с выключателями и заземляющими ножами.

Средства настройки Тренажера-советчика позволяют устанавливать блокирующий контроль для правил, предотвращающих немедленные аварийные последствия ошибочных операций, например, при включении заземляющих ножей на оборудовании, находящемся под напряжением. Однако иногда тренируемому полезно показывать вероятные последствия таких ошибок. Тренажер предусматривает предоставление такой информации.

Многие правила логической блокировки предотвращают не непосредственно вероятные аварийные ситуации, а исключают снижение надежности схемы. Для таких правил может быть задан либо блокирующий контроль, либо контроль без блокировок, только с выдачей пользователю предупреждений.

Особая группа правил служит для распознавания и контроля оперативного состояния оборудования. Эти правила используются при автоматическом контроле выполнения заданий на переключения. Они формализованно выражают определения таких оперативных состояний устройств, как «в работе», «в ремонте», «в горячем резерве» и т. п.

Тренировки персонала по оперативным переключениям выполняются с автоматическим контролем по правилам блокировки переключений и по бланкам переключений.

## СООБЩЕНИЕ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ОБ ОШИБКЕ ПРИ ОПЕРАЦИИ С РАЗЪЕДИНИТЕЛЕМ

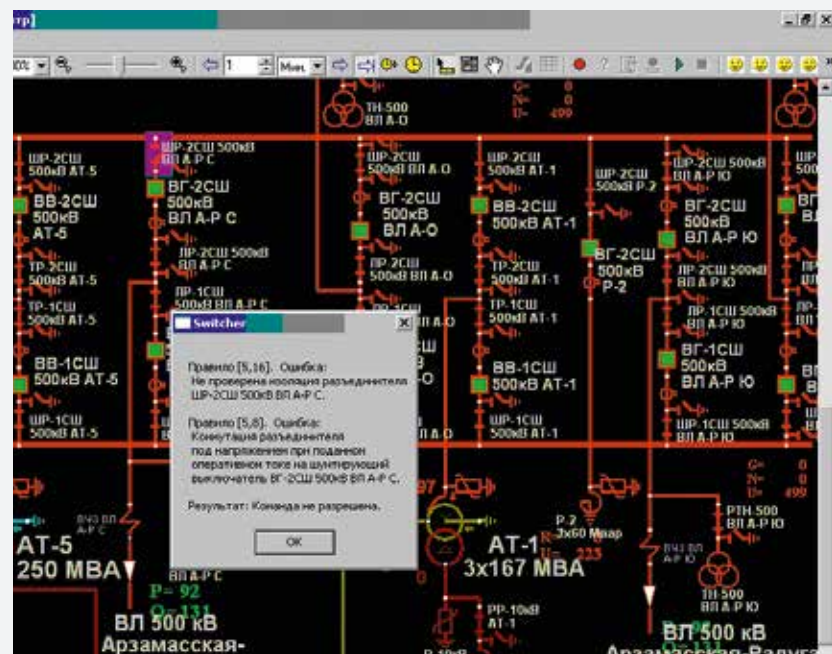


Рис. 1

Можно задавать любую комбинацию этих методов контроля, в частности только по правилам, только по бланкам, по правилам и бланкам одновременно. Бланки переключений для контроля тренировок составляют при помощи средств автоматизации оперативного планирования переключений, входящих в состав Тренажера-советчика.

## ПОДГОТОВКА ТРЕНИРОВОК И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ

Тренажер-советчик, работая в составе ПК «КАСКАД», обладает собственной имитационной моделью электрической сети. Модель содержит описание топологии

сети, положения коммутационных аппаратов и настроек управляющих устройств. Тем самым она частично дублирует основную модель электросети, входящую в структуру ПК «КАСКАД». Собственная модель электросети в Тренажере-советнике создается и обновляется путем автоматического конвертирования основной модели электросети комплекса «КАСКАД». Конвертирование производится по команде пользователя. Для этого пользователь должен определить список подстанций и линий, которые их соединяют.

Информация о положении коммутационных аппаратов загружается из основной базы данных (БД) ПК «КАСКАД» в собственную БД Тренажера-советчика непосредственно перед проведением тренировки или моделирования переключений. В ПК «КАСКАД» эта информация

может быть получена различными способами:

- по запросу из оперативной БД информационно-управляющего комплекса SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных);
- путем циклического обновления из оперативной БД комплекса SCADA;
- из архива состояний электросети.

В ПК «КАСКАД» текущие данные, полученные из БД SCADA, могут быть скорректированы по результатам решения задачи «Оценка состояния».

В настоящее время информация о текущем положении и настройках устройств защиты и автоматики вводится в БД Тренажера-советчика вручную. В дальнейшем предполагается получать ее автоматически из БД SCADA.

Для каждой тренировки (и/или задачи моделирования переключений) формируется два набора данных: 1) исходные положения всех переключаемых первичных и вторичных устройств имитационной модели; 2) текущие их положения.

Когда тренировку (или моделирование) нужно начать сначала, в рабочую область Тренажера-советчика загружается первый из этих наборов данных. Если незавершенные переключения необходимо прервать, чтобы продолжить их впоследствии, то текущее состояние имитационной модели сохраняется во втором наборе данных. Последний загружается в рабочую область Тренажера-советчика при возобновлении прерванных ранее переключений. Тренировку можно прерывать в любой момент и затем возобновлять ее выполнение с точки прерывания.

## ОТОБРАЖЕНИЕ ПРОТОКОЛА ТРЕНИРОВКИ, С РАСКРЫТИЕМ СООБЩЕНИЙ О НАРУШЕНИЯХ ПРАВИЛ ЛОГИЧЕСКОЙ БЛОКИРОВКИ

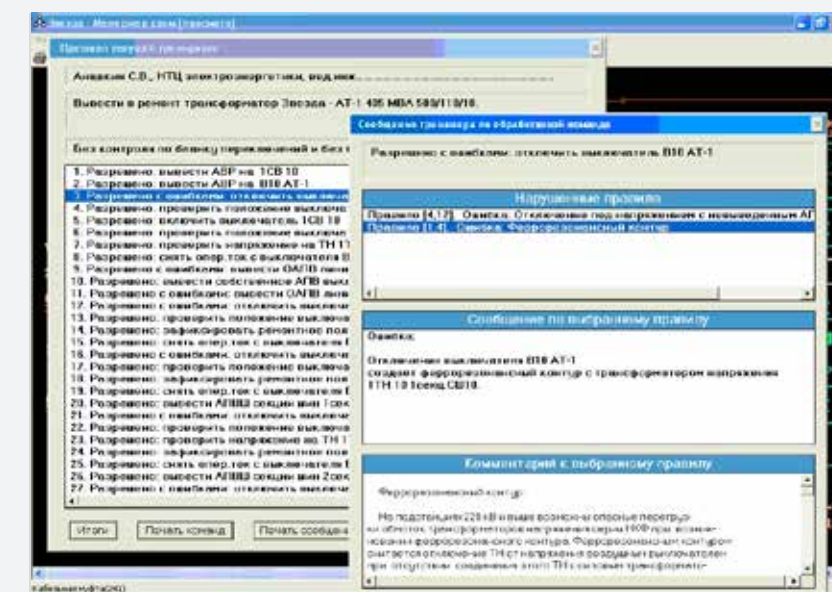


Рис. 2

Таков в общем виде порядок подготовки данных для имитации переключений в Тренажере-советчике. Перед их началом пользователь должен задать также:

- цель переключений: электроустановку (ЛЭП, силовой (авто)трансформатор, секцию шин, выключатель, участок сети) и целевое оперативное состояние, в которое требуется ее перевести («в работу», «в ремонт», «восстановить после аварии» и др.);
- вид контроля операций: только по бланку переключений, только по правилам блокировки, только по бланку и по правилам;
- характер реакций на ошибки: блокировка операций по всем видам ошибок или только по наиболее опасным.

## ТРЕНИРОВКА. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Команды на переключения и на проверочные операции вводятся пользователем через меню, привязанные к элементам электрической схемы электростанции или подстанции. Все команды тренируемого (и реакции на них Тренажера-советчика) автоматически регистрируются в протоколе тренировки. Если во время тренировки открыто окно просмотра протокола, то процесс тренировки отображается в этом окне по мере ввода тренируемым команд и их обработки тренажером (рис. 2). Тренируемый может раскрыть в протоколе подробную информацию о любой введенной команде. Если программой были обнаружены противоречия команды правилам блокировки, тренируемый

увидит подробную информацию об этом. По каждому нарушенному правилу будет отображено его содержание (на рис. 2 — «Сообщение по выбранному правилу») и технологическое обоснование («Комментарий к выбранному правилу»).

Если для тренировки задан контроль по бланку переключений, тренируемый может открыть окно этого бланка и следить по нему, какие операции из бланка он выполнил, а какие — нет. Невыполненные операции отмечены знаком «-». При выполнении операции эта пометка заменяется на знак «+».

В любой момент тренировки оператор, проходящий эту процедуру, может запросить информацию о выполнении задания на трени-

ровку. Для обработки такого запроса Тренажер-советчик применяет правила контроля оперативного состояния оборудования. В результате формируется сообщение о том, какие критерии целевого состояния тренировки не выполнены. Если тренировка контролируется по бланку переключений, то тренируемому сообщается также список номеров невыполненных операций по бланку.

По тому же запросу отображаются текущие статистические показатели тренировки: затраты времени на выполненную ее часть, суммарное число введенных команд, количество ошибочных команд, количество аварийных нарушений. При контроле тренировки по бланку переключений сообщается также количество невыполненных операций бланка.



## РЕДАКТИРОВАНИЕ БЛАНКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ

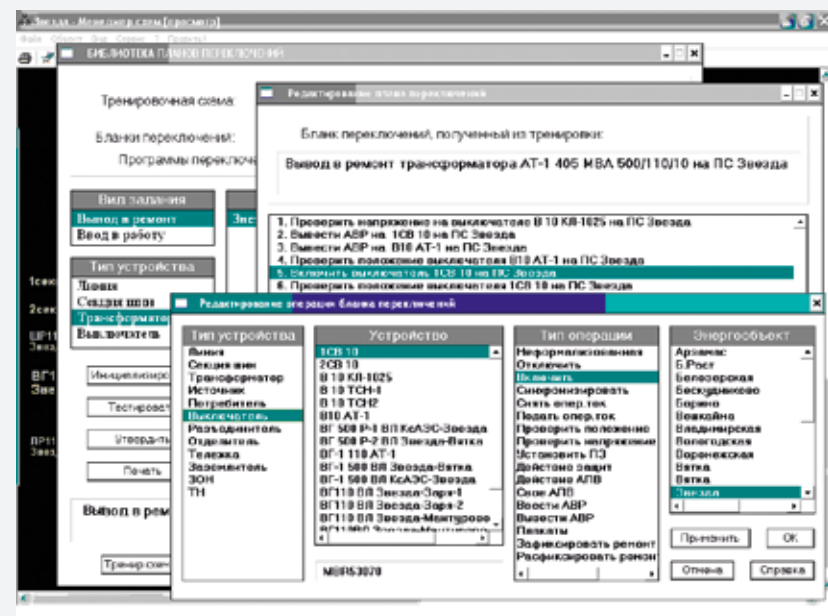


Рис. 3

## ФОРМИРОВАНИЕ БЛАНКОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ

Основными формами представления информации по оперативному управлению переключениями являются программы и бланки переключений. В Тренажере-советчике ПК «КАСКАД» бланки переключений служат для контроля тренировок и выполнения по ним реальных переключений. Программы переключений рассматриваются как обобщенные представления бланков переключений. Тренажер-советчик обладает средствами автоматизированного составления программ и бланков переключений, которые основаны на следующих принципах:

1. Автоматическое получение начальной заготовки бланка (программы) переключений.

2. Редактирование вручную полученного предварительного бланка (программы) переключений в специальной программе-редакторе.

3. Тестирование полученного бланка (программы) переключений с применением правил логической блокировки.

Начальная заготовка бланка (программы) переключений может быть получена одним из двух методов:

- автоматическим развертыванием на основе типовых правил планирования переключений;
- «очисткой» протокола успешного выполнения задания на переключения.

Суть первого метода состоит в том, что пользователь задает цель переключений, после чего производится автоматическое развертывание бланка (программы) переключений на основе типовых правил нисходящего планирования оперативных

переключений. Это осуществляется посредством автоматической конкретизации типовых операций применительно к схемам присоединений на основе анализа их топологии.

Второй метод состоит в том, что задание на переключения выполняется в режиме тренировки с контролем только по правилам блокировки переключений. После успешного выполнения задания из протокола тренировки автоматически удаляются заблокированные ошибочные команды и повторяющиеся лишние пары взаимобратных переключений.

Программа-редактор бланков (программ) переключений позволяет добавлять команды, редактировать и удалять их. Пример сочетания используемых здесь панелей диалога приведен на рис. 3.

Тестирование бланка переключений производится путем его прогона в режиме тренировки с контролем по правилам блокировки. Если бланк «сырой» и в нем ожидается большое число ошибок, то блокировка операций устанавливается только относительно наиболее опасных ошибок. При окончательном тестировании бланка переключений устанавливается блокировка по всем ошибкам.

Процедура диалогового редактирования с последующим тестированием бланка (программы) переключений должна повторяться циклически до достижения безошибочного результата тестирования.

При автоматическом развертывании заготовок бланков переключений необходимо знать типы присоединений с каждой стороны того устройства, для которого формируется бланк переключений. При этом возникает проблема автоматического распознавания структурных

## УКАЗАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ ТИПОВ ПРИСОЕДИНЕНИЙ (АВТО) ТРАНСФОРМАТОРА

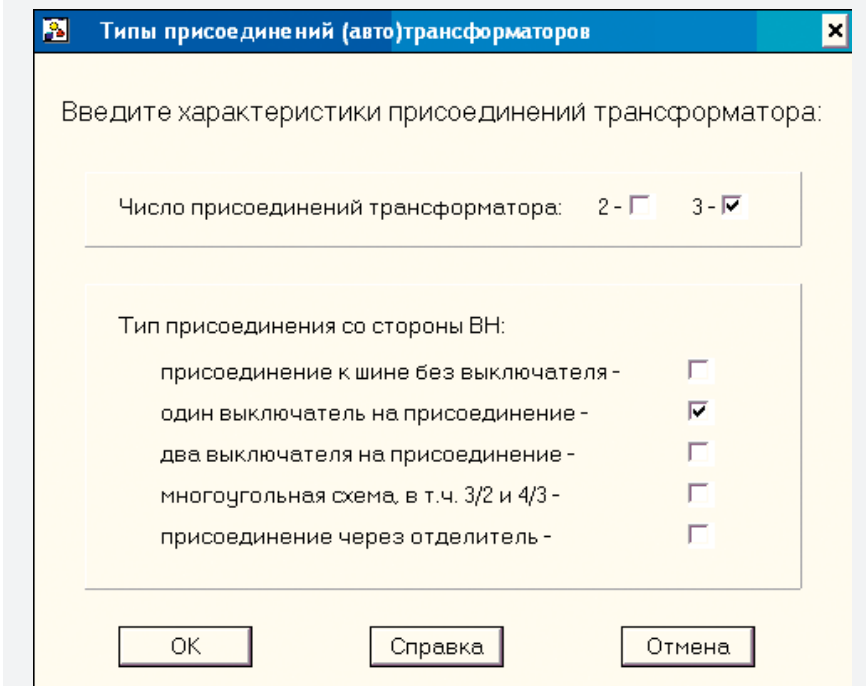


Рис. 4

типов топологии присоединений устройства – типов схем присоединений устройства к шинам через коммутационные аппараты.

Следует отметить, что на подстанциях ЕНЭС России встречаются такие нестандартные схемы присоединений, которые невозможно отнести к тому или иному типу топологии посредством логических определений, основанных на анализе топологии. Распознавание структурных типов таких присоединений не поддается алгоритмизации и автоматизации. В связи с этим в Тренажере-советчике реализовано комбинированное решение. Сначала производится пробное автоматическое распознавание структурного типа присоединения путем анализа топологии схемы. Затем пользователю предлагается подтвердить или изменить установленный программой тип присоединения (рис. 4). Тем самым осуществляется взаимный контроль правильности распознавания топологического типа присоединения с точки зрения формальных правил и с точки зрения визуального человеческого восприятия.

## РЕДАКТИРОВАНИЕ И НАСТРОЙКА ПРАВИЛ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ

Логика и технология оперативных переключений формализована в Тренажере-советчике в виде баз знаний — классов формализованных правил. Основных классов три:

- правила логической блокировки;
- правила планирования переключений;
- правила контроля оперативного состояния оборудования.

Правила каждого класса подразделяются на типовые и индивидуальные (специальные). Типовые правила выражают требования типовых инструкций по переключениям в электросетях [6, 7]. Они формулируются в терминах типов устройств без указания конкретных устройств. Пример типового правила логической блокировки: «Запрещено переключение разъединителя под нагрузкой без шунта». При применении типового правила производится его автоматическая конкретизация на основании анализа топологии электросети и другой информации, содержащейся в базе данных по оборудованию. Индивидуальные правила выражают местные и временные условия. Каждое индивидуальное правило относится только к одному устройству электросети. Конкретизация типового правила означает

его преобразование в индивидуальное правило.

Система управления правилами в Тренажере-советчике обладает средствами ввода, редактирования и настройки правил. Типовые правила по своей логической структуре намного сложнее индивидуальных правил. В обсуждаемой версии Тренажера-советчика пользователю предоставлены средства настройки некоторых параметров типовых правил, однако без возможности всеобъемлющего их редактирования.

Для индивидуальных правил блокировки в составе Тренажера-советчика имеется полнофункциональный редактор, позволяющий определять в этих правилах любую логическую структуру условий. Эта структура сводится к тому, что для конкретного устройства электри-

ческой сети и производимой на нем операции задается сочетание состояний других устройств, запрещающее (или разрешающее) данную операцию. На рис. 5 показана процедура редактирования индивидуального правила блокировки посредством диалога в соответствующем редакторе. Комбинации разных способов описания условий в редакторе индивидуальных правил позволяют задать любую Булеву функцию (образованную логическими связками «И», «ИЛИ» и «НЕ») от значений переменных атрибутов устройств.

Типовые правила логической блокировки реализованы в данной версии тренажера как встроенные. Их количество составляет примерно 150 (точная цифра зависит от метода подсчета). Пользователь может редактировать некоторые параметры типовых правил. Он может, например, менять значение штрафа, начисляемого тренажером за нарушение типового правила блокировки, или менять список типов операций, контролируемых данным типовым правилом, т. е. удалять это правило из набора типовых правил, контролирующих операцию того или иного типа (например, операцию типа «отключить выключатель»), и возвращать в этот набор. Удаление типового правила из набора, контролирующего тип операции, не затрагивает контроль этим правилом других типов операций (например, «отключить разъединитель» или «отключить заземляющие ножи»). На рис. 6 показан набор типовых правил блокировки, контролирующих операцию отключения выключателя. Знаком «+» помечены действующие правила, знаком «-» – правила, действие которых на данный момент отменено.

Для каждого типового правила блокировки пользователь может составить список исключений. Для

## РЕДАКТИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРАВИЛ БЛОКИРОВКИ ОПЕРАЦИЙ

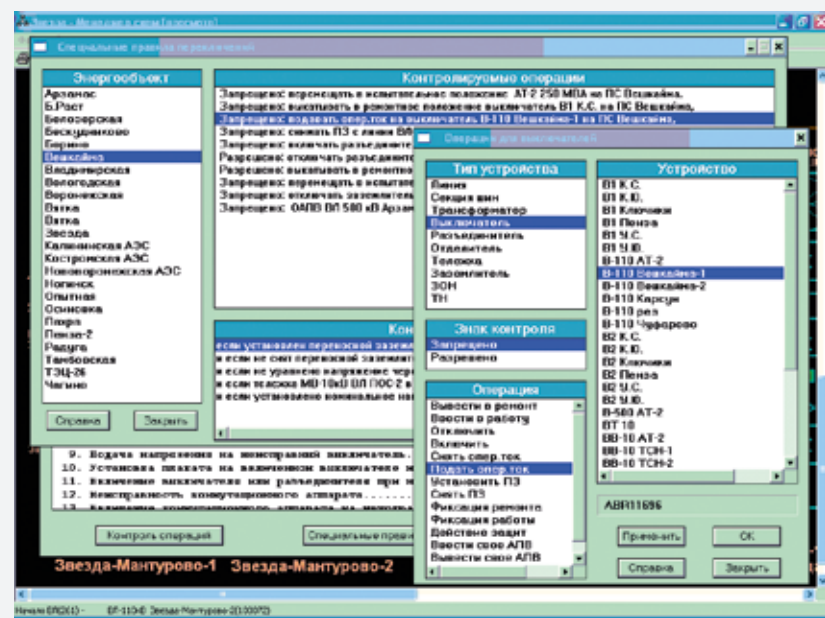


Рис. 5

## ДОБАВЛЕНИЕ И УДАЛЕНИЕ ПРАВИЛ ИЗ СПИСКА ТИПОВЫХ ПРАВИЛ БЛОКИРОВКИ ОПЕРАЦИИ

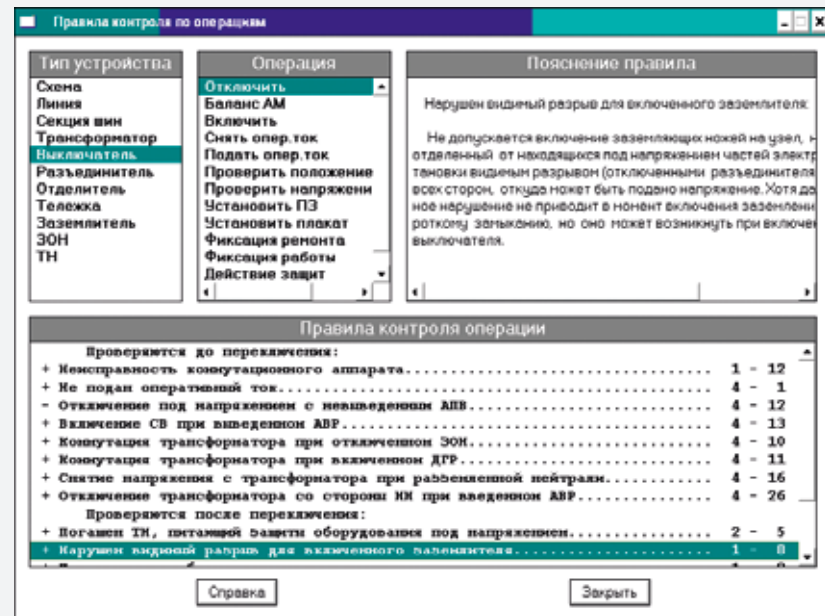


Рис. 6

этого он указывает устройства, при операциях с которыми данное правило не должно применяться. Если для устройства задано исключение действия типового правила блокировки, то это правило не будет применяться при контроле операций на данном устройстве.

Аналогичные средства настройки и редактирования имеются также и для типовых правил контроля оперативного состояния оборудования. Они образуют гибкий аппарат задания целей переключений. В тренировках и при планировании переключений цель операций определяется указанием электроустановки и набора критериев требуемого целевого ее состояния. Пользователь может назначить совокупность типовых критериев соответственно виду задания на переключения («вывод в ремонт», «ввод в работу» и т.п.), а при необходимости – дополнительно ввести индивидуальные критерии и исключения из типовых критериев.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович М.А., Парфенов Д.М. Программный комплекс КАСКАД для оперативно-диспетчерского персонала ЭЭС и энергообъединений. // Вестник ВНИИЭ-96, — М.: ЭНАС, 1996, с. 98–102.
2. Рабинович М.А. Отображение оперативной информации. Комплекс «КАСКАД-НТ 2.0». — М.: ЭНАС, 2004. — 541 с.
3. Дьяков А.Ф., Моржин Ю.И., Рабинович М.А. Режимный тренажер «КАСКАД» для диспетчера энергосистем и энергообъединений. — М.: Изд-во МЭИ, 1996. — 166 с.
4. Рабинович М.А., Девяткин М.В., Сергеев С.Н., Потапенко С.П. Конструктор режимных тренажеров для оперативно-диспетчерского персонала ЭЭС и энергообъединений. // Управление режимами Единой энергосистемы

5. России: Сборник докладов Открытой Всероссийской научно-технической конференции. — М.: Изд-во ЭНАС, 2002, с. 266–271.
6. Рабинович М.А., Моржин Ю.И., Потапенко С.П., Девяткин М.В., Тюрин М.Н. Конструктор режимных тренажеров РЕТРЕН на основе динамической модели электроэнергетической системы в реальном времени. // Электронное моделирование, № 28 (5), 2006, с. 95–116.
7. Инструкция по переключениям в электроустановках. СО 153-34.20.505-2003. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. — 96 с.
8. Инструкция по производству переключений на подстанциях ОАО «ФСК ЕЭС». — М., 2008. — 102 с.
9. Купершмидт Ю.Я., Любарский Ю.Я., Орнов В.Г. Принципы построения универсального программируемого тренажера оперативных переключений. // Электрические станции, 1982, № 11, с. 48–52.
10. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы для автоматизации деятельности и тренажа оперативного персонала в энергосистемах. // Электрические станции, 1994, № 9.
11. Дьяков А.Ф., Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И. и др. Интеллектуальные системы для оперативного управления в энергообъединениях. - М.: Издательство МЭИ, 1995. - 240 с.
12. Белобжеская Л.А., Головинский И.А., Любарский Ю.Я. Интеллектуальные тренажеры оперативных переключений. — «Вестник ВНИИЭ-96», — М.: ЭНАС, 1996, с. 105–107.
13. Головинский И.А., Куклев В.И. Универсальные тренажеры оперативных переключений. // Электрические станции, 2001, № 11, с. 2–8.
14. Автоматическое составление бланков переключений энергообъектов. / Ю.Я. Купершмидт, Ю.Я. Любарский, С.В. Машинский, В.М. Михельзон, Л.В. Росман, М.З. Френкель. // Электрические станции, 1984, № 9, с. 8–12.
15. Головинский И.А. Электронный советчик диспетчера по переключениям в электросетях — ЭСПЕР. // Девятый специализированный научно-технический семинар-выстав-

## ИНФОРМАЦИЯ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЯМИ

С целью повышения надежности передачи электроэнергии за счет автоматизации оперативно-технологического управления ЦУС ОАО «ФСК ЕЭС» оснащаются программными комплексами, позволяющими автоматизировать многие процессы, включая и производство переключений.

ка «Современные средства сбора, передачи, обработки и отображения информации на объектах электроэнергетики»; сборник докладов. — М.: ДиалогЭлектро, 2008, с. 87–91.

15. Головинский И.А. КОРВИН — тренажер оперативных переключений с расчетом потокараспределения. // Вестник ВНИИЭ-98, — М.: ЭНАС, 1998, с. 127–132.
16. 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.
17. Головинский И.А., Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И. Моделирование противоаварийного управления в ситуационно-режимных тренажерах. // Электронное моделирование, № 28 (4), 2006, с. 89–106.
18. Головинский И.А., Привалов В.И., Крупа И.В. Интеграция коммутационно-режимного тренажера с комплексом АСДУ. // Шестой специализированный научно-технический семинар-выставка «Современные средства телемеханики, организация рабочих мест и щитов управления». Информационные материалы. — М.: ЭНАС, 2005.