

Акронимический подход к экспертным системам в электроэнергетике

Жуков Олег Алексеевич, аспирант

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск)

Аннотация. *Объект исследования – экспертные системы в электроэнергетике, являющиеся ведущим направлением интеллектуализации отрасли и относительно новой технологией в управлении электроэнергетическими системами. Цель работы связана не с разработкой экспертных систем, а с попыткой раскрыть наиболее общие их аспекты применительно к электроэнергетике. По сравнению с другими, родственными по тематике и целевому назначению работами, предлагаемая статья имеет научную новизну – дана классификация функций экспертных систем в их привязке к различным электроэнергетическим объектам применения; проведён анализ экспертных систем с точки зрения нового акронимического подхода. Теоретическая значимость работы связана с представлением сущности нового научного подхода и его применением к отраслевым экспертным системам. С практической точки зрения работа может быть полезна всем интересующимся общими вопросами применения экспертных систем для электроэнергетики, поскольку основана на анализе обширного материала. Основной результат работы – подробная систематизация многих аспектов, дающих общее представление об объекте исследования.*

Ключевые слова: *экспертные системы в электроэнергетике, экспертные системы, акронимический подход.*

DOI: 10.5281/zenodo.3363940

Введение

Общая тема исследования касается его объекта – экспертных систем в электроэнергетике (ЭСЭ), являющихся одним из перспективных направлений интеллектуализации отрасли. Ряд аспектов интеллектуальной электроэнергетики описан автором в работе [7]. Цель статьи – на основе аналитического обзора выявить и раскрыть общие вопросы, связанные с применением ЭСЭ, с помощью нового акронимического подхода, который был впервые разработан и представлен в применении к электротехническим экспертизам в авторской работе [8]. Для раскрытия темы были проанализированы многочисленные российские источники информации по ЭСЭ, с постраничными ссылками на них, что будет интересно всем, кто занимается этой проблемой.

В отличие от предыдущих исследований по данной тематике других авторов, в работе была принята попытка сформулировать многие вопросы по ЭСЭ, и дать ответы на некоторые из них. Эти вопросы носят общий характер, и никак не связаны с технологией разработки экспертных систем (ЭС). Одним из основных итогов исследования является структуризация основных аспектов ЭС в рамках нового подхода, и новая, наиболее полная, классификация функций ЭСЭ с привязкой к конкретным объектам их применения, и со ссылками на источники информации. *Актуальность* темы не вызывает сомнений, поскольку интеллектуальная трансформация отрасли, в рамках которой действуют ЭС, является в настоящее время главным (признанным научным сообществом и руководством страны) направлением развития российской электроэнергетики. Результаты работы могут быть применимы для решения научно-практических задач, касающихся этого направления.

Суть акронимического подхода

Под термином «подход» автор понимает определённую точку зрения на проводимое научное исследование, определяющую его направленность относительно поставленной цели. Акронимический подход

является одним из новых направлений в методологии научного исследования, при котором исследуемый объект рассматривается посредством инструмента-Структуры, образ которого может быть представлен в виде абстрактной трёхгранной пирамиды, каждая из граней-аспектов которой имеет своё имя – **Признаки**, **Обстоятельства**, **Критерии**. Этот абстрактный инструмент называется акронимом «СПОК» (по первым буквам слов «структура», «признаки», «обстоятельства», «критерии»). Грань-аспект «Обстоятельства» абстрактной пирамиды содержит вопросник в виде акронима «ДАОС-ПУТНИК» с соответствующей расшифровкой:

- Действия (что делается?);
- Автор (кто совершает действия?);
- Объект (над чем совершаются действия?);
- Субъект (кто рассматривается при совершении действия?);
- Причина (почему совершается действие?);
- Условие (при каких условиях и несмотря на что совершается действие?);
- Технология (как совершается действие?);
- Намерение (зачем, с какой целью совершается действие?);
- Измерение (каковы количественные или качественные характеристики при совершении действия?);
- Координаты (каковы координаты места и времени действия?).

Таким образом, чтобы исследовать объект как *Структуру*, нужно с помощью мыслительной деятельности, образующей целостность суждения, получить представление: 1) о *Признаках* объекта; 2) об *Обстоятельствах* (путём ответов на вопросы акронима «ДАОС-ПУТНИК», являющегося ядром акронимического подхода); 3) о *Критериях* объекта.

Применительно к ЭСЭ вопросник «СПОК – ДАОС-ПУТНИК» акронимического подхода может быть сформирован следующим образом.

С – Какова *Структура* ЭСЭ, наделённая *Признаками*, функционирующая при определённых *Об-*

стоятельствах, и оцениваемая с помощью **Критериев**?

П – По каким существенным, характерным, объективным **Признакам** (чертам, особенностям, явлениям) можно отличать ЭСЭ от других видов (типов) ЭС, применяемых в других отраслях знаний? Есть ли какие-либо общие признаки, по которым можно судить о сходстве в чём-то между ЭСЭ и другими ЭС? Какие признаки являются для ЭСЭ необходимыми (при отсутствии которых ЭСЭ утрачивает своё качество как ЭС)? Какая совокупность признаков является проявлением свойства (сущности) ЭСЭ?

О – Какие **Обстоятельства** в наибольшей степени определяют сущность ЭСЭ? Какие обстоятельства негативно влияют на работу ЭСЭ? Какие внешние обстоятельства сопутствуют факту создания ЭСЭ? Какие обстоятельства могут быть непредвиденными при разработке ЭСЭ? Какие обстоятельства могут быть рискованными при функционировании ЭСЭ?

К – По каким **Критериям** можно оценивать пригодность, качество и эффективность ЭСЭ? По каким критериям можно сравнивать различные виды ЭСЭ? Существует ли критерий оптимального функционирования ЭСЭ? Сколькими критериями может быть оценена ЭСЭ? Каким именно требованиям должны соответствовать критерии оценки ЭСЭ? Какие количественные (или качественные) показатели отражают измеряемую (или характеризующую) сторону критерия оценки ЭСЭ? Какие существуют шкалы измерения для измеряемых критериев оценки ЭСЭ? Какие существуют не измеряемые (субъективные) критерии для оценки ЭСЭ? Каким образом выбирались, обосновывались критерии для оценки ЭСЭ? Существует ли интегративный критерий оценки ЭСЭ? Какие критерии характеризуют технические возможности ЭСЭ?

Д – Какие аспекты **Действий** (анализ, оценка, обзор и т.п.) рассматриваются в предлагаемом исследовании?

А – Каковы научные интересы **Автора** статьи, и как они соотносятся с выбранной темой предлагаемого исследования? Почему была выбрана автором тема ЭСЭ?

О – Как можно охарактеризовать ЭСЭ с точки зрения **Объекта** исследования? Какие аспекты ЭСЭ рассматриваются в качестве предмета исследования?

С – Какова роль и место человека как **Субъекта** в ЭСЭ?

П – По какой **Причине** ЭСЭ является актуальным трендом интеллектуализации электроэнергетической отрасли?

У – При каких **Условиях** возможно создание и внедрение ЭСЭ?

Т – Как именно, по какой **Технологии** функционирует ЭСЭ?

Н – По каким **Намерениям** и с какой целью разрабатываются ЭСЭ?

И – С помощью каких количественных или качественных параметров можно судить об **Измерении**, то есть дать характеристику ЭСЭ?

К – Каковы временные **Координаты** ЭСЭ? В каких странах и когда начались исследования по ЭСЭ?

Как далеко продвинулась каждая из этих стран по исследованию (глубина) и внедрению (масштабы) ЭСЭ? Каковы перспективы применения ЭСЭ?

Разумеется, в ограниченном объёме данной статьи нельзя дать ответы на все сформулированные вопросы, поэтому ответы будут даны лишь на некоторые из них. Вместе с тем нужно подчеркнуть следующее: несмотря на то, что акронимический подход помогает дать подробный и многоаспектный анализ любому объекту исследования, тем не менее, он не претендует на комплексность, и является лишь одним из многих исследовательских подходов.

Аналитический обзор по экспертным системам в электроэнергетике в контексте акронимического подхода

Предлагаемый ниже обзор представляет собой теоретическое ядро исследования, аналитический и систематизированный материал, обобщающий основные точки зрения на проблему ЭСЭ.

Структура.

Так как современные электроэнергетические комплексы характеризуются большим количеством составляющих элементов, значительным числом контролируемых показателей, сложностью и широким диапазоном скоростей протекающих электромеханических процессов, то возникает потребность в новых направлениях совершенствования функционирования этих комплексов. Одним из таких направлений является применение ЭСЭ, основанных на принципах искусственного интеллекта [10, с. 10]. Таким образом, место ЭСЭ как самостоятельного направления – в исследованиях и разработках по искусственному интеллекту в отрасли [11, с. 138]. ЭС обычно состоит из: 1) базы знаний, являющейся центральной частью (ядром) ЭС, и содержащей методы и знания для решения задач из области применения ЭС, а также правила, описывающие отношения или явления; 2) механизма вывода, определяющего, выбирающего и выполняющего необходимые правила из базы знаний, и передающего результаты программы интерфейса с пользователем; 3) системы пользовательского интерфейса, взаимодействующей с пользователем, объясняющей ему, каким образом ЭС выводит результат, и осуществляющей доступ к базе знаний [12, с. 6 – 8]. Состав базы знаний зависит от назначения ЭС.

Признаки.

Особенностями ЭСЭ является большое разнообразие характеризующих эти системы классификационных признаков, а также то, что они предназначены для любого пользователя [10, с. 17]. Кроме того, есть и различия между российскими и зарубежными ЭС. Например, ЭС, предназначенная для оценки технического состояния (ОТС) высоковольтного электрооборудования станций и подстанций, и созданная за рубежом, отличается от своего российского аналога по нескольким признакам: а) она не нацелена на продление срока службы электрооборудования, так как оборудование заменяется сразу же после окончания его срока службы, определённого заводом-изготовителем; б) имеются достаточно сильные отличия в заложенной в ЭС нормативной документации по обслуживанию, диагностике, испытаниям электрооборудования, по его составу и эксплуатации, что

не позволяет использовать зарубежные системы ОТС для российских энергосистем [13, с. 58]. ЭС обладают несколькими уникальными качествами: 1) способностью рассуждать, то есть, ЭС может делать логический вывод, получая нужное знание, зачастую не хранящееся в явном виде в базе знаний; 2) способностью объяснять свои действия, советы или рекомендации [9].

Обстоятельства.

Обстоятельства приведены в акрониме «ДАОС-ПУТНИК» (см. подразделы ниже).

Критерии.

При сравнении человеческой и искусственной (в форме ЭС) компетентности последняя имеет явные преимущества, поскольку является постоянной, устойчивой, легко передаваемой и документируемой, приемлемой по затратам [9]. Например, ЭСЭ применительно к диагностике силовых трансформаторов позволяет повысить эффективность контроля развивающихся дефектов в трансформаторе без его вывода из эксплуатации, выработать рекомендации по его дальнейшим испытаниям, сократить время простоя, снизить затраты на ремонт, продлить срок службы оборудования [15, с. 105, 107]. Имеется и ряд других критериев положительной оценки ЭСЭ [14]: 1) успешное решение многих вопросов подготовки и переподготовки инженеров-электриков; 2) приобретение знаний высококвалифицированных экспертов и других источников специальной информации о предметной области; 3) эффективное использование накопленных знаний в нужный момент; 4) возможность автоматизации интеллектуальных процессов принятия решений; 5) концентрация методов управления в одном месте – одновременная централизация и децентрализация функций автоматизации управления, единоначалия и коллегиальности, научной обоснованности принимаемых решений, плановости, иерархичности и обратной связи в процессе прохождения управляющего решения. Несмотря на наличие множества видов ЭСЭ, можно выделить, по крайней мере, два общих аспекта, характеризующих эффективность их применения: а) снижение нагрузки на персонал оперативно-диспетчерского управления; б) получение оперативной информации и экспресс-оценки о работе электрооборудования в режиме реального времени. Эти аспекты, в конечном итоге, обеспечивают безопасность персонала, сохранение оборудования, надёжность и экономичность электроснабжения [16, с. 22].

Действия.

Исследование автором предложенной темы было связано с выполнением конкретных действий: проведением аналитического обзора по ЭСЭ; оценкой научной новизны, теоретической и практической значимости работы; оценкой результатов исследования; разработкой рекомендаций по ЭСЭ; формулированием выводов и заключения по работе.

Автор.

Интерес автора к выбранной теме исследования обусловлен тем, что ЭСЭ, наряду с проведением электротехнической экспертизы и спецификой деятельности экспертов-электротехников, могут стать составной частью нового научного направления в электротехнике и электроэнергетике – электроэкс-

пертологии (или общей теории электротехнических экспертиз), основные теоретические положения которой отражены в соответствующих работах [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Объект.

Объектом исследования в работе являются ЭСЭ, предметом исследования – все представленные в аналитическом обзоре аспекты этого объекта в контексте акронимического подхода. Ниже приведена краткая информация, дающая представление о сущности объекта.

Под ЭС понимается программная система, которая накапливает и обобщает информацию, содержащую факты и правила в определённой области, формализует особым образом экспертные знания, делает на основе их логического анализа выводы и предлагает решения конкретных проблем. ЭС в сущности моделирует поведение эксперта при принятии решения в конкретной предметной области [17, с. 4]. Кроме того, ЭС рассматривается как аппарат, реализующий адаптируемую к предметной области модель естественного интеллекта [18]. Таким образом, экспертной системе можно дать следующее определение: интеллектуальная система, способная в диалоге с лицом, принимающим решение, на основе заложенных в неё знаний и правил применения этих знаний проводить оценку текущей ситуации, экспертизу состояния объекта, выявлять причины неполадок и давать рекомендации по их устранению или предотвращению [19]. Наиболее полная классификация ЭСЭ дана в работе [10].

Субъект.

Субъектами ЭСЭ могут быть все пользователи систем подобного рода в различных подотраслях электроэнергетики (теплоэнергетика, гидроэнергетика, атомная энергетика, ветроэнергетика, геотермальная энергетика, гелиоэнергетика, водородная энергетика, приливная энергетика, волновая энергетика), где такие системы используются на практике. ЭСЭ, несмотря на все их преимущества, не могут полностью заменить экспертов по ряду причин: 1) ЭСЭ мало приспособлены к обучению новым концепциям и правилам, к решению сложных задач; 2) ЭСЭ могут непосредственно воспринимать лишь символы, но не способны к восприятию различных видов входной сенсорной информации (визуальной, звуковой, осязательной, обонятельной, тактильной); 3) ЭСЭ не способны охватить картину в целом, все аспекты проблемы, и понять, как эти аспекты соотносятся с основной задачей; 4) в ЭСЭ нельзя встроить огромный объём знаний, образующих здравый смысл (широкий спектр общих знаний о мире, о том, какие законы в нём действуют, т.е. знания, которыми каждый из нас обладает, приобретает из опыта, и которыми постоянно пользуется). Именно по этим причинам ЭСЭ используются, в основном, как советчики, в качестве консультантов или помощников для лиц, принимающих решения [9].

Причина.

Электроэнергетические объекты как объекты управления сложны по своей структуре. Эта сложность обусловлена их многомерностью, скоротечностью аварийных процессов, высоким элементарным многообразием, динамическим изменением состоя-

ний, постоянным ростом сложности внутренних связей [21]. Кроме того, перечень решений, которые должен принимать оперативный персонал по управлению в электроэнергетических системах, довольно большой, и все они сопряжены с такими факторами, как дефицит времени, неполная оперативная информация, большой объём нормативной информации. В этих условиях неизбежно возникают так называемые «человеческие» ошибки, последствия которых могут быть весьма тяжёлыми. По этим причинам, а также для разгрузки оперативного персонала, предотвращения ошибочных решений и связанных с ними нарушений промышленной и экологической безопасности, как раз и создаются ЭС [19; 20, с. 146].

Условия.

Перечислим требования к ЭСЭ, выполнение которых формирует условия реализации ЭС: а) содей-

ствовать определению методов достижения указанной цели в тесной взаимосвязи объекта и субъекта управления [17, с. 4]; б) решать задачи посредством логического вывода, получать надёжные результаты, иметь доступ к системе фактов, выводить заключения из информации [12, с. 6]. К тому же [21], ЭСЭ должна: 1) представлять изменяющиеся во времени данные, поступающие от внешних источников; 2) обеспечивать хранение и анализ изменяющихся данных; 3) обеспечивать механизм рассуждения на любом этапе принятия решения; 4) моделировать "окружающий мир", и обеспечивать создание различных его состояний; 5) обеспечивать наполнение базы знаний с минимальными затратами времени и труда.

ЭСЭ могут выполнять различные функции в зависимости от условий и объектов их применения (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Классификация функций экспертных систем в электроэнергетике

Объекты применения ЭСЭ	Функции ЭСЭ		Ссылка на источник	
1. Условие применения ЭСЭ – привязка к конкретному виду электрооборудования				
Электрические сети	Применение для автоматизированной эксплуатации		[16, 20, 22]	
	Анализ коммутационного состояния		[16]	
Электроэнергетические системы	Переключения		[23]	
	Анализ угроз кибернетической безопасности		[24]	
	Советчик диспетчера		[39]	
Электрические двигатели	Мониторинг режимов		[40]	
Воздушные линии электропередачи	Прогнозирование состояния		[35]	
Высоковольтное электрооборудование электростанций и подстанций	Оценка технического состояния		[17]	
	Диагностический мониторинг		[13, 25]	
Турбогенераторы	Оценка эксплуатационно-ремонтного обслуживания		[34, с. 8]	
Генераторы тепловых электростанций	Оценка эксплуатационно-ремонтного обслуживания		[26]	
Силовые трансформаторы	Техническая диагностика		[27]	
	Техническая диагностика		[15, 28, 29, 30, 31]	
2. Условие применения ЭСЭ – без привязки к конкретному виду электрооборудования	Диагностика	техническая	[9, 11, 25]	
		ситуационная	[20]	
	Мониторинг	состояния		[9, 20]
		Поддержка решений	по выводу в ремонт	[20]
	технических задач		[14]	
	Управление	общее	[9, 18]	
		диспетчерское	[22]	
	Интерпретация		[9]	
	Предсказание			
	Проектирование			
Планирование				
Отладка				

Технология.

Входная и выходная информация у каждой ЭСЭ – своя, и зависит от предметной области и назначения ЭС. Так, например, ЭС для диагностики силовых трансформаторов в качестве входной информации включает: данные о типе диагностируемого трансформатора, значения концентраций растворенных в масле газов, а также информация об эксплуатационных факторах трансформатора, которые

могли вызвать увеличение или уменьшение концентраций газов при отсутствии дефекта. Выходной информацией является протокол проведения хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле [28, с. 22]. При создании ЭСЭ особое внимание уделяется управлению, диагностике оборудования и информационной поддержке [27, с. 172].

Несмотря на то, что по своей сути ЭС являются программным продуктом, не следует их отождествлять с написанием новой программы, поскольку в них этап программирования вообще исключается из процедуры создания таких систем. Технология разработки ЭС включает три этапа: 1) предварительный этап, или постановка задачи (выбор инструментария, поиск эксперта), на котором может быть принято решение и о нецелесообразности разработки ЭС для выбранной задачи; 2) этап прототипирования (разработка прототипа, тестирование базы знаний), на котором может быть осуществлена корректировка проекта, уточнены время, стоимость и необходимые ресурсы для завершения работы; 3) этап доработки (доработка прототипа, оценка системы, стыковка модулей системы с другими программными средствами, приборами и пр.), который является основным и самым продолжительным этапом [33, с. 12 – 20].

Намерение.

Назначение ЭС – разработка программных средств, с помощью которых при решении задач, трудных для человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым человеком-экспертом [11, с. 138]. Цель ЭС – проведение экспертизы путём аккумуляции знаний от экспертов и предоставлению их другим людям (не экспертам) [9]. Задачи у каждой ЭС – свои, и зависят они от предметной области, назначения и цели этой ЭС. Так, например, ЭС для диагностики силовых трансформаторов в качестве основных задач включает: 1) на основе значений концентраций газов, растворенных в трансформаторном масле, сформировать протокол проведения хроматографического анализа; 2) при обнаружении дефекта выработать список мероприятий по дальнейшему техническому обслуживанию трансформатора [15, с. 106].

Измерение.

ЭС являются сложными программами, которые используют знания и высококачественный опыт экспертов для получения эффективного решения в узкой предметной области. Как и человек-эксперт, эти системы используют символическую логику и эмпирические правила, чтобы найти решения. Они могут ошибаться, но обладают способностью учиться на своих ошибках [9]. Выходные результаты ЭС являются качественными, а не количественными [37]. Тем не менее, можно привести пример количественного измерения относительно ЭС: если на рубеже 60-х и 70-х годов двадцатого века количество ЭС можно было пересчитать по пальцам, а в 1987 году, в соответствии с переписью, их было 1000, то сегодня никто такими подсчётами не занимается, поскольку число ЭС растёт по экспоненте [36].

Координаты.

Краткая информация о временных координатах возникновения ЭС предлагается ниже.

Толчком к пониманию необходимости создания ЭС явилась идея: если создать систему, способную в памяти компьютера накапливать, запоминать и использовать знания экспертов, то она найдёт применение в практической деятельности. Такие ЭС были разработаны в конце 60-х и начале 70-х годов два-

дцатого века, выдвинутая идея была подтверждена [9]. Создателем первой ЭС считается Эдвард Альберт Фейгенбаум, основатель лаборатории по исследованию экспертных систем при Стэнфордском университете (США), учёный в области теории вычислительных систем. В том же университете вместе с Э. Фейгенбаумом над первыми ЭС работали биохимик Джошуа Ледерберг, лауреат Нобелевской премии, и Брюс Бученен [36].

Пионером разработки устройств искусственного интеллекта и изобретателем в области информационных технологий является русский учёный Семён Николаевич Корсаков, предложивший в первой половине девятнадцатого века (1832 г.) использовать перфорированные карты для задач информационного поиска, классификации и обработки больших массивов данных (предтеча современных экспертных систем) [38, с. 4].

Результатом проведённого в статье аналитического обзора является подробная систематизация общих понятий об ЭСЭ в контексте нового акронимического подхода. При этом использовались некоторые общеизвестные *методы* теоретического познания – абстрагирование, синтез, анализ, индукция, дедукция, идеализация.

Научная новизна исследования

1. Впервые дана полная классификация основных функций ЭСЭ, известных на сегодня и описанных в российских публикациях.

2. Впервые новый акронимический подход, разработанный автором в качестве научного инструментария, был применён к ЭСЭ как к объекту исследования. Раскрыта сущность этого подхода.

3. Создано на основе накопленного научного материала новое (в рамках нового подхода) обобщение и систематизация по проблеме применения ЭСЭ в России.

Значимость исследования

1. Раскрытые в работе аспекты ЭСЭ, а также поставленные вопросы и предложенные ответы помогут разработчикам по-новому взглянуть на ЭСЭ.

2. Предложенный в статье наиболее полный перечень опубликованных в России информационных источников об ЭСЭ, будет полезен для всех интересующихся проблемами и разработками этих систем.

Выводы и заключение

1. Представленный акронимический подход не претендует на комплексность, и является лишь одним из многих способов получения общего представления об объекте исследования.

2. Поскольку акронимический подход к экспертным системам в электроэнергетике позволил получить о них общее представление и подробно проанализировать их основные аспекты, то, по мнению автора, этот подход может быть рекомендован для применения и к другим объектам исследования.

3. Ценность проведённого исследования состоит в попытке дать по возможности полную классификацию функций экспертных систем в их применении к различным объектам электроэнергетики России.

4. По мнению автора, экспертные системы, являющиеся самостоятельным научным направлением в рамках интеллектуализации отрасли, могут также стать неотъемлемой составной частью нового науч-

ного направления в электротехнике и электроэнергетике — электроэкспертологии.

5. Рекомендацией для дальнейших исследований по предложенной тематике может быть попытка ответить на все поставленные в разделе «Суть акронимического подхода» вопросы относительно применения в отрасли экспертных систем. Разумеется, перечень этих вопросов может быть значительно

расширен, а объект исследования может быть рассмотрен в контексте других существующих научных подходов.

6. Поставленная во введении цель исследования достигнута — выявлены и проанализированы общие вопросы, связанные с применением экспертных систем в электроэнергетике.

Литература:

1. Жуков О. А., Ушаков В. Я. Экспертиза в энергетике и электротехнике. Генезис электроэкспертологии // Известия Томского политехнического университета. — 2013. — Т. 322. - №4. — С. 82-87.

2. Zhukov O. A., Ushakov V. Ya. The Power Expertology Concept. 9th International Conference on «Technical and Physical Problems of Electrical Engineering» (ICTPE 2013). Istanbul-Turkey. 2013. - № 100. - 9-11 September. P. 474-476.

3. Zhukov O. A., Ushakov V. Ya. Methodology of the Power Express Examinations. 11th International Conference on «Technical and Physical Problems of Electrical Engineering» (ICTPE 2015). Bucharest-Romania. 2015. - № 25. - 10-12 September. P. 114-122.

4. Жуков О. А. Методические основы энергетической экспресс-экспертизы / О. А. Жуков // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 10. — Часть 2. — С. 58–65. DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.204.

5. Zhukov O. A., Ushakov V. Ya., “Conceptual and methodological basis of power express examination”, International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), Issue 25, Vol. 7, No. 4, pp. 39-48, December 2015.

6. Zhukov O, Ushakov V, Plotnikov A, Svechnikova T. Applied Aspects of Theoretical Bases of Express Examination in Electric Power Industry. Indian Journal of Science and Technology. 2016; 9 (27):1-7. DOI: 10.17485/ijst/2016/ v9i27/97585.

7. Жуков О. А. Интеллектуальная электроэнергетика в контексте электроэкспертологии / О. А. Жуков // 52я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения (27-28 июня 2019 г.). Интеграция науки в современном мире // Сборник научных работ 52й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, июнь 2019). — Москва: ЕНО, 2019. — 430 с. — С. 80-85. DOI: 10.5281/zenodo.3271156.

8. Жуков О. А. Акронимический подход к электроэкспертизам // Энергетика: Эффективность, надёжность, безопасность: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ООО «СПБ Графикс», 2012. — С. 96-98.

9. Информационные системы в экономике: [сайт]. [2015]. URL: preview/4426715/page:4/ (дата обращения: 09.07.2019).

10. Сазыкин В. Г. Классификация экспертных систем в электроэнергетике // Электричество. 1993. №4. С. 10 – 17.

11. Лебедев Л. С. Обзор экспертных систем и перспективы их применения в энергетике // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 4 (87). С. 138 – 143.

12. Николаев М. Ю. Информационные технологии в электроэнергетике. [Электронный ресурс]: Омский государственный технический университет, Омск, 2015. — 11 с.

13. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций / А. И. Хальясмаа [и др.]. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 64 с.

14. Сазыкин В. Г., Кудряков А. Г. Особенности поддержки решения технических задач с помощью экспертных систем // Путь науки. 2015. № 8. С. 21-23.

15. Коптелова И. А. Экспертная система диагностирования силовых трансформаторов систем электро-снабжения / Коптелова И. А., Силкин И. М. // Известия ВолгГТУ. Серия "Процессы преобразования энергии и энергетические установки". Вып. 3: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 8. — С. 104-107.

16. Петрищев А. В. Разработка экспертной системы анализа коммутационного состояния электрических сетей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02; [Место защиты: Новосибирский государственный технический университет]. — Новосибирск, 2004. — 23 с.

17. РД 153-34.3-20.524-00. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации воздушных линий электропередачи 110 кВ и выше. М.: ПАО «ЕЭС России», 2000 г.

18. Сазыкин В. Г., Кудряков А. Г., Мусиенко А. Н. Экспертные системы для решения сложных задач управления в электроэнергетике // 21 century: fundamental science and technology XIII: Proceedings of the Conference. North Charleston, 8-9.08.2017, — North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2017, p. 93-98.

19. Экспертные системы в управлении энергетическими системами: [сайт]. URL: интеллектуальные системы/ (дата обращения 15.07.2019).

20. Любарский Ю. Я., Быковников Ю. В., Гикинская А. Е. Экспертные системы-советчики для оперативного управления в электроэнергетических системах // Управление электроэнергетическими системами — но

вые технологии и рынок. Материалы научно-технической конференции, г. Сыктывкар, Уральское отделение РАН, 2004. – С. 146-151.

21. Применение экспертных систем в электроэнергетике: [сайт]. URL:

https://studexpo.ru/457522/elektrotehnika/primenenie_ekspertnyh_sistem_elektroenergetike - 934 (дата обращения – 16.07.2019).

22. Буковников Ю. В., Головинский И. А., Любарский Ю. Я. Интеграция экспертных систем в диспетчерском управлении энергообъединения // Электричество. 2005. №2. – С. 2 – 9.

23. Горевой Д. В. Экспертная система по переключениям в высоковольтных электрических сетях: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02; [Место защиты: Новосибирский государственный технический университет]. – Новосибирск, 2002. – 20 с.

24. Гаськова Д. А., Массель А. Г. Разработка экспертной системы для анализа угроз кибербезопасности в энергетических системах // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. № 1. – С. 113 – 122.

25. Попов Г. В., Игнатъев Е. Б., Виноградова Л. В., Рогожников Ю. Ю., Ворошин Д. А. Экспертная система оценки состояния электрооборудования «Диагностика+» // Электрические станции. 2011. № 5. – С. 36 – 45.

26. РД 153-34.1-30.608-2000. Методические указания по использованию экспертной системы оценки эксплуатационно-ремонтного обслуживания турбогенераторов. М.: РАО «ЕЭС России», 2001 г.

27. Гришанов С. А., Острик Э. Н. Концепция построения информационной составляющей для экспертной системы диагностики генераторов ТЭС // Сборник: Инновационные перспективы Донбаса. Материалы 4-й международной научно-практической конференции

Том. 2. Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем, г. Донецк: Изд-во Донецкого национального технического университета, 2018. – 182 с. – С. 172 – 177.

28. Хлебцов А. П., Коптелова И. А. Экспертная система диагностики силовых трансформаторов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2019. № 2 (27). – С. 20 – 24.

29. Дагаева М. В., Катасёва Д. В., Катасёв А. С., Кирпичников А. П. Нечёткая экспертная система диагностики маслонаполненных силовых трансформаторов // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 2. – С. 148 – 154.

30. Сазыкин В. Г., Кудряков А. Г., Пронь В. В. Экспертная система для мониторинга и диагностики силовых трансформаторов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2014. № 12. – С. 21 – 24.

31. Экспертная система мониторинга, диагностики и управления трансформаторным оборудованием «ЭСМДУ-ТРАНС» производства ПАО «ЗТР». [Электронный ресурс]: ПАО «Запорожтрансформатор», Запорожье, 2013. – 35 с.

32. Моржин Ю., Шакарян Ю., Воротницкий В., Новиков Н. Оперативно-диспетчерское управление и инновационные технологии снижения потерь: [сайт]. [2010]. URL: http://www.up-pro.ru/Оперативно-диспетчерское_управление_и_инновационные_технологии_снижения_потерь/ (дата обращения: 17.07.2019).

33. Муромцев Д. И. Введение в технологию экспертных систем. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2005. – 93 с.

34. Дарьян Л. А. Диагностический мониторинг высоковольтного оборудования подстанций. Проблемы и перспективы. [Электронный ресурс]: АО «Техническая инспекция ЕЭС», М., 2016. – 16 с.

35. Кобозев Е. В. Экспертная система прогнозирования состояния электрических двигателей на основе использования результатов их диагностики в условиях сельского хозяйства: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02; [Место защиты: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова]. – Барнаул, 2009. – 20 с.

36. Красильников В. Эволюция экспертных систем: [сайт]. [2005]. URL: <https://www.kv.by/archive/index2005401103.htm> (дата обращения – 17.07.2019 г.)

37. Экспертные системы. Классификация экспертных систем. Разработка простейшей экспертной системы: [сайт]. URL: http://www.ozn.ru/index.html/Экспертные_системы._Классификация_экспертных_систем._Разработка_простейшей_экспертной_системы (дата обращения – 17.07.2019 г.)

38. Корсаков С. Н. Начертание нового способа исследования при помощи машин, сравнивающих идеи / Пер. с франц. Под. Ред. А. С. Михайлова. – М.: МИФИ, 2009. – 44 с.

39. Чукреев Ю. Я. Прототип экспертной системы советчика диспетчера региональной ЭЭС // Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – С. 43 – 59.

40. Молчанов А. Ю. Выбор структуры построения экспертной системы мониторинга режимов электроэнергетической системы // Известия Южного федерального университета. 2010. № 1. – С. 193 – 196.