

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**2.4.3. Электроэнергетика**

Научная статья

УДК 621.311.4-52

DOI 10.37493/2307-907X.2023.3.1

**ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ
ПРОГРАММ И БЛАНКОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ****Головинский Илья Абрамович**

Рассматривается задача автоматизации составления программ и бланков переключений в электрических сетях. Анализируются причины неудач попыток ее решения, предпринимавшихся на протяжении 40 лет. Выделены три группы причин: неполнота баз данных, недостаточная формализация технологии переключений, неоптимальное распределение функций между составителями. Отмечено достигнутое устранение первой группы причин; предлагается концепция решения проблем второй группы; анализируется третья группа. Для второй группы обосновывается необходимость представления типовых последовательностей (сценариев) переключений на специальном формализованном языке, вне кодов компьютерных программ. Описываются принципы этого языка и методы конкретизации формализованных сценариев.

Ключевые слова: переключения в электрических сетях, программа переключений, бланк переключений, планирование переключений, правила переключений, блокировки переключений, автоматизация планирования операций

**AUTOMATION PROBLEMS OF SWITCHING OPERATIONS PLANNING
IN ELECTRICAL NETWORKS****Ilya Golovinskii**

The paper considers the problem of automating creation of the switching operations plans in electrical networks. The study analyzes the causes for the failures of attempts to solve it, which have been made for 40 years. Three groups of causes are specified: incompleteness of databases, insufficient formalization of switching technology, non-optimal partition of functions between participants of planning. The achieved overcoming of the first group of causes is noted; the framework for solving the problems of the second group is proposed; the third group is examined. For the second group, the article substantiates the necessity of presenting generalized sequences (scenarios) of the switching operations in a special formalized language, outside the codes of computer programs. The principles of this language and the methods of concretizing formalized scenarios are proposed.

Key words: switching operations in electrical networks, switching plan, switching program, switching operations planning, switching rules, interlocks of switching, operations planning automation

Введение / Introduction. В целях обеспечения правильности и безопасности выполнения сложных оперативных переключений в первичных и вторичных цепях электрических сетей Российской Федерации эти операции производятся по заранее составленным планам – программам и бланкам переключений. Бланки переключений содержат наиболее детальные перечни операций. Программы переключений менее детализированы. Уровень детализации программы переключений определяется в организации, где эта программа составляется и применяется.

При производстве сложных переключений в штатных режимах использование программы или бланка переключений обязательно. Простые переключения производятся без программ и бланков. Также без программ и бланков разрешается выполнять переключения в целях предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима. В этом случае использование

программ и бланков невозможно в силу непредсказуемости нештатных ситуаций. Программы и бланки переключений необходимы также для тренировок оперативно-диспетчерского персонала на тренажерах.

Подготовка программ и бланков переключений является ответственной технологической задачей. Порядок их составления, проверки, согласования и утверждения строго регламентирован нормативно-техническими документами (НТД) [1; 2].

Программы и бланки переключений в электроустановках формируются путем конкретизации типовых последовательностей операций, которые приведены в НТД по оперативным переключениям [1; 2]. Эти типовые последовательности будем называть более коротко сценариями переключений. Сценарий является обобщенным планом переключений, программы и бланки – конкретизированными планами. Составление программ и бланков переключений будем называть планированием оперативных переключений. Решение какой-либо задачи управления электроустановками, выполняемое путем изменения конфигурации схемы электроснабжения, будем называть процедурой переключений.

Описанные в НТД сценарии переключений выглядят достаточно формализованными. Это давно подсказывало идею автоматизировать процесс составления программ и бланков переключений. Положительный эффект ожидался за счет уменьшения трудозатрат и кардинального сокращения продолжительности планирования операций. В нештатных ситуациях эта автоматизация могла бы обеспечивать составление программ и бланков переключений в реальном времени.

► **1. Постановка задачи.** Простейший уровень автоматизации составления программ и бланков реализуется посредством программы-редактора, позволяющей пользователю формировать их содержание вручную, выбирая операции из списка их типов, а элементы, на которых операции выполняются, – на схемах подстанций. Создаваемые таким методом формализованные программы и бланки переключений хранятся в соответствующей электронной библиотеке. Подобные программные средства поставляются российскими и зарубежными разработчиками.

Эта элементарная форма автоматизации принципиально не меняет технологию составления программ и бланков переключений, хотя представление их в электронном виде дает ряд преимуществ, в том числе возможность автоматизации выполнения переключений. На этом уровне остается нереализованной более глубокая автоматизация, когда содержание программ и бланков переключений не вводится вручную, а развертывается автоматически. Далее в статье идет речь именно о такой автоматизированной технологии. Будем называть ее генерацией планов переключений.

Постановка этой задачи была разработана еще в 1970-е гг. в институте «Энергосетьпроект» [3; 4]. С тех пор неоднократно предпринимались попытки ее решить [5–8]. Однако до сих пор ни одна из разработок широкого практического применения не получила.

Необходимо разобраться в причинах этих неудач. Рассматриваемая проблема остается актуальной в российской электроэнергетике. Она формулируется в НТД, присутствует в обсуждениях среди разработчиков и пользователей АСДУ [9, пп. 5.1, 6.1, 6.3, 7.2.8; 10, п. 5.6.3.1]. Однако пути ее решения не вполне ясные.

Обобщенно можно указать три типа причин, препятствовавших практическому решению задачи автоматического составления планов переключений.

- I. Неполнота моделей электросетей в базах данных автоматизированных систем оперативно-диспетчерского управления (АСДУ).
- II. Завышенная оценка степени формализованности правил и сценариев переключений, представленных в НТД.
- III. Неоптимальное (с точки зрения автоматизации) распределение между исполнителями работ по планированию оперативных переключений.

Назовем эти три группы препятствий проблемами I, II и III. За десятилетия, прошедшие от начала попыток автоматизации составления программ и бланков переключений, проблема I была в принципе решена благодаря прогрессу информационных технологий в целом и в электроэнергетике в частности. Но проблемы II и III ни в какой мере не отступили. В настоящей статье предлагается схема решения проблемы II и кратко анализируется проблема III.

► **2. Стратегии переключений.** Программа переключений формируется путем конкретизации соответствующего сценария. Бланк переключений создается либо тоже на базе сценария, либо детализацией программы переключений. Получается иерархия планов, развертываемых в нисходящей последовательности «сценарий → программа → бланк». Сюда следует добавить еще один уровень сверху, который можно назвать уровнем стратегий переключений. В стратегии фиксируются основные этапы процедуры переключений, определяемые общими условиями задачи. В НТД стратегии фактически учитываются, но концептуально не выделены. С добавлением уровня стратегий иерархия нисходящего развертывания планов переключений будет такой:

стратегия → сценарий → программа → бланк

Каждая стратегия определяется прежде всего типом задач переключений (видом работ) и типом главной для данной стратегии электроустановки. К типам задач переключений относятся: вывод оборудования в ремонт; ввод в работу из ремонтного состояния; ввод в работу из резерва (горячего или холодного); оперативное восстановление электроснабжения при аварийном погашении части оборудования; ввод / вывод устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) и др. Под главной для стратегии электроустановкой понимается та, к которой логически отнесены все операции. Типами главных электроустановок могут быть: линия электропередачи (ЛЭП), силовой трансформатор, секция шин (СШ), генераторный блок, шунтирующий реактор, выключатель, разъединитель, измерительный трансформатор, устройство РЗА.

Кроме того, стратегии различаются особенностями последовательностей переключений, например:

- разрешение / запрет на кратковременное отключение питания потребителей во время выполнения операций переключения;
- в случае запрета на погашение потребителей – сборка либо ненадобность временной альтернативной схемы, обеспечивающей бесперебойность питания потребителей во время операций;
- выполнение / ненадобность кратковременных переключений примыкающего силового оборудования; и т. п.

К одной стратегии может относиться множество сценариев переключений, которые различаются типом топологии схемы и ее исходным состоянием. Например, сценарии переключений по выводу в ремонт ЛЭП, охватываемые единой стратегией, различаются (со стороны одной подстанции) по числу выключателей на присоединение ЛЭП к шинам: 1/1, 2/1, 3/2 и т. п. Для всех этих типов присоединений ЛЭП к системе шин сценарии будут разные.

Самые простые стратегии описывают процедуры переключений без сборки временной альтернативной схемы и без кратковременных отключений примыкающего оборудования. Подобная стратегия по выводу устройства в ремонт обычно состоит из следующих этапов работ:

- отключение выключателей;
- отключение разъединителей (создание видимого разрыва);
- корректировка настроек РЗА;
- включение заземляющих устройств;
- подготовка места ремонтных работ.

Более сложный пример представляет стратегия вывода в ремонт выключателя ЛЭП с переводом этой ЛЭП на обходную шину. Она требует сборки альтернативной схемы на все время ремонта. Её образуют этапы работ:

- опробование альтернативной схемы;
- сборка альтернативной схемы и перевод на нее ЛЭП;
- разборка основной схемы;
- корректировка настроек РЗА;
- заземление ремонтного выключателя;
- подготовка места ремонтных работ.

► **3. Сценарии переключений.** Одна из причин неудач предпринимавшихся попыток автоматизировать планирование переключений заключалась в непонимании необходимости сценариев. Описание системы сценариев занимает в НТД десятки страниц. Разработчиков эта громоздкость, видимо, отпугивала, и они пытались заменить ее более простыми правилами технологии переключений, вытекающими прямо из стратегий. Однако этот путь вел к необходимости охватить одним алгоритмом сразу все сценарии, относящиеся к одной стратегии, с учетом всех возможных вариантов топологии схем. Идея вместить в один алгоритм анализ топологии присоединений всех возможных типов оказалась несостоятельной. Такие сложные алгоритмы не удавалось даже написать до конца.

Наиболее употребительные сценарии переключений представлены в общеотраслевых НТД. Наряду с ними в энергокомпаниях применяются сценарии, учитывающие местные условия.

Сценарий состоит из заголовка, описывающего задачу переключений, и основной части, представляющей перечень операций. В заголовке указываются стратегия и топологический тип схемы, к которой относится сценарий. Характеризуется также состояние схемы перед началом переключений. Примеры заголовков сценариев переключений из НТД: «Вывод в ремонт ЛЭП с двумя выключателями на присоединение»; «Ввод в работу выключателя 110 кВ и выше присоединения, отключавшегося на все время его ремонта, при схеме электроустановки с одним выключателем на цепь»; «Перевод всех присоединений, находящихся в работе, с одной системы шин на другую с помощью шиносоединительного выключателя в электроустановках с фиксированным распределением присоединений по системам шин». В последнем сценарии в качестве главной электроустановки можно принять любую из двух систем шин, о которых в нем говорится.

Перечень операций в сценарии состоит из последовательности пунктов. В них устройства, на которых выполняются операции, конкретизируются не полностью. Указывается тип устройства и (при необходимости) его роль в схеме: например, для выключателя – «шиносоединительный», или «секционный», или «обходной». Обязательно указывается отношение этого устройства к главной электроустановке сценария. Оно может задаваться либо как определенное топологическое отношение непосредственно к главной электроустановке, либо через другие элементы схемы, отношение которых к главной электроустановке определено в предшествующих пунктах сценария. По этим данным при развертывании сценария в программу или бланк переключений производится конкретизация устройств.

► **4. Формализация сценариев переключений.** Автоматизация развертывания сценариев в программы и бланки переключений может осуществляться двумя путями. Первый – закодировать все сценарии непосредственно в компьютерных программах, «зашить» их в кодах программ [8; 11]. Второй – записать сценарии по единой формализованной структуре на специальном языке и разработать программу, которая по заданной пользователем главной электроустановке преобразует такой формализованный сценарий в программу или бланк переключений, используя модель электросети в базе данных АСДУ. Во втором варианте технолог, использующий АСДУ, мо-

жет вносить изменения в сценарии и пополнять новыми сценариями их библиотеку. На практике такой метод ещё не применялся. В первом варианте вносить изменения в сценарии и добавлять новые могут только разработчики АСДУ.

Исторический опыт попыток автоматизации составления программ и бланков переключений убеждает в тупиковости первого пути. «Защитить» в кодах один сценарий или небольшое их количество не так сложно. Это порождает у разработчиков АСДУ иллюзорное ожидание отсутствия дополнительных осложнений при решении проблемы в целом. Однако главная трудность состоит как раз в том, чтобы охватить все разнообразие сценариев, в том числе местных, и не только существующих, но также возможных в перспективе. Уже для тех только сценариев, которые описаны в НТД, требуются программные коды такого объема, написание и отладка которых превосходит возможности существующих российских разработчиков АСДУ. К тому же происходящие с течением времени изменения в технологии переключений, в типах оборудования требуют периодического пересмотра сценариев. Соответствующая корректировка наработанной массы программных кодов с их повторным тестированием практически нереальна.

При втором подходе трудности распределяются между программистами и технологами. Составление и обновление сценариев, ответственность за их содержательную корректность, возлагается полностью на технологов. Они должны освоить редактор сценариев переключений, который должен быть включен в состав АСДУ. Разработчикам АСДУ придется лишь изредка дополнять библиотечные функции в программе конкретизации формализованных сценариев, когда в последних будут появляться новые типы отношений между элементами схем.

В НТД один пункт сценария может охватывать несколько операций. При формализации сценария каждая операция должна быть представлена отдельным пунктом. Этот пункт можно рассматривать как семантическую формулу. Входящие в нее переменные представляют не числа, а смысловые элементы – значения терминов. Составляющими формулы являются:

- тип операции («включить», «отключить», «ввести», «вывести», «перевести», «проверить» и т. п.);
- тип элемента схемы, на котором выполняется данная операция (выключатель, разъединитель, ДЗШ, токовая цепь устройства защиты и т. п.);
- отношение элемента схемы, на котором выполняется операция, к главной электроустановке процедуры переключений или к другому элементу схемы, отношение которого к главной электроустановке определено в одном из предшествующих пунктов сценария.

Пусть X – элемент схемы, на котором производится операция, описываемая пунктом сценария. В этом пункте для определения элемента X должно быть указано отношение $R(X, D)$, где D – другой элемент схемы, определенный ранее. Элемент D может быть главной электроустановкой сценария или другим элементом схемы, который определенным образом соотносится с главной электроустановкой. Элемент X конкретизируется на основании отношения $R(X, D)$.

Отношение $R(X, D)$ может определять по заданному D несколько однотипных элементов X . Например, пусть D – секция шин, а отношение $R(X, D)$ означает « X есть шинный разъединитель секции шин D ». Тогда при конкретизации данного пункта сценария получится несколько однотипных пунктов в бланке переключений. Они будут описывать однотипные операции на нескольких шинных разъединителях.

В базе данных управляющего комплекса отношение $R(X, D)$ может быть представлено одним из двух способов: либо как атрибут устройства D , либо как некоторое топологическое отношение X к D . Первый способ применяется обычно для описания вторичных устройств, их разновидностей и атрибутов. Например: «ДЗШ секции шин СШ1». Второй способ применяется, когда отношение $R(X, D)$ определяется топологией: «выключатель присоединения ЛЭП Л1 к СШ1», «разъединитель трансформатора Т1 со стороны высшего напряжения», «трансформатор напряжения на присоединении ЛЭП Л1» и т. п.

Возможны более сложные топологические отношения. Например, отношение обходного выключателя (ОВ) X к выключателю D присоединения ЛЭП в сценарии вывода в ремонт выключателя D с переводом данной ЛЭП на обходную систему шин. Распредустройство с обходной системой шин может содержать два ОВ (см., например, [12, схемы № 110-14 и № 220-14]). Тот ОВ X , на который должна переводиться ЛЭП, должен, вообще говоря, определяться топологическим анализом по заданному ремонтному выключателю D .

В операциях переключения токовых цепей защит устройством X является трансформатор тока выключателя, в операциях с цепями отключения выключателя от защит – его привод. Эти и другие вторичные элементы схемы, связанные с выключателем, в базе данных описываются обычно как его атрибуты. Для их конкретизации анализ топологии не требуется. В общем случае отношение к главной электроустановке того элемента схемы, на котором выполняется операция, определяется комбинацией топологических отношений между силовыми элементами схемы и отношений принадлежности (атрибутов) вторичных элементов к силовым. Для формализации пунктов сценария все эти отношения необходимо формализовать.

► **5. Автоматическая конкретизация сценариев.** Программа и бланк переключений содержат вводный раздел, где специфицируется конкретное устройство, являющееся главной электроустановкой процедуры переключений. Это устройство нужно задавать как при ручном составлении программы или бланка переключений, так и при автоматизированном. Когда необходимо, вводный раздел содержит также описание отклонений от нормального режима, определяющее состояние схемы перед началом операций.

Формироваться автоматически заготовка вводного раздела должна согласно стратегии и типу схемы, указанным в заголовке сценария. По существующей технологии программы и бланки переключений составляются заблаговременно относительно их выполнения в оффлайне. При автоматизированном составлении плана переключений в оффлайне отклонения исходного состояния схемы от нормального режима могут вводиться вручную. В нештатной ситуации план переключений может генерироваться автоматически для безотлагательного выполнения, и тогда описание текущего состояния схемы во вводном разделе может формироваться автоматически по поступающей оперативной информации.

Автоматическое формирование каждого пункта сценария сводится к конкретизации указанного в нем элемента схемы X , на котором выполняется операция. Этот элемент определяется либо по его топологическому отношению к элементу схемы D , который был конкретизирован ранее (и может совпадать с главной электроустановкой), либо как атрибут ранее конкретизированного устройства D . В последнем случае информация об элементе X извлекается из таблицы атрибутов устройства D . Для конкретизации по топологическому отношению производится анализ топологии схемы.

В разных сценариях могут фигурировать одни и те же топологические зависимости между типами элементов схем. Функции анализа топологии, вычисляющие эти зависимости, будут многократно использоваться при конкретизации разных сценариев. Их целесообразно собрать в отдельную библиотеку. Если некоторое топологическое отношение $R(X,D)$ употребляется часто для конкретного D , то вычисление X по этому D можно произвести один раз и запомнить результат (элемент или множество X) в базе данных как атрибут устройства D .

► **6. Автоматизация тестирования программ и бланков переключений.** План переключений (программу или бланк), полученный автоматической конкретизацией сценария, в общем случае следует рассматривать как предварительную заготовку, требующую ручной доработки. Необходимость ручной доработки могут вызывать:

- несовершенство (неполнота) сценария;
- неполное соответствие сценария ситуации применения;

- неполнота информации в базе данных (о составе и характеристиках оборудования, о состоянии первичных и вторичных цепей);
- недоработки в компьютерной программе автоматической конкретизации сценариев.

Для доведения заготовки плана переключений до полной корректности ее нужно протестировать на соответствие правилам переключений – правилам блокировки ошибочных команд. Этими блокировками должны прежде всего контролироваться переключения в режиме реального управления. Автоматически сгенерированную заготовку нужно «прогнать» вручную или автоматически на модели электрической сети, с имитацией действия автоматических устройств и с контролем по правилам блокировок. Выявленные ошибки пользователь должен исправлять при помощи программы-редактора планов переключений. После исправления план переключений нужно тестировать повторно до полной его очистки от ошибок.

► **7. О распределении функций между составителями и пользователями планов переключений.** Обычный сценарий переключений после его создания меняется мало и редко. Также редко разрабатываются новые сценарии. Составление сценария переключений является одноразовой работой с возможными последующими поправками. Система сценариев с течением времени постепенно корректируется, что можно понимать как режим ее сопровождения. Было бы логично первоначальную формализацию массы сценариев поручить организациям, ответственным за выпуск обычных неформализованных сценариев. В эксплуатирующих энергопредприятиях потребность в корректировке и добавлении новых формализованных сценариев возникать будет нечасто. Пользователи должны иметь для этого специальную программу-редактор.

Существующий порядок составления программ и бланков переключений, описанный в НТД, возлагает эту работу целиком на эксплуатирующие организации. Однако он приводит, например, к тому, что для двух подстанций, построенных по одному типовому проекту, но принадлежащих разным энергокомпаниям, разрабатываются бланки переключений для всего оборудования каждой из этих подстанций, одинаковые или почти одинаковые с бланками для другой подстанции. Вообще разные эксплуатирующие организации, создавая программы и бланки переключений для своего оборудования, во многом дублируют работу друг друга. Каждое энергопредприятие должно иметь грамотных специалистов для этого. Если бы такая работа была централизована, то в целом она выполнялась бы с меньшими трудозатратами – за счет устранения дублирования и более высокой квалификации исполнителей, обеспечивающей сокращение числа ошибок и объема вызываемых ими переделок.

Эксплуатирующие организации, по-видимому, не усматривают в указанной раздробленности большой проблемы, поскольку в суммарном объеме их деятельности доля трудозатрат на составление программ и бланков переключений невелика. Соответственно они слабо заинтересованы в автоматизации планирования переключений. В рамках одного энергопредприятия ее эффект будет относительно невелик. Ощутимым он может стать только в масштабе крупной сети.

Отсюда можно сделать вывод, что разработку программ и бланков переключений для оборудования, эксплуатация которого начинается впервые или претерпевает капитальные изменения, целесообразно производить на этапах проектирования подстанций и их реконструкции. Ее следует возложить на проектировщиков, разрабатывающих конфигурации схем электроснабжения и режимы эксплуатации. Тогда проектанты будут существенно заинтересованы в автоматизации планирования переключений. Она должна стать частью системы автоматизированного проектирования (САПР). За эксплуатирующими организациями останутся обязанности по адаптации и тестированию на местах программ и бланков переключений, полученных от проектировщиков. Это упростит требования в этой части к квалификации персонала эксплуатирующих организаций.

Закключение / Conclusion. Важная для практики задача автоматизации составления программ и бланков переключений в электросетях, поставленная в российской электроэнергетике еще в 1970-е годы, до сих пор не решена. В статье выделены три группы причин этой неудачи:

неполнота баз данных, недостаточная формализация технологии переключений, неоптимальность существующего распределения функций между исполнителями работ по составлению программ и бланков переключений.

Причины из первой группы были постепенно устранены в ходе развития информационных технологий. Анализ второй группы причин приводит к выводу о необходимости представлять типовые последовательности переключений (сценарии) в формализованном виде вне программных кодов, выполняющих их преобразование в программы и бланки переключений. В статье описаны принципы языка таких формализованных сценариев и их автоматической конкретизации.

Анализ существующего порядка составления программ и бланков переключений показывает его неоптимальность по трудозатратам, по использованию квалификации специалистов, по заинтересованности пользователей в автоматизации. В целях оптимизации предлагается сосредоточить основную часть этой работы в руках проектировщиков подстанций, сделать ее частью САПР. Под ответственностью АСДУ останется только дополнительное тестирование программ и бланков переключений на местах, при необходимости – их корректировка.

ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Национальный стандарт Российской Федерации. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Переключения в электроустановках. Общие требования. ГОСТ Р 55608-2018. М.: Росстандарт, 2018. ГОСТ Р 55608-2018 | НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ. URL: gost.ru (дата обращения: 21.06.2022).
2. Правила переключений в электроустановках: Утв. Приказом Минэнерго России от 13.09.2018 № 757 в ред. Приказа Минэнерго России от 04.10.2022 № 1070. URL: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293733286> (дата обращения: 21.06.2022).
3. Макаровский С. Н., Машинский С. В. Автоматизация составления бланков переключений в схемах электрических соединений энергообъектов // Труды института «Энергосетьпроект». 1979. Вып. 17. С. 17–25.
4. Макаровский С. Н., Машинский С. В. Применение ЭВМ для составления бланков переключений // Электрические станции. 1979. № 10. С. 55–58.
5. Купершмидт Ю. Я., Любарский Ю. Я., Машинский С. В. и др. Автоматическое составление бланков переключений энергообъектов // Электрические станции. 1984. № 9. С. 8–12.
6. Пономаренко И. С., Дичина О. В. Автоматизированное формирование бланков переключений в задачах АСДУ распределительных сетей // Электрические станции. 1998. № 2. С. 63–69.
7. Емельянов И. В. Формализация логики оперативных переключений в высоковольтных распределительных электрических сетях: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: НГТУ, 2000.
8. СК-11. Открытая платформа с изменяемым набором приложений для создания автоматизированных систем диспетчерского, технологического, ситуационного управления объектами электроэнергетики // Монитор Электрик. URL: [ck11.pdf\(monitel.ru\)](http://ck11.pdf(monitel.ru)).
9. ПАО «ФСК ЕЭС». Типовые технические требования к функциональной структуре автоматизированных систем управления технологическими процессами подстанций Единой национальной электрической сети (АСУ ТП ПС ЕНЭС). Стандарт организации СТО 56947007-25.040.40.227-2016. 95 с. Дата введения: 26.09.2016.
10. ПАО «Россети Сибирь». Внедрение автоматизированной системы оперативно-диспетчерского, технологического и ситуационного управления объектами электроэнергетики в филиалах «Омскэнерго», «Горно-Алтайские электрические сети», «Красноярскэнерго», «Читаэнерго», и «Кузбассэнерго-РЭС». Техническое задание. Красноярск, 2021. 27 с.
11. Головинский И. А. Тренажер-советчик по оперативным переключениям в электрических сетях // Энергия единой сети. 2014. № 3(14). С. 62–69.
12. ОАО «ФСК ЕЭС». Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. Стандарт организации СТО 56947007-29.240.30.010-2008. 132 с. Дата введения: 20.12.2007.

REFERENCES AND INTERNET RESOURCES

1. Rosstandart. Edinaya energeticheskaya sistema i izolirovanno rabotayushchie energosistemy. Operativno-dispatcherskoe upravlenie. Pereklyucheniya v elektroustanovkah. Obshchie trebovaniya (United power system and isolated power systems. Operative-dispatch management. Switching in electrical facilities. General requirements). GOST R 55608-2018. M.: Rosstandart, 2018. ГОСТ Р 55608-2018 | НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ. URL: gost.ru (дата обращения: 21.06.2022).
2. Pravila pereklyuchenij v elektroustanovkah (Switching rules in electrical installations). Minenergo Rossii, 2018. 160 p. URL: <https://standartgost.ru/gpkey-14293733286> (дата обращения: 21.06.2022).
3. Makarovskij S. N., Mashinskij S. V. Avtomatizaciya sostavleniya blankov pereklyuchenij v skemah elektricheskikh soedinenij energoob"ektov (Automation of creating switching plans in the electrical circuits of power facilities) // Trudy instituta «EnergoSet'proekt». 1979. Iss. 17. P. 17–25.
4. Makarovskij S. N., Mashinskij S. V. Primenenie EVM dlya sostavleniya blankov pereklyuchenij (The use of computers for drawing up switching plans) // Elektricheskie stancii. 1979. No 10. P. 55–58.
5. Kupershmids YU. YA., Lyubarskij YU. YA., Mashinskij S. V. i dr. Avtomaticheskoe sostavlenie blankov pereklyuchenij energoob"ektov (Automatic creation of switching plans for power facilities) // Elektricheskie stancii. 1984. No 9. P. 8–12.
6. Ponomarenko I. S., Dichina O. V. Avtomatizirovannoe formirovanie blankov pereklyuchenij v zadachah ASDU raspredelitel'nyh setej (Automated generation of switching plans in SCADA/EMS/DMS) // Elektricheskie stancii. 1998. No 2. P. 63–69.
7. Emel'yanov I. V. Formalizaciya logiki operativnyh pereklyuchenij v vysokovol'tnyh raspredelitel'nyh elektricheskikh setyah (Formalising the logic of switching operations in high-voltage distribution electrical networks): dis. ... kand. tekhn. nauk. Novosibirsk: NGTU, 2000.
8. Otkrytaya platforma s izmenyaemym naborom prilozhenij dlya sozdaniya avtomatizirovannykh sistem dispatcherskogo, tekhnologicheskogo, situatsionnogo upravleniya ob"ektami elektroenergetiki (An open platform with a changeable set of applications for creating automated systems for dispatching, technological, and situational management of electric power facilities) // Monitor Elektrik. 46 p. URL: [ck11.pdf\(monitel.ru\)](http://ck11.pdf(monitel.ru)).
9. PAO «FSK EES». Tipovye tehnicheckie trebovaniya k funkcional'noj strukture avtomatizirovannykh sistem upravleniya tehnologicheskimi processami podstancij Edinoj nacional'noj elektricheskoy seti (ASU TP PS ENES). Standart organizacii STO 56947007-25.040.40.227-2016 (Typical technical requirements for the functional structure of automated process control systems of substations of the Unified National Electric Grid (ASU TP PS ENES). Organization standard STO 56947007-25.040.40.227-2016). Data vvedeniya: 2016. 95 p.
10. PAO «Rosseti Sibir». Vnedrenie avtomatizirovannoy sistemy operativno-dispatcherskogo, tekhnologicheskogo i situatsionnogo upravleniya ob"ektami elektroenergetiki v filialah «Omskenergo», «Gorno-Altajskie elektricheskie seti», «Krasnoyarskenergo», «Chitaenergo», i «Kuzbassenergo-RES». Tehnicheskoe zadanie (Implementation of an automated system of operational dispatch, technological and situational management of electric power facilities in the branches of Omskenergo, Gorno-Altajskie Electric Networks, Krasnoyarskenergo, Chitaenergo, and Kuzbassenergo-RES. Technical specification). Krasnoyarsk, 2021. 27 p.
11. Golovinskij I. A. Trenazher-sovetchik po operativnym pereklyucheniyam v elektricheskikh setyah (Simulator-adviser for switching operations in electrical networks) // Energiya edinoj seti. 2014. № 3(14). P. 62–69.
12. PLC «FSK EES». Shemy principial'nye elektricheskie raspredelitel'nyh ustroystv podstancij 35–750 kV. Tipovye resheniya. Standart organizacii STO 56947007-29.240.30.010-2008 (Electrical schematic diagrams of switchgears at substations 35–750 kV. Typical solutions. Organization standard STO 56947007-29.240.30.010-2008). Data vvedeniya: 20.12.2007. 132 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Илья Абрамович Головинский, доктор технических наук, главный специалист по математическому моделированию в электроэнергетике, кафедра автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения Инженерного института СКФУ. E-mail: igolovinskij@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ilya Golovinskii, Doctor of Technical Sciences, Chief Specialist in Mathematical Modeling in the Electric Power Industry, Department of Automated Electric Power Systems and Power Supply, Engineering Institute, North-Caucasus Federal University. E-mail: igolovinskij@gmail.com.